



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР А.Л. ГУСЕВ

Руководитель группы компаний «Водород»

452613, Башкортостан респ., г. Октябрьский, 35-й мкр., дом 9А, абонентский ящик № 33
Phone: +7(937) 229-21-01; +7(904)6720397; +382 69 260 722; whats App: +79046720397; telegram: +38269260722;

E-mail: gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru; alexandergusev777@gmail.com; skype: aleksandr_tata

НАУЧНЫЙ СОВЕТ

- | | |
|---|--|
| <p>С.М. Алдошин, акад. РАН (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия), зам. главного редактора ISJAEE
О.М. Алифанов, чл.-корр. РАН (МАИ, Москва, Россия)
Р.А. Амерханов, д-р техн. наук, проф. (Кубанский гос. аграрный университет, Краснодар, Россия)
М.В. Ананьев, д-р. хим. наук (ТОТЭ, ИВТЭ УрО РАН, Россия)
В.М. Андреев, проф. (ФТИ им. Иоффе, С.-Петербург, Россия)
В.М. Арутюнян, акад. НАН Армении (Ереванский гос. университет, Ереван, Армения)
А.М. Архаров, д-р техн. наук (МГТУ им. Баумана, Москва, Россия)
Э.А. Бекиров, д-р техн. наук, проф. (КФУ, Симферополь, Россия)
Д.Г. Бессарабов, канд. техн. наук, Южно-Африканский центр DST «HySA Infrastructure»
Дж. О'М. Бокрис, проф. (Гейнсвилл, США)
В.М. Бузник, акад. РАН (ИТЦ РАН, Москва, Россия)
В.А. Бутузov, д-р техн. наук («Южгтеопло», Краснодар, Россия)
Т.Н. Везироглу, д-р, проф., президент МАВЭ, зам. гл. ред. ISJAEE
Е.А. Везироглу, д-р, проф., главный редактор International Journal of Hydrogen Energy (IJHE)
И.А. Габиров, д-р техн. наук, проф., (Азербайджан)
А.Г. Галеев, д-р техн. наук, проф. (ФКП НИЦ РКП, Сергиев Посад, Россия)
А.А. Гарибов, д-р хим. наук (ИРП НАН Азербайджана)
С.А. Григорьев, д-р техн. наук (НИУ «МЭИ», Москва, Россия)
Е.А. Гудилин, чл.-корр. РАН (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия), зам. главного редактора ISJAEE
Ю.А. Добровольский, д-р хим. наук (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия)
А.М. Домашенко, канд. техн. наук (ОАО «Криогенмаш», Балашиха, Россия)
В.В. Елистратов, д-р техн. наук (НОЦ «Возобновляемые источники энергии» СПбГПУ, Санкт-Петербург, Россия)
О.Н. Ефимов, канд. наук (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия)
А.З. Жук, д-р физ.-мат. наук (ОИВТ РАН, Москва, Россия)
М. Иоисович, д-р хим. наук (Designer Energy Company, Израиль)
Г.И. Исаков, д-р физ.-мат. наук (Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан), зам. главного редактора ISJAEE
А.Г. Забродский, академик РАН (ФТИ им. Иоффе, С.-Пб, Россия)
Ю.П. Зайков, д-р хим. наук (УрФУ)
Я. Клеперис, д-р физ.-мат. наук (Латвийский ун-т, Рига, Латвия)
А.С. Коротеев, акад. РАН (ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия)
Б.Н. Кузык, чл.-корр. РАН (НИК НЭП, Москва, Россия)
С.О. Кудря, д-р техн. наук (ИВЭ НАН Украины, Киев)
В.В. Куршева, канд. хим. наук (ИТЦ «ТАТА», Саров, Россия)
А.М. Липанов, акад. РАН (УдНЦ УрО РАН, Ижевск, Россия)
В.М. Лятхер, д-р техн. наук (New Energetics, Кливленд, США)
В.А. Лопота, чл.-корр. РАН (РКК «Энергия» им. С.П. Королева, Россия)</p> | <p>В.В. Лунин, акад. РАН (МГУ, Москва, Россия)
М. Лутовац, акад., проф. (Университет «УНИОН», Белград, Сербия)
Р.Х. Меликов, к-т.тех.наук, (Азербайджан)
Ч. Марчетти, проф. (Сиени, Италия)
Г.А. Месяц, акад. РАН (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия)
Н.Н. Мхитарян, чл.-корр. НАН Украины (ИВЭ НАН Украины, Киев)
И.М. Неклюдов, акад. НАН Украины (ХФТИ, Харьков, Украина)
В.Н. Пармон, акад. РАН (Институт катализа им. Г.К. Борескова СОРАН, Новосибирск, Россия)
А.М. Пенджиев, д-р с.-х. наук (Туркменский гос. архитектурно-строительный институт, Ашхабад, Туркменистан)
Н.Н. Пономарев-Степной, акад. РАН (РНЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия)
О.С. Пospel, д-р техн. наук (ОИВТ РАН, Москва, Россия)
В.Я. Попкова, д-р хим. наук (АО «Байер», Москва, Россия)
М.А. Прелас, проф. (У-т Миссури-Коламбия, Коламбия, США)
А.Ю. Раменский, канд. техн. наук, президент НАВЭ РФ (Россия, Москва), зам. гл. редактора ISJAEE
В.С. Рачук, д-р техн. наук, проф. (ОАО «КБХА», Воронеж, Россия)
И.А. Рахматуллаев, д-р физ.-мат. наук, ведущий науч. сотрудник Центра передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан
П.Ф. Рзаев, д-р техн. наук (ИРП НАН Азербайджана)
В.Ф. Резцов, чл.-корр. НАНУ (ИВЭ НАН Украины, Киев)
О.М. Саламов, канд. физ.-мат. наук (ИРП НАН Азербайджана)
П. Сан-Грегвар, проф. (Университет Тулон-Вара, Франция), зам. главного редактора ISJAEE
В.А. Сафонов, д-р техн. наук, проф. (Институт ядерной энергии и промышленности СевГУ, Севастополь, Россия)
Е.В. Соломин, д-р техн. наук (Южно-Уральский гос. университет, Челябинск, Россия)
А.Я. Столяревский, д-р техн. наук (Центр КОРТЭС, Россия), зам. главного редактора ISJAEE
А.В. Стрелец, канд. техн. наук (ФГБНУ «Дирекция научно-техн. программ», Москва, Россия)
Б.П. Тарасов, канд. хим. наук (ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия)
Т. Троциковский, д-р наук в области управления, проф. Президент Европейского научного фонда «Институт Инновации» (Польша, Варшава)
М.Д. Хэмптон, д-р, проф. (Университет центральной Флориды, США), зам. главного редактора ISJAEE
А.Ю. Цивадзе, акад. РАН (ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия)
Ю.Н. Шалимов, д-р техн. наук (ВГТУ, Воронеж, Россия)
С.Е. Щеклеин, д-р техн. наук, проф. (УрФУ, Россия)</p> |
|---|--|



International Publishing House of scientific periodicals «Space»



Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ (2014) – 5,694. Журнал зарегистрирован Международным центром ЮНЕСКО в 2000 г. (название: «Al'ternativnaia energetika i ekologiia», краткое название: «Al'tern. energ. ecol.»), ISSN 1608-8298. тематика журнала одобрена Международной ассоциацией водородной энергетики (МАВЭ) и Международным центром развития водородной энергетики Департамента по вопросам промышленного развития ООН (UNIDO-ICHET). Журнал включен в диссертационный перечень ВАК. Журнал индексируется в Google Scholar (GS – 18000); в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ – 2462). Индекс Хирша за 10 лет – 12; индекс Херфиндала по организациям авторов – 261. Журнал включен в базу данных CROSSREF (цифровой идентификатор DOI) в 2014 г.

Награды журнала: Медаль Рентгена (2007 г.), Диплом Фонда им. В.И. Вернадского и Комитета по экологии Государственной Думы ФС РФ (2007 г.), Премия «Российский Энергетический Олимп – 2008». Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИННИТИ. Журнал включен в каталоги: «Роспечать» (индекс 20487), Объединенный каталог «Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы» (индекс 41935), «Интерпочта-2003». Полные электронные версии статей представлены на сайте Научной электронной библиотеки: <http://e-library.ru>, на сайте Международного научного журнала АЭЭ: <http://isjaee.hydrogen.ru>, а также на сайте: Международного научного и образовательного портала «Водород»: <http://www.hydrogen.ru>.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-21881) от 14 сентября 2005 г. Показатель Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. – 11,360. Место Международного научного журнала АЭЭ в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. – 5; по тематике «Охрана окружающей среды. Экология человека» – 1; по тематике «Энергетика» – 1. Переводная версия журнала (IJHE) включена в SCOPUS (IF = 3,5) и Web of Science (IF = 1,5). транслитерация списка литературы по BSI.



EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF A. L. GUSEV

Leader of «Hydrogen» Group of Companies

452613, Russia, Bashkortostan Rep., Oktyabrsky, 35th mkrn., house 9a, Post Box Office 33
Phone: +7(937) 229-21-01; +7(904)6720397; +382 69 260 722; whats App: +79046720397; telegram: +38269260722;

E-mail: gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru; alexandergusev777@gmail.com; skype: aleksandr_tata

НАУЧНЫЙ СОВЕТ

S.M. Aldoshin, Acad. RAS (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 O.M. Alifanof, Member Corr. RAS (MAI, Moscow, Russia)
 R.A. Amerkhanov, Prof. (Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia)
 M.V. Anyayev D.Sc. (SOF, IITE of the UB of the RAS)
 V.M. Andreev, Prof. (A.F. Ioffe PhTI of RAS, St.-Petersburg)
 A.M. Arharov, Prof. (Bauman MSTU, Moscow, Russia)
 V.M. Aroutiounian, Acad. NAS of Armenia (Yerevan State University, Yerevan, Armenia)
 E.A. Bekirov, D.Sc., Prof. (CFU, Simferopol. Russia)
 D.G. Bessarabov, Ph.D., South African National DST Center “HySa Infrastructure”
 J. O’M. Bockris, Prof. (Gainesville, USA)
 V.A. Butuzov, Prof. (“Uuzhgeoteplo”, Krasnodar, Russia)
 V.M. Buznik, Acad. RAS (ITC RAS, Moscow, Russia)
 Yu.A. Dobrovolskiy, Prof. (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia)
 A.M. Domashenko, Prof. (“Kriogenmash”, Balashikha, Russia)
 O.N. Efimov, D.Sc. (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia)
 V.V. Elistratov, Prof. (SEC “RES”, S.-Peterburg, Russia)
 I.A. Gabibov, Dr. tech. Sciences, Prof. (Azerbaijan)
 A.G. Galeev, Prof. (Science and Research Center of Rocket and Space Production, Sergiev Posad, Russia)
 A.A. Garibov, Prof. (IRP NAS, Azerbaijan)
 E.A. Goodilin, Member Corresponding RAS (FMS MSU, Moscow, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 S.A. Grigoriev, Ph.D., D.Sc. (NRU “MEI”, Moscow, Russia)
 M.D. Hampton, Prof. (University of Central Florida, USA), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 M. Ioelovich, D.Sc. (Designer Energy Company, Israel)
 G.I. Isakov, Prof. (Institute of Physics of NAS of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 J. Kleperis, D.Sc. (University of Latvia, Riga, Latvia)
 A.S. Koroteev, Acad. RAS (Keldysh Research Center, Moscow, Russia)
 O. Kudrya, Prof. (IRE of NAS of Ukraine, Kiev)
 V.V. Kursheva, D.Sc. (STC “TATA”, Sarov, Russia)
 B.N. Kuzyk, Member Corresponding RAS (NIK NEP, Moscow, Russia)
 A.M. Lipanov, Acad. RAS (UdSc UrB RAS, Izhevsk, Russia)
 V.A. Lopota, Member Corresponding RAS (S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energia”, Russia)
 V.V. Lunin, Acad. RAS (MSU, Moscow, Russia)
 M. Lutovaz, Acad. (FPIM University “UNION”, Belgrade, Serbia)
 V.M. Lyatkher, Prof. (New Energetics Inc., Cleveland, USA)
 R.H. Malikov, Candidate of Technical Sciences, (Azerbaijan)
 Ch. Marchetti, Prof. (Sieci, Italy)
 N.N. Mkhitarian, Member Corr. NASU (IRE of NAS of Ukraine, Kiev)

G.A. Mesyats, Acad. RAS (Physics Institute of them. P. N. Lebedev of RAS, Moscow, Russia)
 I.M. Neklyudov, Acad. RAS of Ukraine (KPTI, Khar’kov, Ukraine)
 V.N. Parmon, Acad. RAS (Borekov Institute of Catalysis of SD RAS, Novosibirsk, Russia)
 A.M. Penjiev, Prof. (Turkmen State Architecturally-Building Institute, Ashgabat, Turkmenistan)
 N.N. Ponomaryov-Stepnoy, Acad. RAS (RRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia)
 O.S. Popel’, Prof. (UIHT of RAS, Moscow, Russia)
 V.Ya. Popkova, Prof. (A/O Bayer, Moscow, Russia)
 M.A. Prelas, Prof. (Univ. of Missouri-Columbia, Columbia, USA)
 V.S. Rachuk, Prof. (OSC KBKhA, Voronezh, Russia)
 A.Yu. Ramenskiy, Ph.D., President of the National Hydrogen Energy Association (NHEA) (Moscow, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 I.A. Rakhmatullaev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher of the Center for Advanced Technology under the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan
 V.F. Reztsov, Member Corr. NASU (IRE of NASU, Kiev)
 P.F. Rzaev, Prof. (IRP NAS, Azerbaijan)
 V.A. Safonov, D.Sc., Prof. (Institute of Nuclear Energy and Industry of SevSU, Sevastopol, Russia)
 P. Saint-Gregoire, Prof. (University of Toulon and Var, France), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 O.M. Salamov, PhD (IRP NAS, Azerbaijan)
 Y.N. Shalimov, Prof. (VSTU, Voronezh, Russia)
 S.E. Shecheklein, Prof. (UrFU, Russia)
 E.V. Solomin, Prof. (South Ural State University, Russia)
 A.Ya. Stolyarevsky, Prof. (Center CORTES, Russia), deputy editor-in-chief of ISJAEE
 A.V. Strelets, Dr. (FCSTP, Moscow, Russia)
 B.P. Tarasov, Dr. (IPCP RAS, Chernogolovka, Russia)
 T. Trotsikovskiy, Ph.D. in Management, prof., President of the European Innovation Research (Poland, Warsaw)
 A.Yu. Tsvizade, Acad. RAS (A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Moscow, Russia)
 T.N. Veziroglu, Dr., Prof., Prezident of International Association for Hydrogen Energy, deputy editor-in-chief of ISJAEE
 E.A. Veziroglu, Dr., Prof., editor-in-chief of International Journal of Hydrogen Energy (IJHE)
 A.Z. Zhuk, Prof. (ITPhES RAS, Moscow, Russia)
 Yu.P. Zaikov, Prof. (UrB RAS, Russia)
 A.G. Zabrodsky, Academician RAS (A.F. Ioffe Physical-Technical Institute of RAS, St.-Petersburg)

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

Two-year Impact Factor of Russian Science Citation Index (2014) – 5,694; h-index for 10 years – 12. Herfindahl index of the authors’ organizations – 261.
 The journal is registered in UNESCO in ISSN International Centre in 2000 (key title: “Аl’ternativnaâ energetika i èkologiya”, abbreviated key title: “Al’tern. ènerg. ècol.”), ISSN 1608-8298. The subjects of the journal are approved by International Association for Hydrogen Energy (IAHE). The journal has been included into the “List of leading reviewed scientific journals and editions in which the basic scientific results of dissertations on competition of scientific degrees of Doctors and Candidate of Sciences (Ph.D. and D.Sc.) should be published” according to the decision of Presidium of the Higher Certifying Commission. The journal has been included into catalogues: “Rospechat” (20487), Joined catalogue “Press of Russia. Russian and foreign newspapers and journals” (41935), “Interpochta-2003”.
 Journal awards: Röntgen Medal (2007), Award of V. I. Vernadskiy fund and RF State Committee for Ecology (2007), The Premium “Russian Energetic Olympus – 2008”.
 The journal has been included into the abstract journal and data base VINITI; and and CROSS REF (DOI) in 2014. The journal is indexed in Google Scholar (GS – 18000); and Russian Science Citation Index (2462). Full version of papers has been presented at Scientific electronic library <http://e-library.ru>, web-site of International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology <http://isjaee.hydrogen.ru>, and International Information and Education Portal “Hydrogen” <http://www.hydrogen.ru>. The journal has been registered at Russian Federal Service on Supervision of Observance of the Legislation in Sphere of Mass Communications and Protection of a Cultural Heritage (Certificate PI No FC77-21881) September 14, 2005
 Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2015 – 11,360; in General Rating for 2015 – 5; on the topic “Environmental Protection Human Ecology” – 1; on the topic “Energy” – 1 Translated version (IJHE) is included into Scopus (IF = 3,5) and Web of Science (IF = 1,5) as well as international databases.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Президент IAAEE А.Л. Гусев
Сопредседатель: член-корр. РАН Е.А. Гудилин
Члены Международного редакционного комитета (МКР) представлены на стр. 196-202 по закреплённым тематическим направлениям и тематическим секциям

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ СОВЕТ РЕДАКЦИИ

Председатель: акад. РАН Н.Н. Пономарев-Степной
Сопредседатели: академик РАН В.Н. Пармон
академик РАН С.М. Алдошин
Члены Международного научно-консультативного совета редакции (МНКСР) представлены на стр. 196-202 по закреплённым тематическим направлениям и тематическим секциям

СОВЕТ ЭКСПЕРТОВ

Председатель: А.Л. Гусев
Сопредседатели:
Б.П. Тарасов, А.Я. Столяревский
Р.А. Амерханов (Краснодар, Россия)
Л.Ф. Беловодский (Саров, Россия)
А.Г. Галеев (Сергиев Посад, Россия)
Е.А. Гудилин (Москва, Россия)
А.М. Домашенко (Балашиха, Россия)
О.С. Попель (Москва, Россия)
В.А. Хуснутдинов (Москва, Россия)

МЕМОРИАЛ

Я.Б. Данилевич	Ю.А. Рыжов
А.В. Елютин	Ю.Д. Третьяков
С.П. Капица	Ю.К. Завалишин
В.И. Куприянов	М.А. Казарян
А.А. Макаров	Ю.А. Трутнев
С.П. Малышенко	В.Е. Фортон
В.Е. Накоряков	А.Р. Щекин
В.А. Гольцов	Л.Ф. Гольцова
З.Р. Исмагилов	

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ РЕЦЕНЗЕНТОВ

Председатель: Т.Н. Везируглу
Р.А. Амерханов (Краснодар, Россия)
В.М. Арутюнян (Ереван, Армения)
П.Г. Бережко (Саров, Россия)
В.А. Бутузов (Краснодар, Россия)
М.В. Воробьева (Москва, Россия)
А.Г. Галеев (Сергиев Посад, Россия)
Е.А. Гудилин (Москва, Россия)
А.Л. Гусев (Саров, Россия)
А.Л. Дмитриев (Санкт-Петербург, Россия)
А.М. Домашенко (Балашиха, Россия)
О.Н. Ефимов (Черноголовка, Россия)
Г.И. Исаков (Баку, Азербайджан)
Ф. Караосман оглу (Стамбул, Турция)
Я. Клеперис (Рига, Латвия)
Ю.С. Нечаев (Москва, Россия)
А.Т. Пономаренко (Москва, Россия)
О.С. Попель (Москва, Россия)
Л.В. Спивак (Пермь, Россия)
Б.В. Спицын (Москва, Россия)
А.Я. Столяревский (Москва, Россия)
Е.М. Тараева (Москва, Россия)
Б.П. Тарасов (Черноголовка, Россия)
Г.Л. Хорасанов (Обнинск, Россия)
М.Д. Хэмптон (Орlando, США)
Ю.М. Шульга (Черноголовка, Россия)
Ю. Шунман (Делфт, Нидерланды)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Chairman: President IAAEE A.L. Gusev
Co-Chairman: Member Corresponding of the RAS E.A. Goodilin
Members of the International Editorial Board (IEB) on specified topics and topical sections are presented on pages 203-209

INTERNATIONAL EDITORIAL ADVISORY BOARD

Chairman: Academician of the RAS N.N. Ponomaryov-Stepnoy
Co-Chairmans: Academician of the RAS V.N. Parmon,
Academician of the RAS S.M. Aldoshin
Members of the International Editorial Advisory Board (IEAB) on specified topics and topical sections are presented on pages 203-209

INTERNATIONAL REVIEWERS BOARD

Chairman: T.N. Veziroglu
R.A. Amerkhanov (Russia, Krasnodar)
V.M. Aroutiounian (Armenia, Yerevan)
P.G. Berezko (Russia, Sarov)
V.A. Butuzov (Russia, Krasnodar)
A.L. Dmitriev (Russia, S.-Petersburg)
A.M. Domashenko (Russia, Balashikha)
O.N. Efimov (Russia, Chernogolovka)
A.G. Galeev (Russia, Sergiev Posad)
E.A. Goodilin (Russia, Moscow)
A.L. Gusev (Russia, Sarov)
M.D. Hampton (USA, Orlando)
G.I. Isakov (Azerbaijan, Baku)
F. Karaosman oglu (Turkey, Istanbul)
G.L. Khorasanov (Russia, Obninsk)
J. Kleperis (Latvia, Riga)
Yu.S. Nechaev (Russia, Moscow)
A.T. Ponomarenko (Russia, Moscow)
O.S. Popel' (Russia, Moscow)
Yu.M. Shul'ga (Russia, Chernogolovka)
Yu. Shoonman (Netherlands, Delft)
B.V. Spitsyn (Russia, Moscow)
L.V. Spivak (Russia, Perm')
A.Ya. Stolyarevskiy (Russia, Moscow)
E.M. Tararaeva (Russia, Moscow)
B.P. Tarasov (Russia, Chernogolovka)
M.V. Vorobyova (Russia, Moscow)

EXPERTS BOARD

Chairman: A.L. Gusev
Co-Chairmans:
B.P. Tarasov, Z.R. Ismagilov
R.A. Amerkhanov (Russia, Krasnodar)
L.F. Belovodsky (Russia, Sarov)
A.M. Domashenko (Russia, Balashikha)
A.G. Galeev (Russia, Sergiev Posad)
E.A. Goodilin (Russia, Moscow)
V.A. Khusnutdinov (Russia, Moscow)
O.S. Popel' (Russia, Moscow)

MEMORIAL

Ya.B. Danilevich	Yu.A. Ryjov
A.V. Elyutin	Yu.D. Tretiakov
S.P. Kapitza	Yu.K. Zavalishin
V.I. Kupriyanov	M.A. Kazaryan
A.A. Makarov	Yu.A. Trutnev
S.P. Malysheko	V.E. Fortov
V.E. Nakoryakov	A.R. Sheekin
V.A. Gol'tsov	L.F. Gol'tsova
Z.R. Ismagilov	

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ И ДЕЛОВОЙ КЛУБ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND BUSINESS CLUB FOR ALTERNATIVE ENERGY AND ECOLOGY



В ЭТОМ НОМЕРЕ



IN THIS ISSUE

**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**



**RENEWABLE
ENERGY**

**НЕВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**



**NONRENEWABLE
ENERGY**

**ТЕРМОЯДЕРНАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**



**THERMONUCLEAR
ENERGY**

**ВОДОРОДНАЯ
ЭКОНОМИКА**



**HYDROGEN
ECONOMY**

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**



**STRUCTURAL
MATERIALS**

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ АЭЭ**



**THERMODYNAMIC
BASICS OF AEE**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ЭНЕРГЕТИКИ**



**ENVIRONMENTAL ASPECTS
ENERGY**

**ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА, СМИ,
ПОДДЕРЖКА ГОСУДАРСТВА**



**LEGISLATIVE BASIS,
MASS MEDIA, STATE SUPPORT**

**КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
И ОБРАЗОВАНИЕ**



**PERSONNEL MANAGMENT
AND EDUCATION**

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
АЭЭ**



**ECOMIC ASPECTS
OF AEE**

**ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ,
ТЕХНОЛОГИИ, УСТРОЙСТВА
И ИХ ВНЕДРЕНИЕ**



**INNOVATION SOLUTIONS
TECHNOLOGIES, FACILITIES
AND THEIR INOVATION**



В ЭТОМ НОМЕРЕ



IN THIS ISSUE

ТРАНСПОРТНЫЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА



ENVIRONMENTAL
VEHICLES

ДОБЫЧА
ПРИРОДНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



RECOVERY
TECHNIQUES

КАТАЛИЗ В АЭЭ



CATALYSIS FOR AEE

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ



ENERGY SAVING

ПРОБЛЕМЫ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА



PROBLEMS
OF OIL AND GAS COMPLEX

ОПТИЧЕСКИЕ
ЯВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА



OPTICAL
PHENOMENA AND FACILITIES

ГАЗОТУРБИННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



GAS TURBINE
TECHNOLOGY

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ
ПРОИЗВОДСТВА



ENVIRONMENTALLY
CONSCIOUS FACTORIES

ПРОБЛЕМЫ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО
КОМПЛЕКСА



ISSUES
OF AGRICULTURE

НАУКИ О ЗЕМЛЕ



EARTH SCIENCES

ИНФОРМАЦИЯ
В ОБЛАСТИ АЭЭ



INFORMATION FOR AEE



International Publishing House of scientific periodicals «Space»



Международный издательский дом научной периодики «Спейс»



СОДЕРЖАНИЕ

XXII. ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ АЭЭ

41. Информация

41-3-0-0 Научные биография ученых мира

Столяревский А. Я.

Предисловие.....14

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.014-019

I. ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

1. Солнечная энергетика

1-7-0-0 Концентраторы солнечного излучения

Цинь Лисун, Щеклеин С. Е., Немихин Ю. Е.

Концентрация и передача солнечного света в подземные помещения.....20

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.020-027

2. Ветроэнергетика

2-1-0-0 Ветроэнергетика и архитектура

Курбатов В. В., Стрекалов С. Д.

Ветровая микрогенерация – экологичный ресурс энергосбережения для прибрежной зоны города..... 28

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.028-035

8. Энергокомплексы на основе ВИЭ

Вавилов О. А., Юркевич В. Д., Коробков Д. В.

Синтез системы автоматического регулирования для инвертора напряжения в составе автономной системы электроснабжения.....36

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.036-050

Зотов Л. Г., Большаков И. М.

Энергоэффективный сумматор мощности альтернативных источников электрической энергии на основе повышающих конденсаторных DC-DC преобразователей.....51

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.051-061

Зотов Л. Г., Куратов К. А., Большаков И. М.

Энергоэффективные регуляторы напряжения альтернативных источников на основе повышающих конденсаторных DC-DC преобразователей.....62

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.062-074

II. НЕВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

9. Атомная энергетика

Д. О. Пыльцова, О. Л. Ташлыков, Та Ван Тхьонг, Е. В. Кувшинова, А. М. Широнина, И. П. Воронин, К. А. Махмуд, С. Е. Щеклеин

Исследование природных минералов Вьетнама для оценки потенциала их применения в качестве защиты от ионизирующего излучения.....75

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.075-086



Столяревский А. Я.
Метано-водородный переход к водородной экономике87
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.087-101

Байрамов А. Н.
Оценка рабочего ресурса лопаток и дисков турбины в условиях циклических нагрузок при водородном перегреве рабочего тела в паротурбинном цикле АЭС.....102
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.102-118

Коробейников С. М., Ломан В. А., Ридель А. В., Бычков А. Л.
Защита витковой изоляции трансформаторов и ветрогенераторов от высокочастотных перенапряжений.....119
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.119-132

IV. ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА

12. Водородная экономика

12-4-0-0 Хранение водорода

Manish Kumar Singla, Jyoti Guptaa, Murodbek Safaraliev, Parag Nijhawan, Amandeep Singh Oberoi, Amir Abdel Menaem.
Characterization of an activated carbon electrode made from coconut shell precursor for hydrogen storage applications.....133
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.133-152

VII. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ

17. Энергетика и экология

Сидорова А. В., Широков А. В., Русина А. Г., Арестова А. Ю.
Алгоритм автоматического определения типов повреждений основного оборудования на основе технологии цифровых двойников.....153
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.153-168

17-2-0-0 Экологические проблемы мегаполисов

Бабицкий Д. Ю., Топорков Д. М.
Исследование магнитных вибраций в машинах с дробными зубцовыми обмотками и постоянными магнитами для водородного электротранспорта.....169
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.169-178

17-4-0-0 Экология водных ресурсов

Куришбаев А., Габдуллин М., Аманжолова Р., Эм Т., Сагин Ж., Бурлибаева Д., Алиханов К., Серикканов А., Сарсекова Д., Кинг Р.
Возможности эффективного использования водных ресурсов и водородного рынка в Казахстане.....179
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.179-207

17-5-0-0 Проблемы вредных выбросов в атмосферу тепловыми электрическими станциями

Синельников Д. С.
Технология электрического воспламенения пылеугольного топлива и перспективы ее использования.....208
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.208-213



XI. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, УСТРОЙСТВА И ИХ ВНЕДРЕНИЯ

26. Инновационные решения в области энергетики и альтернативной энергетики

Щеклеин С.Е., Сергеев А.Н., Сурганов О.А., Шастин А.Г.

Экспериментальное исследование эффективности абразивной очистки трубопроводов
ядерно-энергетических установок..... 214
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.214-224

Марченко А. И., Фишов А. Г., Мурашкина И. С.

Противоаварийная автоматика для создания и управления режимами локальных интеллектуальных
энергосистем на базе малой генерации..... 225
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.225-234

Вяткин П. А., Мола А. Х., Щеклеин С. Е., Немихин Ю.Е.

Экспериментальное исследование систем солнечного трекинга с применением гидроцилиндра с
композитным рабочим телом..... 235
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.235-244

XV. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

35. Энергосберегающие технологии, системы, материалы и приборы

Осинцев А.А., Фролова Е.И.

Моделирование тестовых проверок для автоматки ликвидации асинхронного режима..... 245
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.245-251

XXII. ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ АЭЭ

41-6-0-0 Рекламные материалы научных организаций,
инвестиционных фирм и фирм-производителей

Рекламные материалы научных организаций,
инвестиционных фирм и фирм-производителей..... 252

41. Информация

Новости..... 254

На 1-й стр. обложки: 100-летний юбилей одного из основателей, Пионера, Романтика и Патриарха Водородной Эры – профессора доктора Т. Н. Везироглу

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ (2015) – 5,694.
 Индекс Хирша за 10 лет – 12; индекс Херфиндаля по организациям авторов – 261.
 Переводная версия журнала (IJE) входит в Scopus и Web of Science, а также в международные базы данных.
 Транслитерация списка литературы по BSI.
 Показатель Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 – 11,360.
 Место Международного научного журнала АЭЭ в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. по тематике «Охрана окружающей среды. Экология человека» – 1
 Место Международного научного журнала АЭЭ в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. по тематике «Энергетика» – 1
 Место Международного научного журнала АЭЭ в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. – 5



Учредитель, издатель и редакция
 Научно-технический центр «ТАТА»
 Генеральный директор А.Л. Гусев
 E-mail: gusev@hydrogen.ru

Почтовый адрес:
 452613, Башкортостан респ., г. Октябрьский, 35-й мкр., дом 9А, абонентский ящик № 33
 Phone: +7(937) 229-21-01; +7(904)6720397; +382 69 260 722; whats App: +79046720397; telegram: +38269260722;
 e-mail: gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru; alexandergusev777@gmail.com; skype: aleksandr_tata



Основной партнер
 Институт водородной экономики
 Генеральный директор А.Л. Гусев
 E-mail: gusev@hydrogen.ru

Почтовый адрес:
 452613, Башкортостан респ., г. Октябрьский, 35-й мкр., дом 9А, абонентский ящик № 33
 Phone: +7(937) 229-21-01; +7(904)6720397; +382 69 260 722; whats App: +79046720397;
 telegram: +38269260722; e-mail: gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru; alexandergusev777@gmail.com; skype: aleksandr_tata

Все права принадлежат ООО НТЦ «ТАТА» по лицензионному договору с Владелцем интеллектуальной собственности Александром Леонидовичем Гусевым.

Заведующий редакцией, гл. редактор сайта <http://isjaee.com>
 Александр Леонидович Гусев (Россия, Саров)

E-mail: gusev@hydrogen.ru, redactor@hydrogen.ru

Переводчики
 Александр Рудольфович Володько (Россия, Саров)
 Татьяна Викторовна Зезюлина (Россия, Саров)

Контент-менеджер сайта
<http://isjaee.com>
 Александр Леонидович Гусев (Россия, Саров)

Художественный редактор
 Виктор Иванович Немышев (Россия, Саров)

Научные обозреватели
 Ольга Борисовна Баглицкая-Каменова (Россия, Москва)
 Вера Владимировна Куршева (Россия, Москва)

Компьютерная графика
 Валентин Александрович Гусев (Россия, Саров)

Редактор, корректор
 Алевтина Сергеевна Хазиева (Россия, Октябрьский)

Компьютерная верстка
 Алевтина Сергеевна Хазиева (Россия, Октябрьский)

CONTENT

XXII. INFORMATION IN THE FIELD OF ENERGY EFFICIENCY

41. Information

41-3-0-0 Scientific biography of world scientists

Stolyarevsky A. Ya.

Preface.....14

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.014-019

I. RENEWABLE ENERGY

1. Solar energy

1-7-0-0 Solar radiation concentrators

Qin Lisong, Shcheklein S. E., Nemikhin Yu. E.

Concentration and transmission of sunlight into underground rooms.....20

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.020-027

2. Wind energy

2-1-0-0 Wind energy and architecture

Kurbatov V.V., Strekalov S.D.

Wind microgeneration is an environmentally friendly energy saving resource for the coastal zone of the city.....28

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.028-035

8. Energy complexes based on renewable energy sources

Vavilov O. A., Yurkevich V. D., Korobkov D. V.

Synthesis of an automatic control system for a voltage inverter consisting of autonomous power supply system.....36

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.036-050

Zotov L. G., Bolshakov I. M.

Energy-efficient power adder for alternative electrical energy sources based on boost capacitor DC-DC converters.....51

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.051-061

Zotov L. G., Kuratov K. A., Bolshakov I. M.

Energy Efficient Voltage Regulators from Alternative Sources based on boost capacitor DC-DC converters.....62

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.062-074

II. NON-RENEWABLE ENERGY

9. Nuclear energy

D. O. Pyltsova, O. L. Tashlykov, Ta Van Thuong, E. V. Kuvshinova, A. M. Shironina, I. P. Voronin,

K. A. Makhmud, S. E. Shcheklein

Study of natural minerals in Vietnam to assess the potential of their use as protection against ionizing adiation.....75

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.075-086



9-1-0-0 Nuclear hydrogen energy

Stolyarevsky A. Ya.

Methane-hydrogen transition to a hydrogen economy.....87
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.087-101

Bayramov A. N.

Estimation of the working life of turbine blades and disks under cyclic load conditions under hydrogen overheating of the working fluid in the steam turbine cycle of a nuclear power plant.....102
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.102-118

Korobeinikov S. M., Loman V. A., Ridel A. V., Bychkov A. L.

Protection of turn insulation of transformers and wind generators from high-frequency overvoltages.....119
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.119-132

IV. HYDROGEN ECONOMY

12. Hydrogen economy

12-4-0-0 Hydrogen storage

Manish Kumar Singla, Jyoti Gupta, Murodbek Safaraliev, Parag Nijhawan, Amandeep Singh Oberoi, Amir Abdel Menaem

Characterization of an activated carbon electrode made from coconut shell precursor for hydrogen storage applications.....133
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.133-152

VII. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ENERGY

17. Energy and ecology

Sidorova A. V., Shirokov A. V., Rusina A. G., Arestova A. Y.

Automatic damage type detection algorithm for main equipment based on digital twin technology153
doi: 10.15518/isjaee.2024.01. 153-168

17-2-0-0 Environmental problems of megacities

Babitsky D. Yu., Toporkov D. M.

Study of magnetic vibrations in machines with fractional tooth windings and permanent magnets for hydrogen electric transport.....169
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.169-178

17-4-0-0 Ecology of water resources

Kurishbaev A., Gabdullin M., Amanzholova R., Em T., Sagin Zh., Burlibaeva D., Alikhanov K., Serikkanov A., Sarsekova D., King R.

Opportunities for the efficient use of water resources and the hydrogen market in Kazakhstan.....179
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.179-207

17-5-0-0 Problems of harmful emissions into the atmosphere from thermal power plants

Sinelnikov D. S.

Technology of electric ignition of pulverized coal fuel and prospects for its use.....208
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.208-213



XI. INNOVATIVE SOLUTIONS, TECHNOLOGIES, DEVICES AND THEIR IMPLEMENTATION

26. Innovative solutions in the field of energy and alternative energy

Shcheklein S.E., Sergeev A.N., Surganov O.A., Shastin A.G.

Experimental study of the effectiveness of abrasive cleaning of pipelines nuclear power plants..... 214
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.214-224

Marchenko A. I., Fishov A. G., Murashkina I. S.

Emergency automation for creating and controlling the modes of local smart power systems based on small-scale generation..... 225
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.225-234

Vyatkin P. A., Mola A. Kh., Shcheklein S. E., Nemikhin Yu.E.

Experimental study of solar tracking systems using a hydraulic cylinder with a composite working fluid..... 235
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.235-244

XV. ENERGY SAVING

35. Energy-saving technologies, systems, materials and devices

Osintsev A.A., Frolova E.I.

Modeling of test checks for automatic elimination of asynchronous mode..... 245
doi: 10.15518/isjaee.2024.01.245-251

XXII. INFORMATION IN THE FIELD OF ENERGY EFFICIENCY

41-6-0-0 International scientific conferences

International scientific conferences..... 252

41. Information

News..... 254



On the 1st page of the cover: 100th anniversary of one of the founders, Pioneer, Romantic and Patriarch of the Hydrogen Era – Professor Dr. T. N. Veziroglu

Translated version (IJHE) is included into Scopus and Web of Science and too in international databases.

Two-year Impact Factor of Russian Science Citation Index (2015) - 5,694.

H-index for 10 years - 12. Herfindahl index of the authors' organizations – 261.

Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2015– 11,360

Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2015 on the topic «Environmental Protection. Human Ecology» – 1

Position of ISJAEE in SCIENCE INDEX rating for 2015 on the topic «Energy» – 1

Position of ISJAEE in General Rating of SCIENCE INDEX for 2015 – 5



Founder and publisher

Scientific Technical Centre «TATA»
General manager A.L.Gusev
E-mail: gusev@hydrogen.ru
Mailing address:
452613, Republic of Bashkortostan, Oktyabrsky, 35th str., building 9A, subscriber's box No. 33
Phone: +7(937) 229-21-01; +7(904)6720397;+382 69 260 722;
whats App: +79046720397; telegram: +38269260722;
E-mail:gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru;
alexandergusev777@gmail.com;
skype: aleksandr_tata



General cooperation

Institute for Hydrogen Economy
General manager A.L.Gusev
E-mail: gusev@hydrogen.ru
Mailing address:
452613, Republic of Bashkortostan, Oktyabrsky, 35th str., building 9A, subscriber's box No. 33
Phone: +7(937) 229-21-01; +7(904)6720397;+382 69 260 722;
whats App: +79046720397; telegram: +38269260722;
E-mail:gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru;
alexandergusev777@gmail.com;
skype: aleksandr_tata

All rights belong to LLC Scientific and Technical Center «TATA» under a license agreement with the Owner of intellectual property Alexander Leonidovich Gusev.

Chief-in-Board, Editor-in-Chief

<http://isjaee.com>
Alexander Leonidovich Gusev (Russia, Sarov)
E-mail: gusev@hydrogen.ru,
redactor@hydrogen.ru

Art-Editor

Viktor Ivanovich Nemyshv (Russia, Sarov)

Editor, Proof-reader

Alevtina Sergeevna Khazieva
(Russia, Oktyabrsky)

Translators

Alexander Rudolfovich Volod'ko (Russia, Sarov)
Tatyana Viktorovna Zezyulina (Russia, Sarov)

Scientific Reporters

Ol'ga Borisovna Baklitskaya-Kameneva
(Russia, Moscow)
Vera Vladimirovna Kursheva
(Russia, Moscow)

Computer design

Alevtina Sergeevna Khazieva
(Russia, Oktyabrsky)

Content-manager of <http://isjaee.com>

Alexander Leonidovich Gusev (Russia, Sarov)

Graphic design

Valentin Alexandrovich Gusev (Russia, Sarov)



ИНФОРМАЦИЯ

INFORMATION

НАУЧНЫЕ БИОГРАФИИ УЧЕНЫХ МИРА

REVIEW OF LEADING INTERNET-RESOURCES

Статья поступила в редакцию 07.01.24 Ред. Рег. № 000-001-24

This article has entered in publishing office 07.01.24 Ed. Reg. № 000-001-24

УДК 620.92

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЮБИЛЕЙНОМУ ВЫПУСКУ

Столяревский А. Я.

Центр комплексного развития технологий и энерготехнологических систем (Центр КОРТЭС),
Россия, г. Москва, ул. Максимова, 4, 123182
E-mail: anatoly.stolyarevsky@ccortes.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.014-019

Заключение совета рецензентов: 21.01.24

Заключение совета экспертов: 25.01.24

Принято к публикации: 30.01.24

В статье представлен материал, посвящённый столетию выдающегося учёного современности, патриарха водородной энергетики, основателя международной водородной ассоциации IАНЕ, основателя международного журнала по водородной энергетике IJHE, профессора Т. Н. Везируглу.

Проф. Т. Н. Везируглу большую часть своей жизни посвятил развитию водородной энергетики, войдя в историю, как основоположник и лидер сообщества учёных и специалистов, работающих над воплощением концепции построения водородной экономики, в которой основными источниками энергии и энергоносителями стали бы материалы и технологии, не оказывающие непоправимых губительных воздействий на окружающую среду. В частности, проф. Т. Н. Везируглу совместно с президентом IААЕЕ А. Л. Гусевым, в период с 2000 по 2021 годы принимал самое активное участие в создании Концепции Альтернативной Энергетики и Экологии, создании и развитии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ), являясь Почётным Главным редактором этого журнала и активным автором журнала. В эти годы он участвовал в международном научном проекте «Водородные сенсоры» (ISTC#1580) в качестве колаборатора проекта от США, опубликовал более 25 работ в области водородной энергетики. Совместно с А. Л. Гусевым им организованы международные форумы: IFSSENT-2000; IFSSENT-2003; IFSSENT-2006; WCAEE-2006 и многие другие.

Подойдя к своему столетнему юбилею, проф. Везируглу стал не просто патриархом водородной энергетики, а ее визитной карточкой, центром международной кооперации усилий по становлению новой энергетической парадигмы: неограниченного использования чистой энергии на основе водородных технологий.

Ключевые слова: водородная цивилизация, водород, водородная эра, водородная экономика, водородные сенсоры, атомно-водородная энергетика, ископаемое топливо.

Столяревский А. Я. Предисловие к юбилейному выпуску // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ), 01 (418) 2024, с. 14-19
Stolyarevsky A. Ya. Preface for the anniversary issue // Alternative Energy and Ecology (ISJAEЕ), 01(418) 2024, pp. 14-19



PREFACE

For the anniversary issue

Stolyarevsky A. Ya.

Center for Integrated Development of Technologies and Energy Technology Systems (CORTES Center),
Russia, Moscow, st. Maksimova, 4, 123182
e-mail: anatoly.stolyarevsky@ccortes.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.014-019

Referred: 21.01.24

Received in revised form: 25.01.24

Accepted: 30.01.24

The article presents material dedicated to the centenary of the outstanding scientist of our time, the patriarch of hydrogen energy, the founder of the international hydrogen association IAHE, the founder of the international journal on hydrogen energy IJHE, Professor T. N. Veziroglu.

Prof. T. N. Veziroglu devoted most of his life to the development of hydrogen energy, going down in history as the founder and leader of a community of scientists and specialists working to implement the concept of building a hydrogen economy, in which the main sources of energy and energy carriers would be materials and technologies, not causing irreparable harmful effects on the environment. In particular, prof. T. N. Veziroglu together with IAAEE President A. L. Gusev, in the period from 2000 to 2021, took an active part in the creation of the Concept of Alternative Energy and Ecology, the creation and development of the International Scientific Journal for «Alternative Energy and Ecology» (ISJAEE), being the Honorary Chief Editor of this journal and an active author of the journal. During these years, he participated in the international scientific project «Hydrogen Sensors» (ISTC#1580) as a project collaborator from the USA, and published more than 25 works in the field of hydrogen energy. Together with A. L. Gusev organized international forums: IFSSEHT-2000; IFSSEHT-2003; IFSSEHT-2006; WCAEE-2006 and others.

Approaching his centenary, Prof. Veziroglu became not just the patriarch of hydrogen energy, but its calling card, the center of international cooperation in efforts to establish a new energy paradigm: the unlimited use of clean energy based on hydrogen technologies.

Keywords: hydrogen civilization, hydrogen, hydrogen era, hydrogen economy, hydrogen sensors, nuclear-hydrogen energy, fossil fuel.



Столяревский
Анатолий Яковлевич

Stolyarevsky
Anatoly Yakovlevich

Сведения об авторе: с 1991 г. – директор Центра комплексного развития технологий и энерготехнологических систем (КОРТЭС), доктор технических наук (2009 г.).

Образование: факультет «Двигатели летательных аппаратов» МАИ (1973 г.), специальность «Космические энергоустановки».

Область научных интересов: Преобразование энергии, атомно-водородная энергетика.

Публикации: более 150 статей и докладов, свыше 80 патентов на изобретения (ядерная энергетика, преобразование энергии).

Индекс Хирша (по РИНЦ): 11

Author information: Center CORTES. Director.

Education: 1973, Ing. (M.Sc.) Faculty of Engines, Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technology) 1982, C.Sc.(Ph.D) energy technology 2009, Dr.Sc. energy technology.

Career: Since 1973 till the date-Kurchatov's Institute of Atomic Energy (RRC KI) 1979 – team leader.

Since 1982 – Head of Laboratory of Energy & Technology Systems.

1986-1990 – Supervisor, director and coordinator of the Soviet-German project «Nuclear Power and Process Heat Plant with High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR)».

Since 1991 – Director (CEO) of Centre CORTES.

Research area: Energy Conversion. Atomic and hydrogen energy.

Publications: more than 150 articles and reports, over 80 patents for inventions (nuclear energy, energy conversion).

The Hirsch index (according to the RSCI): 11

Таблица сокращений

CERI	Научно-исследовательский институт чистой энергии
HESS	Японское общество водородных энергетических систем
WHEC	Всемирная конференция по водородной энергетике
IAHE	Международная ассоциация водородной энергетике
WHTC	Всемирная конвенция по водородным технологиям

ОПЕК	это организация, состоящая из стран – экспортеров нефти.
США	Соединённые Штаты Америки
СССР	Союз Советских Социалистических Республик
ИАЭ	Институт атомной энергии
ISJAEE	Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»

Проф. Т. Н. Везируглу большую часть своей жизни посвятил развитию водородной энергетике, войдя в историю как основоположник и лидер сообщества ученых и специалистов, работающих над воплощением концепции построения водородной экономики, в которой основными источниками энергии и энергоносителями стали бы материалы и технологии, не оказывающие непоправимых губительных воздействий на окружающую среду [1-18]. Получив хорошее образование в Великобритании, где его наставниками были ученики Э. Резерфорда проф. Маргарет Фишенден и сэр Оуэн Альфред Сондерс, с 1962 года он стал руководителем кафедры машиностроения технического факультета Университета Майами, руководил исследованиями по тепло- и массообмену в различных прикладных задачах. В 1973 году основал Научно-исследовательский институт чистой энергии (CERI), который стал базовой структурой в дальнейших организационных проектах проф. Т. Н. Везируглу. Он организовал и провел 18-20 марта 1974 года первую крупную международную конференцию по водородной энергетике: The Hydrogen Economy Miami Energy в Майами-Бич, Флорида, в ходе которой д-р Везируглу предложил концепцию водородной энергетической системы, создающей основу ранее предложенной проф. Джоном Бокрисом (John O'Malley Bockris) «водородной экономики» как пути решения проблемы истощения запасов ископаемого топлива и экологических проблем. Среди романтиков и энтузиастов водородной энергетике, которые стали соратниками Везируглу, видную роль играл д-р Дж. Токио Ота из Иокогамы, Япония, в 1973 году создавший Исследовательское общество водородной энергетике, ставшее позднее Японским обществом водородных энергетических систем (HESS). В результате обсуждений, проведенных на Конференции, была образована Международная ассоциация водородной энергетике (IAHE) и доктор Везируглу был избран ее президентом-основателем. В роли президента IAHE в

1976 году он инициировал проводимую раз в два года Всемирную конференцию по водородной энергетике (WHEC), а в 2005 году – проводимую раз в два года Всемирную конвенцию по водородным технологиям (WHTC). В 1976 году проф. Т. Н. Везируглу начал издавать Международный журнал по водородной энергетике (IJHE) как его главный редактор-основатель. Журнал стал главной мировой площадкой дискуссий и публикаций результатов исследований и разработок, связанных с водородной энергетикой.

Возвращаясь к 1974 году, хотелось бы напомнить контекст, в котором происходило создание Международной ассоциации водородной энергетике.

К 1973 г. доля США в мировом производстве нефти упала до 16 процентов, а доля стран ОПЕК выросла до 53 процентов.

Крах Бреттон-Вудской системы и вызванная этим событием девальвация доллара заставила ОПЕК идти по пути повышения цен, ввести эмбарго – «энергетический Пёрл-Харбор», по выражению советников президента Никсона, – что привело к росту цен на нефть с 2,9 до 11,7 доллара за баррель [19].

В специальном послании Конгрессу по вопросам энергетике от 7 ноября 1973 года президент США Ричард Никсон призывает меньше пользоваться автомобилями, ездить на них, сберегая горючее, – на меньших скоростях. Авиакомпаниям предписано сократить число рейсов. Правительственным учреждениям приказано экономить электроэнергию и сократить автомобильный парк. Агентство по охране окружающей среды США временно отменяет ограничения на использование загрязняющего атмосферу угля. Были сняты лимиты на импорт нефти и необработанных масел [20].

Часть заправок в 1970-х годах закрылась, а их помещения использовались впоследствии для других целей. На фото – бывшая автозаправка в штате Вашингтон, превращённая в молитвенный дом.



Рис. 1. Фото Дэвида Фалконера, апрель 1974 г.
Fig. 1. Photo by David Falconer, April, 1974

Похожие меры применялись тогда в разных странах Европы: прекращение телевидения и закрытие офисов в ночное время, запрет на световую рекламу, переход на летнее время для экономии энергии, запрет на вождение по воскресеньям.

Новым инструментом координации развитых стран в энергетической сфере стало учреждённое в 1974 г. Международное энергетическое агентство.

Образование Международной ассоциации водородной энергетики (ИАНЕ), по сути, было началом гонки водородных технологий, в которой наша страна была среди лидеров. Вслед за выходом статьи академика Валерия Алексеевича Легасова «Универсальные возможности водорода», были созданы советы и программы крупномасштабной деятельности в области водородной энергетики в СССР. Академик В. А. Легасов вошёл в состав Совета директоров Международной ассоциации водородной энергетики (ИАНЕ).

На базе ИАЭ им. И. В. Курчатова в 1976 году был организован ежегодный всесоюзный семинар «Атомно-водородная энергетика и технология», на пленарных заседаниях и 8 секциях которого участвовало более 700 учёных и специалистов из Академии наук и ведущих отраслей страны.

С проф. Т. Н. Везируглу я смог лично познакомиться в июне 1982 года во время 4-ой Всемирной конференции по водородной энергетике, проходившей в Пасадене, Калифорния. По поручению В. А. Легасова я замещал его в заседании Совета директоров Международной ассоциации водородной энергетики, которое вёл проф. Везируглу. Сразу отметил его энтузиазм и энергетическую, масштабный подход к решению организационных и научных задач, уникальную внимательность и доброжелательность. Думаю, что именно эти его качества и привлекали участников водородного движения, снискали ему заслуженное уважение и по сей день.

По решению советского правительства и Совета директоров Международной ассоциации водородной энергетики в 1986 году было решено провести Всемирную конференцию по водородной энергетике в Москве.

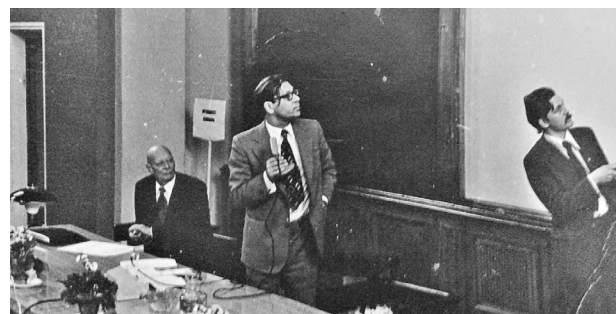


Рис. 2. Пленарное заседание Пятого Всесоюзного семинара «Атомно-водородная энергетика и технология». Ведут заседание академик Александров Анатолий Петрович, президент Академии наук СССР, слева, академик В. А. Легасов, в центре, докладывает Ученый секретарь Семинара Столяревский А. Я. Зал Ученого совета ИАЭ им. И. В. Курчатова, 22 апреля 1980 г. (фото В. Ободзинского)

Fig. 2. Plenary session of the Fifth All-Union Seminar «Nuclear-Hydrogen Energy and Technology». The meeting is led by Academician Anatoly Petrovich Alexandrov, President of the USSR Academy of Sciences, on the left, Academician V. A. Legasov, in the center, the Scientific Secretary of the Seminar A. Ya. Stolyarevsky reports. Hall of the Scientific Council of the IAE named after. I.V. Kurchatov, April 22, 1980 (photo by V. Obodzinsky).



Рис. 3. Проф. Везируглу в оргкомитете Всемирной Конференции «Водород сегодня», Москва, 1988.

На фото: на переднем плане – акад. М. А. Стырикович, слева направо: супруга проф. Везируглу, проф. Т. Н. Везируглу, А. В. Чувелев, А. Я. Столяревский, С. П. Малышенко, Э. Э. Шпильрайн, О. В. Назарова

Fig. 3. Prof. Veziroglu at the organizing committee of the World Conference «Hydrogen Today», Moscow, 1988.

In the photo: in the foreground is Academician M. A. Styrikovich, from left to right: wife of prof. Veziroglu, prof. T. N. Veziroglu, A. V. Chuvelev, A. Ya. Stolyarevsky, S. P. Malyschenko, E. E. Shpilrain, O. V. Nazarova

Конференция состоялась в сентябре 1988 г. под девизом «Водород сегодня», который отражал достигнутый уровень водородных технологий [21]. Год ознаменовался полетом самолёта Ту-155 с водородным двигателем НК-88, перелетевшим на авиавыставку в Ницце (Франция). Но главным успехом года в этом направлении стал полет космической системы «Энергия-Буран». В 1987 году вышло Постановление СМ

СССР о строительстве мощных атомно-водородных комплексов с высокотемпературными реакторами.

Таким образом, к концу 80-х годов за 15 лет, прошедших с образования Международной ассоциации водородной энергетики, сложилась технологическая база, позволяющая реализовывать в водородной энергетике проекты любого масштаба.

Но изменение геополитической ситуации привело к возникновению паузы в широком освоении водорода. И в этой обстановке надо отдать должное проф. Везируглу в том, что именно он во многом поддерживал интерес к дальнейшему развитию концепции водородной энергетики, привлечению новых сторонников.

В частности, проф. Т. Н. Везируглу совместно с А. Л. Гусевым в период с 2000 по 2021 годы принимал самое активное участие в создании Концепции Альтернативной Энергетики и Экологии, создании и развитии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ), являясь Почётным Главным редактором этого журнала и активным автором журнала. В эти годы он участво-

вал в международном научном проекте «Водородные сенсоры» [22-31] в качестве колаборатора проекта от США, опубликовал более 25 работ в области водородной энергетики. Совместно с А. Л. Гусевым им организованы международные форумы: IFSSENT-2000; IFSSENT-2003; IFSSENT-2006; WCAEE-2006 и многие другие [32-33]. Важным событием и итогом Первого Всемирного Конгресса «Альтернативная энергетика и экология» WCAEE-2006 стал «Столетний Меморандум» [34].

Заключение

Подойдя к своему столетнему юбилею, проф. Везируглу стал не просто патриархом водородной энергетики, а её визитной карточкой, центром международной кооперации усилий по становлению новой энергетической парадигмы: неограниченного использования чистой энергии на основе водородных технологий.

Многие лета!

Список литературы

[1]. Proceedings of the Hydrogen Economy Miami Energy (THEME) Conference, Editor, University of Miami Press, Coral Gables, FL, March 1974.

[2]. Proceedings of the Remote Sensing Applied to Energy Related Problems Symposium, Editor, University of Miami Press, Coral Gables, FL, December 1974.

[3]. Hydrogen Energy, two volumes, Editor, Plenum Press, New York, NY, March 1975.

[4]. Introduction to Hydrogen Energy, Editor, International Association for Hydrogen Energy, Coral Gables, FL, 1975.

[5]. Proceedings of the Hydrogen Energy Fundamentals Symposium, Editor, University of Miami Press, Coral Gables, FL, February 1975.

[6]. Remote Sensing – Energy Related Studies, Editor Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC, 1975.

[7]. Proceedings of the First World Hydrogen Energy Conference, three volumes, Editor, University of Miami, Coral Gables, FL, 1976.

[8]. Proceedings of Condensed Papers of the Two-Phase Flow and Heat Transfer Symposium, Editor, Clean Energy Research Institute, University of Miami, Coral Gables, FL, December 1976.

[9]. Proceedings of Condensed Papers of the Solar Cooling and Heating National Forum, Editor, Clean Energy Research Institute, University of Miami, Coral Gables, FL, December 1976.

[10]. Proceedings of the Energy Conservation National Forum, Editor, Clean Energy Research Institute, University of Miami, Coral Gables, FL, January 1977.

[11]. Two-Phase Flow and Heat Transfer (Istanbul,

August 1976), Co-Editor, with S. Kakaç and F. Mayinger, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC, July 1977.

[12]. Two-Phase Transport & Reactors Safety, Ft. Lauderdale, October 1976, Co-Editor with S. Kakaç, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC, August 1977.

[13]. Abstracts of Lectures and Papers: Izmir International Symposium – I on Solar Energy Fundamentals and Application (Izmir, Turkey, August, 1977), Editor, University of Miami Press, Coral Gables, FL, August, 2.

[14]. Final Proceedings of the Solar Cooling and Heating National Forum, Editor, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC, September 1977.

[15]. Proceedings of the Condensed papers of the Miami International Conference on Alternative Energy Sources, Editor, University of Miami Press, Coral Gables, FL, December 1977.

[16]. Alternative Energy Sources – An International Compendium, Editor, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC, 1978.

[17]. Proceedings of the Condensed Papers of the Fifth Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Conference, Co-Editor with A. Lavi, U. S. Government Printing Office, Washington, DC, February 1978.

[18]. Proceedings of the Fifth Ocean Thermal Energy Conversion Conference, Co-Editor with A. Lavi, U. S. Government Printing Office, Washington, DC, September 1978.

[19]. <https://globalaffairs.ru/articles/energeticheskij-pyorl-harbor/?ysclid=lr7lgxfy89829945794>



[20]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтяной_кризис_1973_года

[21]. https://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t66-2_1989/p144/

[22]. A. L. Gusev, E. V. Kudel'kina, P. A. Chaban, A. V. Ivkin, T. N. Veziroglu, M. D. Hampton. The outlook for using palladium and 4th period metal oxides in hydrogen energy and transport. The Proceedings for the 30th ISTC Japan Workshop on Advanced Catalysis Technologies in Russia, April 12-19, 2004, Visits to Companies in Japan, Sponsor: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan-Russia Business Cooperation Committee; International Science and Technology Center (ISTC). – P. 226-229.

[23]. A. L. Gusev, E. V. Kudel'kina, T. N. Veziroglu, M. D. Hampton. Electrosorption phenomena in layers of shield-vacuum heat insulation of hydrogen reservoirs in emergency operating conditions. The Proceedings for the 30th ISTC Japan Workshop on Advanced Catalysis Technologies in Russia, April 12-19, 2004, Visits to Companies in Japan, Sponsor: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan-Russia Business Cooperation Committee; International Science and Technology Center (ISTC). – P. 231.

[24]. A. L. Gusev, E. V. Kudel'kina, P. A. Chaban, A. V. Ivkin, T. N. Veziroglu, M. D. Hampton. Hydrogen sensors for hydrogen transport. The Proceedings for the 30th ISTC Japan Workshop on Advanced Catalysis Technologies in Russia, April 12-19, 2004, Visits to Companies in Japan, Sponsor: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan-Russia Business Cooperation Committee; International Science and Technology Center (ISTC). – P. 232-233.

[25]. A. L. Gusev, E. V. Kudel'kina, P. A. Chaban, A. V. Ivkin, T. N. Veziroglu, M. D. Hampton. «Edel'weis-001» standardized unit for testing hydrogen transport sensors. The Proceedings for the 30th ISTC Japan Workshop on Advanced Catalysis Technologies in Russia, April 12-19, 2004, Visits to Companies in Japan, Sponsor: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan-Russia Business Cooperation Committee; International Science and Technology Center (ISTC). – P. 234-235.

[26]. А. Л. Гусев, Е. В. Куделькина, М. Д. Хэмптон, Т. Н. Везироглу. Феноменологическая термодинамика адсорбции для обоснования синтеза оптимального аккумулятора водорода на базе цеолитов, углеродных нанотрубок и наносфер. Сборник тезисов Conference EuroSun 2004 and 14th International ForumSun (14th Internationales Sonnenforum of DGS e. V.) – June 20-23, 2004 (Freiburg, Germany) and Intersolar 2004, June 24-26, 2004 (Freiburg, Germany). Германия.

[27]. А. Л. Гусев, Е. В. Куделькина, П. А. Чабан, А. В. Ивкин, М. Д. Хэмптон, Т. Н. Везироглу.

Перспективы применения палладия и оксидов металлов 4 периода в водородной энергетике и в водородном транспорте. Сборник тезисов Conference EuroSun 2004 and 14th International ForumSun (14th Internationales Sonnenforum of DGS e. V.) – June 20-23, 2004 (Freiburg, Germany) and Intersolar 2004, June 24-26, 2004 (Freiburg, Germany). Германия.

[28]. А. Л. Гусев, Е. В. Куделькина, П. А. Чабан, А. В. Ивкин, М. Д. Хэмптон, Т. Н. Везироглу. Сенсоры водорода для водородного транспорта. Сборник тезисов Conference EuroSun 2004 and 14th International ForumSun (14th Internationales Sonnenforum of DGS e. V.) – June 20-23, 2004 (Freiburg, Germany) and Intersolar 2004, June 24-26, 2004 (Freiburg, Germany). Германия.

[29]. А. Л. Гусев, Е. В. Куделькина, П. А. Чабан, А. В. Ивкин, М. Д. Хэмптон, Т. Н. Везироглу. Унифицированный стенд «Эдельвейс-001» для испытаний датчиков водородного транспорта. Сборник тезисов Conference EuroSun 2004 and 14th International ForumSun (14th Internationales Sonnenforum of DGS e. V.) – June 20-23, 2004 (Freiburg, Germany) and Intersolar 2004, June 24-26, 2004 (Freiburg, Germany). Германия.

[30]. А. Л. Гусев, Е. В. Куделькина, М. Д. Хэмптон, Т. Н. Везироглу. Электросорбционные явления в слоях экранно-вакуумной теплоизоляции водородных резервуаров при аварийных режимах эксплуатации. Сборник тезисов Conference EuroSun 2004 and 14th International ForumSun (14th Internationales Sonnenforum of DGS e. V.) – June 20-23, 2004 (Freiburg, Germany) and Intersolar 2004, June 24-26, 2004 (Freiburg, Germany). Германия.

[31]. Kudel'kina E. V., Gusev A. L., T. N. Veziroglu, M. D. Hampton. Electrosorption Phenomena in Layers of Shield-Vacuum Heat Insulation of Hydrogen Reservoirs in Emergency Operating Conditions. EuroSun2004. 14th Intern. Sonnenforum. Proceedings 2. Editors Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie e.V. – DGS, Munich PSE GmbH – Forschung Entwicklung Marketing. Freiburg. – Volume 2. – Topic 05. Energy Efficient Buildings, Hydrogen Systems, Heat Pumps, Technical Building Components; ISBN 3-9809656-2-7; pp 2.567-2.586.

[32]. А. Л. Гусев. Первый международный семинар по безопасности и экономике водородного транспорта – IFSSENT-2000//Инженерно-физический журнал. 2000. – Т. 73, № 6. – С. 1376.

[33]. Lewis, F. A. Hydrogen Economy Forum in Russia. Platinum Metals Review, Volume 47, Number 4, 1 October 2003, pp. 166-166(1).

[34]. Гусев, А. Л. and Везироглу, Т. Н., 2007. Столетний меморандум от 13 ноября 2006 года Главам Большой восьмерки. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), (3), p. 11.

Транслитерация по BSI





СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SOLAR ENERGY

КОНЦЕНТРАТОРЫ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

SOLAR RADIATION CONCENTRATORS

Статья поступила в редакцию 06.01.24 Ред. Пер. № 003-001-24

The article has entered in publishing office 06.01.24 Ed. Reg. No. 003-001-24

UDC 621.1.016

CONCENTRATION AND TRANSMISSION OF SUN LIGHT TO
UNDERGROUND PREMISESQin Lisong¹, Shcheklein S. E.¹, Nemikhin Y. E.¹¹Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin
Ekaterinburg, Russia; e-mail: 382445630@qq.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.020-027

Referred: 22.01.24

Received in revised form: 24.01.24

Accepted: 26.01.24

The article explores the prospects for using natural light in light guide lighting systems as a new generation of devices. The work covers daylighting principles, efficiency factors, and offers design guidelines. Describes a Light Channel system using TracePro optical design software. The use of a solar concentrator to reduce light losses in light guides, especially in underground buildings, is being considered. The findings provide a basis for improving the efficiency of light pipe lighting systems.

Keywords: solar energy, underground building, natural light environment, solar concentrator, energy-saving lighting.

КОНЦЕНТРАЦИЯ И ПЕРЕДАЧА СОЛНЕЧНОГО СВЕТА
В ПОДЗЕМНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯЦинь Лисун¹, Щеклеин С. Е.¹, Немихин Ю. Е.¹¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия; e-mail:s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.020-027

Заключение совета рецензентов: 22.01.24

Заключение совета экспертов: 24.01.24

Принято к публикации: 26.01.24

Статья исследует перспективы использования естественного света в световодных системах освещения как нового поколения устройств. Работа охватывает принципы дневного освещения, факторы эффективности, предлагая рекомендации для проектирования. Описывается система Light Channel с использованием программного обеспечения TracePro для оптического проектирования. Рассматривается применение солнечного концентратора для снижения потерь освещенности в световодах, особенно в подземных зданиях. Выводы предоставляют основу для повышения эффективности световодных систем освещения.

Ключевые слова: солнечная энергетика, подземное здание, окружающая среда с естественным освещением, солнечный концентратор, энергосберегающее освещение.

Цинь Лисун, Щеклеин С. Е., Немихин Ю. Е. Концентрация и передача солнечного света в подземные помещения // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 20-27

Qin Lisong, Shcheklein S. E., Nemikhin Y. E. Concentration and transmission of sun light to underground premises // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 20-27





Цинь Лисун
Qin Lisong

Information about the author:

Education: Harbin University of Science and Technology – Bachelor’s degree (China); Ural Federal University – Master’s Degree, postgraduate student (Russia).

Research area: Renewable energy systems.

Publications: none.

Сведения об авторе:

Образование: Харбинский университет науки и технологий – бакалавр (Китай); Уральский федеральный университет – магистр, аспирант (Россия).

Область научных интересов: Системы возобновляемой энергетики

Публикации: нет.



Щеклеин
Сергей Евгеньевич
Shcheklein
Sergey Evgenievich

Information about the author: Dr. Techn. Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin; Full member of the International Energy Academy.

Awards: Honored Power Engineer of Russia; V.I. Vernadsky National Environmental Award; Medal «Veteran of Nuclear Energy and Industry».

Education: Ural Polytechnic Institute (1972).

Research interests: problems of nuclear energy and thermal physics of two-phase flows; renewable energy sources.

Publications: more than 500, including 2 monographs, 80 inventions.

h-index: 18.

Сведения об авторе: д-р тех. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; действительный член Международной энергетической академии.

Награды: Заслуженный энергетик России; Национальная экологическая премия им. В.И. Вернадского; медаль «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

Образование: Уральский политехнический институт (1972 г.).

Область научных интересов: проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков; возобновляемые источники энергии.

Публикации: более 500, включая 2 монографии, 80 изобретений.

h-index: 18.



Немихин
Юрий Евгеньевич
Nemikhin
Yurii Evgenievich

Information about the author: Senior Lecturer of Ural Federal University named after the first President of Russia Boris Yeltsin, the «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources» department.

Education: Ural State University named after AM Gorky, 1971.

Scientific prize: Diploma of the Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Sverdlovsk region for many years of hard work training for energy companies in the country, 2011.

Research area: the development of the physical foundations of non-conventional and renewable sources of energy; methods of computer diagnostics and monitoring in the energy sector.

Publications: more than 40.

Сведения об авторе: старший преподаватель Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»

Образование: Уральский государственный университет имени А.М. Горького 1971 г.

Награды и научные премии: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за многолетний добросовестный труд по подготовке кадров для энергетических предприятий страны (2011).

Область научных интересов: разработка физических основ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии; методы компьютерной диагностики и мониторинга в энергетике.

Публикации: более 40.



Introduction

Natural light, an inexhaustible resource bestowed by nature, offers unparalleled purity and safety unmatched by other energy sources. Recent advancements in technological research and industrial chain refinement have expanded the application domains of light guide lighting across diverse construction sectors. Illuminating underground structures traditionally involves the choice between artificial electric lighting and solar lighting systems. The former, characterized by high energy consumption, poses risks to psychological and physical well-being during prolonged absence of natural light exposure[1]. The latter, leveraging principles of light reflection and diffuse propagation, introduces natural light into spaces, reducing indoor lighting energy demands [2].

The Light Guide Tube Lighting System, also known as light guide lighting or ducted daylight lighting, represents an innovative approach to harnessing and transmitting natural light into interior spaces through a dedicated pipeline. Typically comprising a hemispherical daylighting cover, a light guide tube, and a diffuser, this system offers simplicity in structure, boasting attributes such as lightweight construction,

robust corrosion resistance, and high reflectance. Environmentally conscious design materials contribute to ease of installation and disassembly, reducing manual maintenance and equipment renewal costs. Noteworthy features include a prolonged service life exceeding 20 years, further enhancing the system's economic viability [3].

This study focuses on the implementation of a light guide system with a concentrator, addressing challenges in underground spaces lacking traditional sources of natural light. Typically, light guides in such environments are limited to a length of 5 meters, insufficient for sustained human habitation[4]. To overcome this, a concentrator is introduced to enhance illumination by collecting and directing light into the tube through reflective surfaces. The parabolic mirror of the concentrator efficiently gathers incident light to a focal point, improving lighting effects compared to standalone light guide systems. The utilization of a concentrator, along with appropriate reflective materials, mitigates light loss over longer distances, addressing the unique challenges of underground environments.

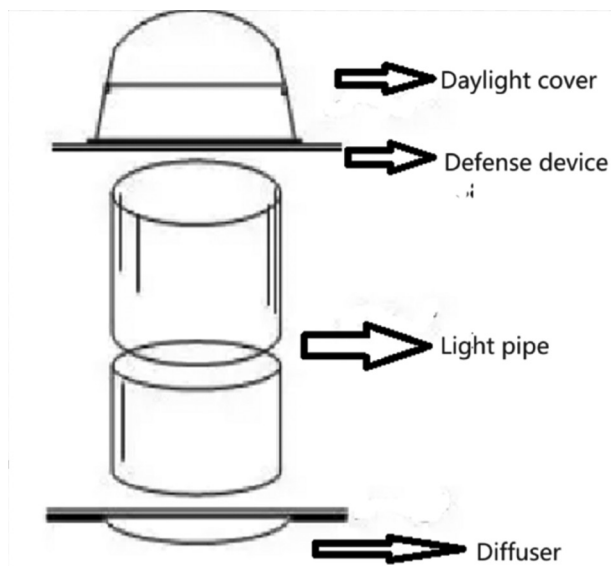


Fig. 1. Schematic diagram of the composition of the light guide lighting system.

Рис. 1. Принципиальная схема состава световодной осветительной системы

1. Factors affecting the transmission efficiency of light guides

The luminance level on a work surface within an enclosed space, facilitated by a linear light guide, is contingent upon various factors. These include the length of the light guide, the diameter of the protective dome structure, the height of the diffuser, as well as the presence of suspended ceilings or other service elements, and the elevation of the work surface. Modern technologies have advanced the coefficient of single reflection from the inner surface of the light guide to an impressive 99,99% [5]. Consequently, light loss during transmission through a linear light guide is rendered practically negligible.

This study employs the optical simulation software

TRACEPRO to analyze the outcomes of a simulation experiment, revealing a direct correlation between the bending angle of a light guide and the resulting percentage of light flux loss. The findings demonstrate that as the bending angle increases, the efficiency of the light guide system diminishes, reaching its nadir at a 90° bending angle. Notably, each 90° bend incurs a luminous flux loss or reduction in lighting efficiency of 18,42 %. It is imperative for design considerations to prioritize the minimization of light pipe bends to optimize the overall efficiency of the light pipe system.

List of symbols	
Abbreviations	
TracePro	software programs
LED	LED lights
Light Channel	system
ISJAEE	International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology
TRACEPRO	optical simulation program
GOST	State Standard

Letters of the Greek alphabet	
%	percentages
cm	centimeter
mm	millimeter
lux	unit of measurement
α	Ugol downs lucha, degree
σ	Ugal reflections lucha, degree
Letters of the Latin alphabet	
h, f, r	Lengths, m

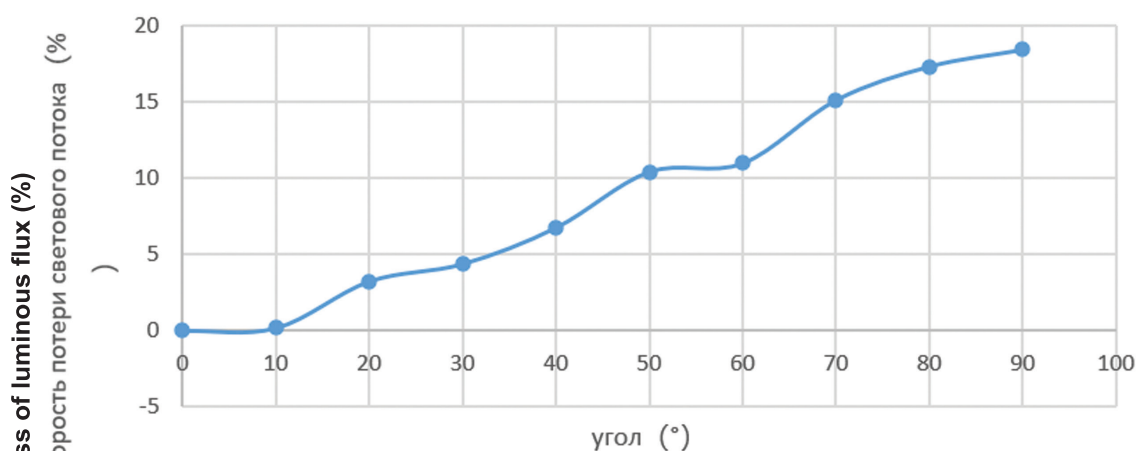


Fig. 2. Graph of light loss depending on the bending of the light guide.

Рис. 2. График потеря света в зависимости от изгиба световода

Relationship between the curvature of the light guide and the rate of loss of light flux

Взаимосвязь между кривизной световода и скоростью потери светового потока

Table 1.

Таблица 1.

Углы наклона труб (°)	Потери светового потока (%)
0	0
10	0.18
20	3.24
30	4.38
40	6.76
50	10.42
60	10.98
70	15.12
80	17.32
90	18.42



2. Lighting system using light guide with concentrator

Figure 3 below shows the focal position of sunlight as it hits the concentrator at different angles. The distance from the top edge to the bottom edge of the hub is 1875 mm. When light hits the surface of the concentrator at an

angle of 90 degrees, the ideal focal length is 1220 mm, which is represented by the Y-axis (height) in the figure below. This helps determine the height of the reflector on the solar concentrator.

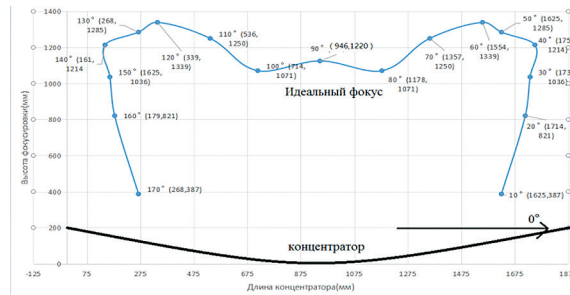


Fig. 3. Diagram of different focal points of light incident at different angles on a concentrator

Рис. 3. Диаграмма различных фокусных точек падающего света под разными углами на концентратор

First establish the parabola equation on the x-y plane, as shown in Figure 4. According to the mathematical properties of the parabolic equation, the light reflected by the parabolic concentrator will be focused on the center line of the receiver. Assuming that the lowest point of the parabola is located at the origin of the two-dimensional coordinate system, the equation can be obtained as follows:

$$y = \frac{x^2}{4f}$$

The width of the spot energy flux density distribution on a flat receiver panel is determined by the solar “disk” [6]. After the sun’s rays are reflected by the concentrator, they completely fall on the receiver. The receiver width is calculated as follows:

$$W_a' = 16fh$$

$$\Psi = \arctan\left(\frac{0.5W_a}{f-h}\right)$$

$$n_a = W_a/16$$

$$r = \sqrt{\frac{W_a^2}{4} + (f-h)^2} = f\left(1 + \frac{n^2}{16}\right)$$

$$W/2 \approx \frac{d}{\sin\sigma} \approx \frac{r \sin\alpha}{\sin(0.5\pi - \Psi)} \approx \frac{r^2 \sin\alpha}{f-h}$$

$$\rightarrow W \approx \frac{r^2 \sin\alpha}{f-h}$$

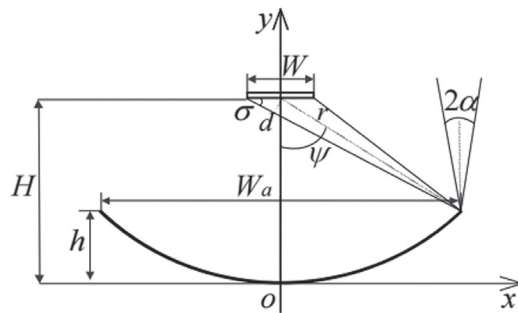


Fig. 4. Schematic diagram of the concentrator plate

Рис. 4. Принципиальная схема пластины концентратора

The overall device is shown in Figure 5t.

3. Comparison of the luminous effect of a light guide with a concentrator and a light guide without a concentrator

On a sunny day, use the inlet of a 40 cm light guide at the focal point of the concentrator. Currently, the illumination of the lower part of the light guide is 42,000 lux. In the absence of a concentrator, the illumination of the lower part of the light guide is 25,000 lux. Thanks to the concentrator, the lighting intensity was increased

by 1.6 times. Through the simulation experiments in the TRACEPRO software, the comparison values in Table 2 can be obtained. From Table 2, when running with a solar condenser, its illuminance is about 3 times that of a non-solar condenser.

4. Results

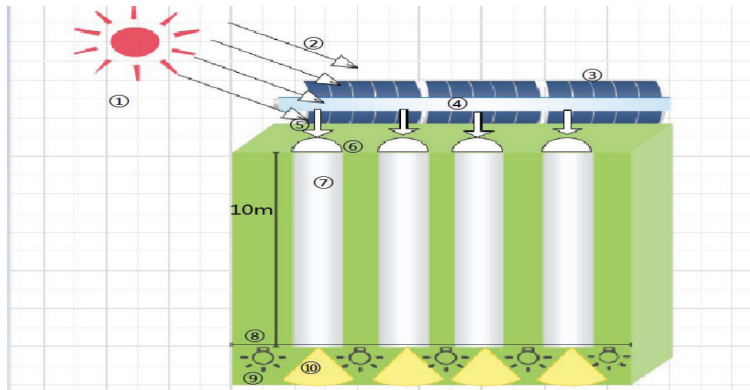


Fig. 5. Diagram of a hybrid lighting system for an underground building. ①Sun ②Incident light ③ concentrator ④ Reflector ⑤Reflected light ⑥light caps ⑦Light guide ⑧Underground building ceiling ⑨artificial lighting ⑩ Natural light lighting.

Рис. 5. Схема системы гибридного освещения подземного здания

- ① – Солнце, ② – падающий свет, ③ – концентратор, ④ – отражатель, ⑤ – отраженный свет, ⑥ – световые колпаки, ⑦ – световод, ⑧ – потолок подземного здания, ⑨ – искусственное освещение, ⑩ – освещение естественным светом

Comparison table for illumination values

Table 2.

Таблица сравнения значений освещенности

Таблица.2.

	With solar concentrator	Without solar concentrator
Maximum value	630.9 lux	489.19 lux
Average value	57.473 lux	18.43lux

This study presents a model for simulating the brightness distribution of underground structures at a depth of 10 m using TRACEPRO software. Figure 6 shows the location of the light pipes and concentrators on the surface of the structure, while Figure 7 shows that although the overall illumination corresponding to the light pipe arrangement is uniform, some areas are insufficiently bright. Therefore, artificial lighting, especially LED lights, is recommended to address these deficiencies. Artificial lighting has been proven to help

ensure the necessary brightness, especially in adverse weather conditions and nighttime scenarios where natural lighting is limited. The findings highlight the efficacy of this approach in optimizing underground spaces for a variety of applications, emphasizing the importance of supplementary artificial lighting to achieve consistent and adequate lighting levels. This research provides valuable insights into the design and implementation of lighting systems in underground environments.

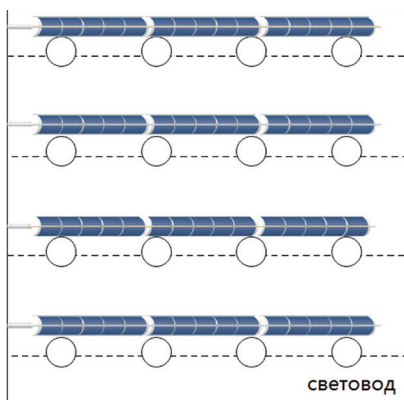


Fig. 6. Theoretical diagram of installation of a surface concentrator and light guide

Рис. 6. Теоретическая схема установки поверхностного концентратора и световода

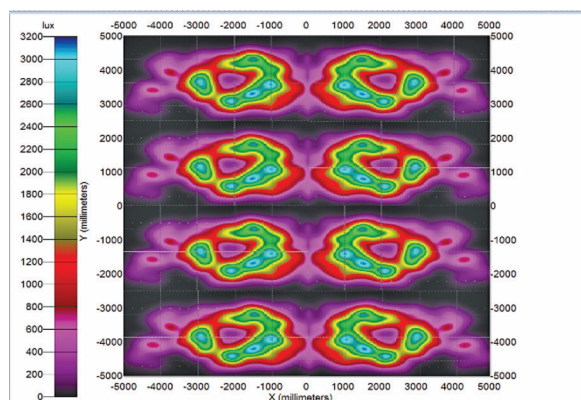


Fig. 7. Distribution of illumination of underground buildings according to the general layout

Рис. 7. Распределение освещенности подземных зданий по общей планировке



Conclusion

In this study, the efficacy of hybrid lighting systems (combining solar concentrators and light pipes) in enhancing illumination of underground structures was demonstrated. Light pipes, especially for deep underground buildings, prove to be the best solution for providing natural light. In actual light pipe installations,

minimizing bends is critical because each 90-degree bend results in an 18.42% reduction in luminous flux, a significant contributor to light pipe light loss. Additionally, for interior surfaces, it is recommended to choose materials with a high reflection coefficient to maximize light reflection.

References

- [1]. Zhan Bing. Primary Study of Underground Lighting Design with Imitation of Natural Light // Section of Architectural Physics of the Chinese Architectural Society. Buildings and the Physical Environment of Cities in the Process of Urbanization: Proceedings of the 10th National Conference on Architectural Physics. Chinese Architectural Society, 2008. P. 562-565.
- [2]. Telegina A. E. Lighting as a Factor in the Formation of Exposition and Exhibition Space: Master's Thesis in the Direction of Training: 51.04. 04//Museumology and Protection of Cultural and Natural Heritage Sites. 2021. – P. 23
- [3]. Shirvanov R. B. Influence of the level of illumination of workplaces on working conditions (on the example of the Republic of Kazakhstan) // XXI century. Technosphere Safety. – 2021. – Т. 6 (2). P. 189-200.
- [4]. Wang Q, Xu H, Zhang F, et al. Influence of color temperature on comfort and preference for LED indoor lighting//Optik–2017.–№129.– C. 21-29.
- [5]. Dangol R., Islam M. S., Hyvärinen M, et al. User acceptance studies for LED office lighting: Preference, naturalness and colourfulness // Lighting Research & Technology.– 2015.– Т. 47(1). – C. 36-53.
- [6]. Hoisington A. J., Stearns-Yoder K. A., Schuldt S. J., et al. Ten questions concerning the built environment and mental health//Building and environment. – 2019. – № 155. – C. 58-69.
- [7]. Robson E. R. School Architecture: Being Practical Remarks on the Planning, Designing, Building, and Furnishing of School-houses // J. Murray. – 1874.
- [8]. Ding Lixing, Ou Xiufeng, Lu Haifeng, Zhou Zhaogen, Yang Kailong, Zeng Yuanguang, Yang Hanbin. Light Guide Technology and Its Application in Construction // Energy Saving in Buildings. – 2011. – № 1. – P. 64-67.
- [9]. B. Bouchet, M. Fontoyont. Daylighting of Underground Spaces: Design Rules//Energy and Buildings. – 1996. – Т.23(3). – C. 293-298.
- [10]. Du Fang. Energy Saving Lighting Design of Underground Buildings Energy Saving in Buildings. – 2011(1).
- [11]. Wang Aiyang. Introduction to Fiber Optic Lighting System // Collection of Special Reports of the First Scientific and Technical Seminar on the Application of Fiber Optic and Fiber Optic Optics in the Field of Lighting. Beijing: China Lighting Society. – 2000. – P. 111-118.
- [12]. Xiang Dong. Study of Light Guide Lighting System for Road Tunnels Lighting Design. – 2012. – Т. 7(7). – P. 41-49.
- [13]. Wang Hongwei. Principles and Applications of Dynamic Natural Lighting Architecture: Basic Principles • Design System•Case Study // Chinese Publishing House «Electric Power Press». – 2007.
- [14]. M. Paroncini. Monitoring of a Light-pipe System. Solar Energy. – 2007. – Т. 82(4). – C. 1180-1186.
- [15]. Zhi Liang. Method of Calculating Lighting Using Light Guides for Partial Illumination of Underground Premises in Green Construction// Green Construction. – 2014. – Т. 6(04). – P. 26-29.
- [16]. Li Zhenggang. Daylight Lighting System from Roof Light Guide and Its Application // Waterproofing of Buildings in China. – 2013. – № 15. – S. 42-46.
- [17]. Guo Xiaoyang. Analysis of the application of the light-guided lighting system for lighting underground premises in buildings and its installation // Science and Innovations. – 2014. – № 19. – S. 51-52.
- [18]. Cui Junlan. Analysis of the Economic Efficiency of Light-Guided Lighting in Buildings // Reform and Opening. – 2015. – № 15. – S. 30-31.
- [19]. Novikova I. I., Zubtsovskaya N. A., Lobkis M. A. Hygienic Regulation of Natural Lighting: Problems, Tasks, International Experience (Review Article) // Health of the Population and Habitat. – 2020. – Т. 3 (324). – S. 10-15.
- [20]. Liu Xiaotu. Construction Physics (Third Edition)// Construction Physics (Third Edition). China Construction Industry Publishing House. – 2010.
- [21]. Li D. H. W., Wong S. L., Tsang C. L., et al. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques // Energy and buildings. – 2006. – Т. 38(11). – C. 1343-1348.
- [22]. Tanana O. V. Theoretical section. – 2015.
- [23]. Gorbarenko E. V., Shilovtseva O. A. NATURAL ILLUMINATION OF HORIZONTAL AND VERTICAL SURFACES ACCORDING TO OBSERVATIONS OF

MOSCOW STATE UNIVERSITY Construction and reconstruction. – 2018. – № 4. – P. 53-63.

[24]. Savelyev V. E. Design and Calculation of Natural Lighting of Premises. – 2022.

[25]. Hee W. J., Alghoul M. A., Bakhtyar B., et al. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – № 42. – С. 323-343.

[26]. Wu Yanpeng. Application of Green Lighting Technology by Sunlight with the Help of Light Guides in Buildings // Collection of Articles «Intelligent and Green Buildings». – 2008. – S. 483-486.

[27]. M. S. Mayhoub, D. J. Carter. Hybrid lighting systems: Performance and design // Lighting Res. Technol. – 2012. – № 44. – С. 261-276.

[28]. Pacheco R., Ordóñez J., Martínez G. Energy efficient design of building: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – T. 16(6). – С. 3559-3573.

[29]. W. S. Sun, C. H. Tsuei, C. C. Kuo. Calculating the converted solar energy of sunlight in the LED hybrid light box lighting system // Lighting Res. Technol. – 2013. – № 45. – С. 495-503.

[30]. Kocifaj M., Darula S., Kittler R. HOLIGILM: Hollow light guide interior illumination method – An analytic calculation approach for cylindrical light-tubes // Solar energy. – 2008. – T. 82(3). – С. 247-259.

[31]. Wang Wei, Zong Fupeng, Zhao Jianping, Chen Xiaoming, Zhang Bin. Current Situation and Prospects for the Application of Underground Lighting and Light Guide System // Journal of Lighting Engineering. – 2009. – № 20. – P. 64-68.

[32]. Wu Yanpeng. Application of green lighting technology in buildings with light guides that collect sunlight. Collection of Smart and Eco-Friendly Buildings. – 2008. – P. 483-486.

[33]. Li Long, Hong Anhui. A Method of Constructing a Lighting System with a Natural Light Guide // Fujian Construction Technologies. – 2018. – No. 5. – P. 67-69.

[34]. Soloviev A. K. Hollow Tubular Light Guides and Their Application for Natural Lighting of Buildings // Industrial and Civil Construction. – 2007. – No 2. – P. 53-55.

[35]. Kirpichnikova I. M., Volkova O. S., Malyugina A. A. Optimization of the choice of solar light guides for uniform illumination of the surface of premises in buildings // International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology. – 2016. – No 7. – P. 19-24.

[36]. Fil N. S. Energy-Efficient Solar Indoor Lighting Alternative Energy and Ecology (ISJAEE). – 2014. – No 5. – P. 16-19.

[37]. Lighting Design Standards for Underground Buildings (CECS 45:92) <https://www.docin.com/p-2187035947.html>

[38]. China Construction Research Institute. Technical Standards for Lighting Systems Using Light Guides JGJ/T374-2015 // China Construction Industry Publishing House. – 2016.

[39]. Feng Zhikang. Optimization of the Concentration Characteristics of a Linear Focusing Cavity of the Grooved Type and the Study of the Thermal Properties of the System, Yunnan Normal University. – 2016.

Транслитерация по BSI





ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

WIND ENERGY

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА И АРХИТЕКТУРА

WIND ENERGY AND ARCHITECTURE

Статья поступила в редакцию 09.01.24 Ред. Рег. № 006-002-24

The article has entered in publishing office 09.01.24 Ed. Reg. No 006-002-24

УДК 621.31

ВЕТРОВАЯ МИКРОГЕНЕРАЦИЯ – ЭКОЛОГИЧНЫЙ РЕСУРС ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА

Курбатов В. В., Стрекалов С. Д.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Россия, 400005, г. Волгоград, пр. В. И. Ленина, д. 28
Тел.: (8442) 24-81-15, e-mail: rector@vstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.028-035

Заключение совета рецензентов: 18.01.24

Заключение совета экспертов: 22.01.24

Принято к публикации: 25.01.24

В статье представлен материал по прогнозу развития мировой энергетики до 2040 года, отмечаются перспективы роста доли электроэнергии в конечном потреблении энергии, транспортный сектор, являясь основным загрязнителем окружающей среды города, остается основным потребителем моторного топлива в перспективе с переходом на биотопливо и газомоторное топливо, на электрический и гибридный привод транспортного средства; показана активация производства энергии в России от возобновляемых источников энергии, объясняются темпы прироста производства ВИЭ в мире и в России, которые обусловлены значительной господдержкой развития ВИЭ; показаны дальнейшие планы действий по снижению парниковых выбросов, согласно которым будет развиваться и совершенствование технологий добычи газа и нефти, и поддержка развития ВИЭ, возможное использование ветродвигателей для распределенных потребителей ветровой энергии, затрудненность эксплуатации ветродвигателей в условиях города ввиду ограниченности свободных пространств на размещение, наличие свободных потоков ветра береговой зоны, показаны достоинства ветровой микрогенерации в качестве ресурса энергосбережения. Показаны перспективы и конструктивные разработки эксплуатируемых в настоящее время ветродвигателей, отличающихся расположением оси вращения (горизонтальной или вертикальной), их достоинства и экологические недостатки горизонтально-осевых ВЭУ, к которым отнесена необходимость использования устройств по увеличению частоты вращения вала – мультипликаторы с большим передаточным числом (увеличение скорости вращения в системе «вал ветроколеса – вал генератора»). Предложен новый принцип ветровой микрогенерации для низкоскоростных потоков ветра, представлена конструктивная схема генерирующего устройства для ветродвигателя, имеющего малую скорость осевого вращения, описан принцип

Курбатов В. В., Стрекалов С. Д. Ветровая микрогенерация – экологичный ресурс энергосбережения для прибрежной зоны города // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*, 01 (418) 2024, с. 28-35

Kurbatov V. V., Strekalov S. D. Wind microgeneration – energy saving resource for the coastal zone of the city // *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 01 (418) 2024, pp. 28-35



преобразования. Рассмотрены конструктивные особенности представленного генерирующего устройства для возможного его использования, как источника возобновляемой энергии в ограниченных пространствах в городской среде и условий эксплуатации в прибрежной зоне города.

Ключевые слова: экология, энерго- и ресурсосбережение, возобновляемая энергия, ветроэнергетика, ветрогенератор, микрогенерация в условиях города.

WIND MICROGENERATION – ENERGY SAVING RESOURCE FOR THE COASTAL ZONE OF THE CITY

Kurbatov V. V., Strekalov S. D.

Volgograd State Technical University
28 V. I. Lenina prospect, Volgograd, 400005, Russia, tel.: 24-81-15, e-mail: rector@vstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.028-035

Referred: 18.01.24

Received in revised form: 22.01.24

Accepted: 25.01.24

The article presents material on the forecast for the development of world energy until 2040, notes the prospects for an increase in the share of electricity in final energy consumption, the transport sector, being the main polluter of the city's environment, remains the main consumer of motor fuel in the future with the transition to biofuel and gas motor fuel, to electric and hybrid drive of the vehicle; shows the activation of energy production in Russia from renewable energy sources, explains the growth rate of renewable energy production in the world and in Russia, which is due to significant government support for the development of renewable energy sources; further action plans to reduce greenhouse emissions are shown, according to which the improvement of gas and oil production technologies will be developed, and support for the development of renewable energy sources; the possible use of wind turbines for distributed wind energy consumers; the difficulty of operating wind turbines in urban conditions due to the limited free spaces for placement; the availability of free wind flows of the coastal zone, the advantages of wind microgeneration as an energy saving resource are shown. The prospects and design developments of currently operating wind turbines, differing in the location of the axis of rotation (horizontal or vertical), their advantages and environmental disadvantages of horizontal-axial wind turbines, which include the need to use devices to increase the shaft rotation speed – multipliers with a large gear ratio (increase rotation speed in the «wind wheel shaft – generator shaft» system. A new principle of wind microgeneration for low-speed wind flows is proposed, a design diagram of a generating device for a wind engine with a low axial rotation speed is presented, and the principle of conversion is described. The design features of the presented generating device are considered for its possible use as a source of renewable energy in confined spaces in the urban environment and operating conditions in the coastal zone of the city.

Keywords: ecology, energy and resource saving, renewable energy, wind energy, wind generator, microgeneration in urban conditions.



Курбатов
Вячеслав Вадимович

Kurbatov
Vyacheslav Vadimovich

Сведения об авторе: Инженер филиала АО «СО ЕЭС» Волгоградское РДУ Россия, г. Волгоград.

Образование: высшее.

Специальность Релейная защита и автоматизация электроэнергетической системы Южнороссийский государственный технический университет им. Платова.

Область научных интересов: Экология, антропогенное загрязнение окружающей среды, возобновляемые источники энергии, энерго- и ресурсосбережение, энергообеспечение.

Публикации: 15 статей, 1 патент.

Information about the author: Engineer of the branch of JSC «SO UES» Volgograd RDU Russia, Volgograd.

Education: higher.

Specialty: Relay protection and automation of the electric power system South Russian State Technical University named after. Platova.

Research area: Ecology, anthropogenic pollution, renewable energy sources, energy and resource conservation, energy supply.

Publications: 15 articles, 1 patent.



Стрекалов
Сергей Дмитриевич

Strekalov
Sergey Dmitrievich

Сведения об авторе: Д-р технических наук, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Лауреат премии правительства РФ в области науки и техники.

Образование: высшее.

Область научных интересов: волновые процессы, возобновляемые и нетрадиционные источники энергии, ветро-, гидро-, гибридные преобразователи волнового типа, исследование взаимодействия естественных потоков с крылом методом одномерных упругих нитей.

Публикации: 195 статей, 5 монографий, 65 авторских свидетельств и патентов.

Information about the author: Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of the Volgograd State Technical University, Volgograd, Laureate of the RF Government Prize in Science and Technology.

Education: higher.

Research area: wave processes, renewable and non-traditional energy sources, wind-, hydro-, hybrid wave-type converters, study of the interaction of natural flows with the wing by the method of one-dimensional elastic threads.

Publications: 195 articles, 5 monographs, 65 copyright certificates and patents.

Введение

Прогнозируемый сценарий развития мировой энергетики до 2040 года показывает рост использования всех энергоресурсов и технологий в мире, который диктуется необходимостью удовлетворения своих потребностей в энергии. И перспективой такого прогноза предусматривается использование и ископаемых, и возобновляемых ресурсов. При этом заметным наращиванием потребления газа и ВИЭ будут отличаться развитые страны. Так, для развивающейся экономики Китая особо отмечен общий рост потребления всех видов энергетических ресурсов. А так как электрическая энергия, обладая многими достоинствами, как наиболее удобная в использовании форма энергии, то в перспективе отмечается рост доли электроэнергии в конечном потреблении энергии с постепенным вытеснением остальных. Этим же можно объяснить растущий спрос на электроэнергию во всем мире. Аналитический обзор показал рост использования неископаемых энергоресурсов: более трети прироста выработки при их вкладе в производство электроэнергии превысит 28 %. Основным потребителем к 2040 году моторного топлива прогнозируется транспортный сектор, причем сдерживающим фактором растущего потребления жидкого топлива в мире будет увеличение энергоэффективности эксплуатируемого транспорта как в секторе транспортных перевозок, так и пассажирских, включая легковые автомобили (ожидается снижение расхода топлива у легковых автомобилей – на 50 % по сравнению с показателями 2010 г.). При этом на автотранспорте, который является основным загрязнителем окружающей среды города, планируется использование за-

менителя нефтепродуктов – биотоплива, переход на газомоторное топливо и электрический и гибридный привод транспортного средства [1].

В последние годы в России произошла заметная активизация усилий по созданию более «зеленой» энергетики, продиктованная необходимостью стабилизации и улучшения ситуации вокруг, снижения загрязняющих выбросов в атмосферу. При этом доля электроэнергии, вырабатываемой в России с использованием возобновляемых источников, выросла в последние годы: к концу 2021 года составила 530,2 млн кВт·ч, что почти в два раза больше, чем в декабре 2020 года. При этом установленная мощность источников энергии от ВИЭ в 2021 году выросла на 1241,79 МВт или 45 % и составила к 1 января 2022 года 4000 МВт, а выработка на солнечных и ветряных электростанциях выросла на 75 %. И по заявлениям руководства правительственного уровня России производство электроэнергии на станциях, работающих на ВИЭ, к 2030 г. вырастет в 5 раз [2]. А к 2050 году планируется выйти на долю выработки электроэнергии источниками с практически нулевыми выбросами парниковых газов порядка 56 % от общей выработки в России. При этом будут развиваться экологичные и низкоэмиссионные источники энергии – энерготехнологии по использованию природного газа [3].

Высокие темпы прироста производства ВИЭ в мире во многом обусловлены значительной господдержкой, что делает ее более привлекательной в сравнении с топливными ресурсами, и в перспективе, несмотря на конструктивно-технологические совер-



шенствования возобновляемых источников, необходимость в господдержке будет оставаться.

В России создание нормативно-правовой базы развития ВИЭ началось за несколько лет до кризиса, последовательно подготавливались все структуры-участники развития энергетики. В конце 2007 г. приняты поправки к Федеральному закону от 26 марта 2003 года № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», заложившие рамочные основы развития ВИЭ. Затем последовали конкретизирующие документы по правилам квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования ВИЭ, утвержденные Постановлением Правительства РФ и ряд других проектов, касающихся совершенствования законодательной базы для пользователей альтернативных видов энергии. В декабре 2019 года Государственной Думой был принят Федеральный закон (от 27.12.2019 года № 471-ФЗ) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации». Принятый закон явился базой строительства взаимоотношений между объектами электросетевого хозяйства с классом напряжения до 1000 В и технологически присоединенным к ним потребителем электрической энергии, владеющим объектом микрогенерации. Причем производство электрической энергии может осуществляться от возобновляемых источников энергии [4]. При этом, согласно оговоренных условий, будут поддерживаться обоюдные интересы и производителя электроэнергии от ВИЭ, и покупателя излишков мощности – объекта электросетевого хозяйства, что будет стимулировать заинтересованность в инвестировании в микрогенерацию. Также будет заинтересованность предприятий машиностроения, производящих оборудование для ВИЭ-генерации. Таким образом, инвестирование и правовая поддержка могут стать залогом успешного развития национального рынка. Экологически чистой

возобновляемой энергии в целом и ветроэнергетики в частности.

Когда мы говорим о использовании ВИЭ при производстве электроэнергии, подразумеваем сокращение выбросов загрязняющих веществ от сжигаемого углеродсодержащего топлива (накопленные выбросы с 2000 по 2040 годы превысят 1,4 трлн тонн). А факт техногенного накопления выбросов парниковых газов вызывает беспокойство по поводу заметных климатических изменений.

Аналитики высказывают точку зрения по поводу парниковых газов, что «...Россия в принципе может к 2050 году снизить выбросы CO₂ в энергетике на 90 %, если аналогичные действия предпримут другие крупнейшие страны мира» [5]. В этой связи был принят план действий по снижению воздействия на климат, согласно которому будет развиваться и совершенствование технологий добычи газа и нефти, и поддержка развития ВИЭ. Развитие ВИЭ будет включать вложения в инновационные проекты. Наряду с этим будут развиваться проекты по снижению потерь на передачу энергии (развитие умных сетей) с развитием распределенной энергетики от ВИЭ для удаленных потребителей. Отчасти вопрос будет решаться за счет использования ВИЭ в сельских районах страны, имеющей давнюю традицию [6].

Для города – сокращение размеров централизованного теплоснабжения, развитие распределенной когенерации (в средних городах и новых районах многоэтажной застройки). Дальнейшими планами развития отрасли в России предусматривается:

- стремление не допустить технологического отставания страны по солнечным и ветровым ВИЭ;
- повышение экономической эффективности ВИЭ российского производства;
- достижение конкурентоспособности ВИЭ с ископаемым топливом.

Таблица сокращений

ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
АО «СО ЕЭС» Волгоградское РДУ	Акционерное общество «СО ЕЭС» Волгоградское региональное диспетчерское управление
ЭДС	Электродвижущая сила
ВЭС	Ветроэлектростанция

ВЭУ	Ветроэнергетическая установка
трлн	Триллион
млн	Миллион
кВт·ч	Киловатт час
МВт	Мегаватт
В	Вольт
CO ₂	Углерод

1. Аналитический обзор ветровой микрогенерации

Наиболее часто на ветроэлектростанциях (ВЭС) используются ветропреобразователи карусельного и крыльчатого типа. Их конструкции различаются числом лопастей и отношением рабочего колеса к направлению воздушного потока (с горизонтальной или вертикальной осью вращения), использующих силу ветра и передающих вращательный момент вала на ось электрогенератора [7].

Основными узлами ветродвигателей являются: рабочее колесо, соединенное с валом генератора, которые находятся в гондоле, установленной в верхней части башни [8]. Ветроколесо преобразует силу ветра во вращение вала электрогенератора.

Работа всех известных преобразователей базируется на использовании магнитоэлектрической системы, которая может быть представлена катушкой с определенным числом витков, установленной на стержень стального магнитопровода с воздушным зазором, при изменении положения которой происходит наведение электромагнитного поля [9]. На этом принципе основана разработка устройств электрических машин с неподвижным статором, предназначенным для создания магнитного потока, и вращающимся якорем (который может быть представлен постоянным магнитом) и при этом неподвижная и вращающиеся части отделены друг от друга воздушным зазором. При механическом вращении магнита создается вращающееся вместе с ним магнитное поле, которое, пересекая проводники обмоток статора по закону электромагнитной индукции, наводит в них электродвижущую силу и на нагрузке появляется электрический ток [10]. Таким образом происходит преобразование механической энергии в электрическую (т.е. электрогенерация).

Для использования силы ветра известно несколько типов ветроэнергетических агрегатов (ВЭА) с го-

ризонтальными и вертикальными осями вращения роторов: пропеллерного, барабанного и роторного типов [9] и агрегатов с вертикальным расположением осей вращения и лопастей, для получения возможности использования ветра любого направления – типа Дарье [11] и ротора Савониуса [12].

В конструкциях преобразования механических усилий для получения электрической энергии стремятся увеличить частоту вращения вала генерирующей части устройств, так как величина наводимой ЭДС в обмотке статора напрямую зависит от скорости вращения вала.

Эффективность работы электрогенератора зависит от постоянства коэффициента быстроходности (оптимальная частота вращения ветроколеса тем меньше, чем больше его радиус). Поэтому для передачи вращательного движения ветроколеса на электрогенератор для горизонтально-осевых ВЭУ используются устройства увеличения частоты вращения вала – мультипликаторы с большим передаточным числом (увеличение скорости вращения в системе «вал ветроколеса – вал генератора») [13, 14]. Также используются конструкции тихоходных генераторов на постоянных магнитах (при увеличенной массе генератора) [15, 16]: известна установка, которая преобразует энергию ветра или воды в электрическую при помощи лопастного устройства [17]; устройство для выработки электроэнергии с вертикальными осевыми ветровыми турбинами [18].

Тихоходность ветроприемных преобразователей с вертикально-осевым расположением генерирующего узла является их принципиальным техническим недостатком. При разработке ветрогенерирующих установок используют различные дополнительные устройства для кумуляции потока, в том числе диффузоров [19].

2. Принцип работы устройства импульсной генерации от ВИЭ

В качестве инновационной разработки, модульное исполнение которой позволяет использовать ее на ограниченном пространстве, таком как, например, прибрежная зона города или вдоль региональной трассы, представлена конструкция по преобразованию энергии ветра в переменный электрический ток для тихоходных ВЭУ. Представленный принцип может быть использован как в тихоходной микрогенерации, так и в качестве самостоятельного генериру-

щего устройства для автономного источника электрической энергии.

В проекте для повышения эффективности работы тихоходных ветродвигателей используем электромагнитную систему, генерирующую электрическую энергию малооборотистыми ветродвигателями [20].

Принципиальная схема работы устройства представлена на рис. 1.

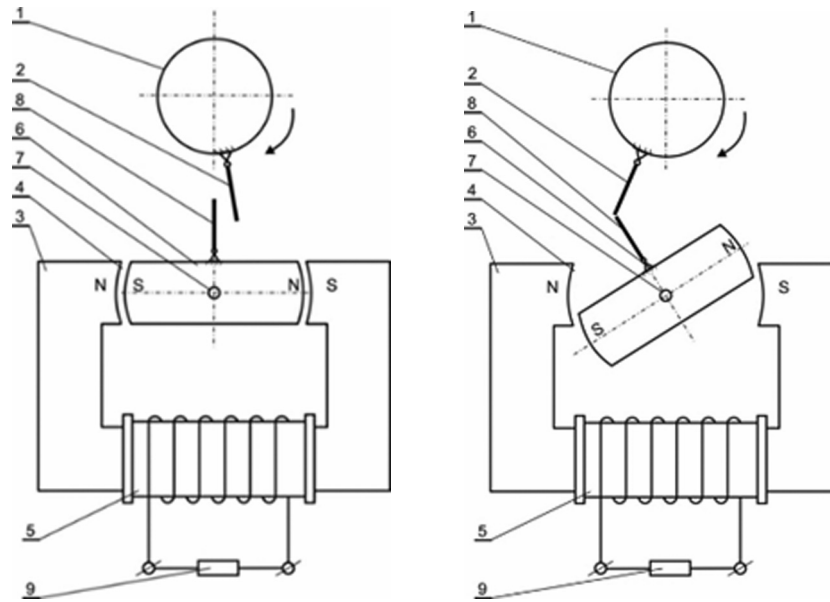


Рис. 1. Принципиальная схема генератора электрической энергии:

1 – вал ветродвигателя; 2 – зацеп вала ветродвигателя; 3 – ферромагнитный сердечник;
4 – воздушный зазор; 5 – индукционная катушка; 6 – постоянный магнит; 7 – ось постоянного магнита;
8 – зацеп постоянного магнита; 9 – нагрузочное сопротивление

Fig. 1. Schematic diagram of an electrical energy generator:

1 – wind turbine shaft; 2 – wind turbine shaft hook; 3 – ferromagnetic core;
4 – air gap; 5 – induction coil; 6 – permanent magnet; 7 – permanent magnet axis;
8 – permanent magnet hook; 9 – load resistance

Процесс генерации в устройстве базируется на известном принципе возникновения электрического тока в замкнутом проводящем контуре магнитоэлектрической системы при изменении магнитного поля за счет изменения положения постоянного магнита.

Для увеличения величины электрического тока конструктивно увеличиваем скорость колебания постоянного магнита 6, находящегося в зазоре 4 электропроводящего контура (ферромагнитного сердечника 3 с катушкой 5).

Скорость вращения вала ветродвигателя, соответствующая процессу взведения постоянного магнита, относительно невелика и недостаточна для индуктирования ЭДС и наведения электрического тока в катушке. Но при повороте вала 1 ветродвигателя, имеющийся зацеп магнита освобождается от зацепа ветродвигателя 8, и в этот момент происходит резкий процесс возвращения постоянного магнита 6 с его зацепом 8 в исходное положение до состояния равновесия, что дает увеличенную скачкообразно скорость пересечения силовых линий магнитного потока, сконцентрированного в ферромагнитном сердечнике 3, а, следовательно, пропорционально частоте колебаний постоянного магнита 6 скачкообразно возрастет амплитуда индуцированной ЭДС и возникающего тока в катушке 5.

Колебания постоянного магнита 6 на оси 7 про-

исходят до установившегося положения и, соответственно, величина индуцируемого тока носит затухающий характер.

Со следующим оборотом вала ветродвигателя 1 происходит вхождение в контакт зацепа постоянного магнита 8 и зацепа вала 2 и цикл индуктирования тока в катушке, колеблющемся в зазоре магнитом, повторяется.

Приложенная к постоянному магниту механическая сила F , равная $F_{ЭМ}$, при скорости изменения положения магнита будет преобразовываться в электрическую мощность EI , а мощность, отдаваемая во внешнюю цепь, будет несколько меньше полной мощности, полученной в результате преобразования механической мощности на величину потерь в проводнике.

Каждый раз, когда магнит изменяет ориентацию относительно полюсов сердечника электромагнита, наводимый электрический ток в катушке также изменяет свое направление на противоположное. Так как колебание постоянного магнита неравномерное, то вырабатываемое напряжение на выходе микрогенератора будет переменным по амплитуде и частоте.

При этом частота микрогенератора получается достаточно стабильной и независимой от скорости вращения вала и от ветровых порывов, действующих на лопасти ВЭУ. Так как электромагнитная сила,

наводимая колеблющимся постоянным магнитом в зазоре сердечника, пропорциональна величине индуктивности катушки (зависит от ее геометрических размеров и числа витков), а также материала и размеров

сердечника и провода, то за счет увеличения диаметра провода, длины намотки и числа витков увеличиваем индуктивность катушки, т.е. выходные показатели тока и напряжения модели микрогенератора.

Заключение

В качестве экономического обоснования эффективности использования импульсной микрогенерации предлагаемой конструкции, имеют значение некоторые конструктивные преимущества принципа преобразования:

- отсутствие необходимости мультипликации (увеличения многоступенчатой коробкой передач) оборотов ветроколеса для генератора, так как формируемая колеблющимся магнитом частота импульсов имеет конструктивное постоянство;
- отсутствие необходимости применения токосъемников или устройств раскручивания кабеля, обеспечивающего переход от горизонтально расположенного генератора на вертикальную мачту благодаря тому, что генерирующая часть не связана с осью вышки ВЭУ;

- возможность модульного исполнения конструкции микрогенерации позволяет формировать мощность ВЭУ по требованию и необходимости в сравнении с известными установками с массой многополюсного генератора или массой мультипликатора;
- простота помодульного выведения генерирующей части из работы или эксплуатации;
- устойчивость ВЭУ, благодаря низовому расположению генерирующей массы;
- простота транспортирования и монтажа, особенно в труднодоступные районы, с использованием более доступной крановой техники (которую к тому же необходимо перевозить до места монтажа);
- повышена надежность энергоснабжения от ВИЭ за счет устойчивой работы при низком ветровом напоре.

Список литературы

- [1]. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. // ИНЭИ РАН – Аналитический Центр при Правительстве РФ, М., 2014 <http://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/Pages/fuel-efficiency.aspx>
- [2]. А. Новак: выработка электроэнергии на ВИЭ-генерации в России вырастет в 5 раз к 2030 г. – / Neftegaz.RU <https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/725187-a-novak-vyrabotka-elektroenergii-na-vie-generatsii-v-rossii-vyrastet-v-5-raz-k-2030-g/>
- [3]. Россия активно развивает сектор ВИЭ <https://www.eprussia.ru/news/base/2022/2158620.htm>
- [4]. Производство электрической энергии осуществляется может от возобновляемых источников энергии. <http://www.tadviser.ru/index.phpo>.
- [5]. Бердин В., Кокорин А., Поташников В., Юлкин Г. Развитие ВИЭ в России: потенциал и практические шаги // Экономическая политика. 2020. – Т. 15. – № 2. – С. 106–135. DOI: 10.18288/1994-5124-2020-2-106-135.
- [6]. Крюков О. В. Функциональные возможности ветроэнергетических установок при питании удаленных объектов / О. В. Крюков, А. Б. Васенин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – № 2. – 2014.
- [7]. Голицын, М. В. Альтернативные энергоносители. / М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Проница, Г. С. Голицын. – М.: Наука. – 2004
- [8]. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.: КНОРУС. – 2010.
- [9]. Электрические машины: Учебное пособие / Усольцев А. А. – СПб: НИУ ИТМО, 2013.
- [10]. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов / В. В. Кононенко, В. И. Мишкочевич, В. В. Муханов, В. Ф. Планидин, П. М. Чеголин; под ред. В. В. Кононенко. – Изд. 4-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008.
- [11]. Ветроэнергетический агрегат Robert Gasch (Hrsg). Windkraftanlagen – В. G. Teubner, Stuttgart, 1993.
- [12]. Патент США № 413407, кл. 415-И, 1979.
- [13]. Квитко А. В. Расчёт мощности и выбор основных функциональных узлов ветроэлектрической установки / А. В. Квитко, А. А. Гончаров // Научный журнал КубГАУ, № 98(04), 2014 г.
- [14]. Грибков С. В. Ветроэнергетические системы гарантированного электроснабжения малой мощности – основа энергобезопасности малых хозяйств // ИМЭМО, 2010 г. <https://www.imemo.ru/ru/conf/2010/251010/gribkov.pdf>
- [15]. [Электронный ресурс] <http://www.findpatent.ru/patent/235/2352809.html>
- [16]. Пушкарев, А. Э. Динамический синтез ветроустановки, работающей в области малых скоростных потоков / А. Э. Пушкарев, Л. А. Пушкарева // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2010. – № 4. – С. 25 – 29.
- [17]. Патент РФ RU №2728304C1 по МПК F03D1/02 F03B3/04 Болотов В. Г., Горшевицкая И. С., Храмов А. В. Мультироторная энергетическая уста-

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

новка. Зарегистрировано 29.07.2020 г.

[18]. Патент № 2352809. Ветроэнергетический агрегат. Болотов А. В. (KZ), Болотов С. А. (RU), Болотов Н. С. (RU). Заявка от 09.07.2007, Зарегистрировано 20.04.2009.

[19]. Y. Chen, Y. T. Liao, C. C. Cheng. Development of small wind turbines for moving vehicles: Effects of

flanged diffusers on rotor performance, *Experimental Thermal and Fluid Science* 42, 136–142, 2012

[20]. Патент на полезную модель RU № 195958 U1. / Стрекалова Л. П., Стрекалов С. Д., Лукьянов В. П., Курбатов В. В. Зарегистрирован 13.02.2020. Приоритет заявки № 2019120447 от 27.06.2019.

References

[1]. Prognoz razvitiya mirovoy i rossiyskoy energetiki do 2040 goda. // INEI RAN – Analiticheskiy tsentr pri Pravitel'stve RF, M., 2014. <http://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/Pages/fuel-efficiency.aspx>. [Ehlektronnyi resurs]

[2]. <https://neftgaz.ru/news/Alternative-energy/725187-a-novak-vyrabotka-elektroenergii-na-vie-generatsii-v-rossii-vyrastet-v-5-raz-k-2030-g/>

[3]. Rossiya aktivno razvivayet sektor VIE <https://www.eprussia.ru/news/base/2022/2158620.htm>

[4]. Proizvodstvo elektricheskoy energii mozhет osushchestvlyat'sya iz vozobnovlyayemykh istochnikov energii. <http://www.tadviser.ru/index.phpo>.

[5]. Berdin V., Kokorin A., Potashnikov V., Yul'kin G. Razvitiye vozobnovlyayemykh istochnikov energii v Rossii: potentsial'nyye i prakticheskiye shagi // *Ekonomicheskaya politika*. 2020. Tom. 15. № 2. pp. 106–135. DOI: 10.18288/1994-5124-2020-2-106-135.

[6]. Kryukov O.V. Funktsional'nyye vozmozhnosti vetroenergeticheskikh ustanovok pri pitanii udalennykh ob'ektov / O. V. Kryukov, A. B. Vasenin // *Elektrooborudovaniye: ekspluatatsiya i remont* № 2. – 2014.

[7]. Golitsyn, M. V. Al'ternativnyye energonositeli. – / M. V. Golitsyn, A. M. Golitsyn, N. V. Pronina, G. S. Golitsyn. – M.: Nauka. – 2004

[8]. Sibikin, YU. D. Netraditsionnyye i vozobnovlyayemye istochniki energii. – / YU. D. Sibikin, M. YU. Sibikin. M.: KNORUS. – Nauka. – 2004. 2010.

[9]. Elektricheskiye mashiny: Uchebnoye posobiye / Usol'tsev A. A. – Spb: NIU ITMO, 2013.

[10]. *Elektrotehnika i elektronika: uchebnoye posobiye dlya vuzov* / V. V. Kononenko, V. I. Mishkovich, V. V. Mukhanov, V. F. Planidin, P. M. Chegolin; pod red. V. V. Kononenko. – Izd. 4-ye. – Rostov n/D: Feniks, 2008.

[11]. *Vetroenergeticheskij agregat*. Robert Gasch (Hrsg). Windkraftanlagen – B. G. Teubner, Stuttgart, 1993.

[12]. Patent SSHA № 413407, kl. 415-I, 1979.

[13]. Kvitko A. V. Raschot moshchnosti i vybor osnovnykh funktsional'nykh uzlov vetroelektricheskoy ustanovki / A. V. Kvitko, A. A. Goncharov // *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, № 98(04), 2014 g.

[14]. Gribkov S. V. Vetroenergeticheskiye sistemy garantirovannogo elektrosnabzheniya maloy moshchnosti – osnova energobezопасnosti malykh khozyaystv // *IMEMO*, 2010 g. <https://www.imemo.ru/ru/conf/2010/251010/gribkov.pdf>

[15]. [Ehlektronnyi resurs] <http://www.findpatent.ru/patent/235/2352809.html>

[16]. Pushkarev, A. E. Dinamicheskij sintez vetroustanovki, rabotayushchey v oblasti malykh skorostnykh potokov / A. E. Pushkarev, L. A. Pushkareva // *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010. – № 4. – pp. 25–29.

[17]. Patent RF RU № 2728304C1 po MPK F03D1/02 F03B3/04 Bolotov V. G., Gorshevitskaya I. S., Khranov A. V. Mul'tirotnaya energeticheskaya ustanovka, Zaregistrirovano 29.07.2020 g.

[18]. Патент № 2352809. Ветроэнергетический агрегат. Болотов А. В. (KZ), Болотов С. А. (RU), Болотов Н. С. (RU). Заявка от 09.07.2007, Зарегистрировано 20.04.2009.

[19]. Y. Chen, Y. T. Liao, C. C. Cheng. Development of small wind turbines for moving vehicles: Effects of flanged diffusers on rotor performance, *Experimental Thermal and Fluid Science* 42, 136–142, 2012

[20]. Патент на полезную модель RU № 195958 U1. / Стрекалова Л. П., Стрекалов С. Д., Лукьянов В. П., Курбатов В. В. Зарегистрирован 13.02.2020. Приоритет заявки № 2019120447 от 27.06.2019.

Транслитерация по BSI



ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ



RENEWABLE

ЭНЕРГЕТИКА

ENERGY



ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ

RES BASED POWER COMPLEXES

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ
И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE FIELD OF ENERGY
AND ALTERNATIVE ENERGY

Статья поступила в редакцию 09.01.24 Ред. Пер. № 320-001-24

The article has entered in publishing office 09.01.24 Ed. Reg. No 320-001-24

УДК 681.5 (681.5.013)

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В СОСТАВЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Олег Андреевич Вавилов¹, Валерий Дмитриевич Юркевич²,
Дмитрий Владиславович Коробков³*

^{1,2,3} Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия,

¹vavilov.oleg.rp462@gmail.com

²yurkev@mail.ru

³korobkov@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.036-050

Заключение совета рецензентов: 18.01.24 Заключение совета экспертов: 20.01.24 Принято к публикации: 23.01.24

В данной работе рассматривается задача синтеза двухконтурной системы управления для трехфазного инвертора напряжения, предназначенного для использования в автономной системе электроснабжения. Подобранный DC/AC преобразователь является неотъемлемым звеном в системах электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии в качестве первичных, и, соответственно, должен удовлетворять требованиям на качество генерируемой электроэнергии. Данные требования обеспечиваются за счет схемотехнических решений, а также с помощью построения высокоточных систем автоматического управления. В работе предложен метод расчета параметров ПИ-регуляторов с резонансными составляющими, основанный на использовании метода разделения движений и позволяющий осуществить независимую настройку компонент регуляторов. При этом введение резонансной составляющей обеспечивает высокую точность слежения для заданной основной гармоники сетевого напряжения и селективное подавление внешних гармонических воздействий. Предложенный подход позволяет синтезировать САР, значительно улучшающую качество выходных параметров инвертора напряжения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; гибридные системы электроснабжения; инвертор напряжения; система автоматического управления; метод разделения движений; ПИ-регулятор, резонансный регулятор.

Олег Андреевич Вавилов, Валерий Дмитриевич Юркевич, Дмитрий Владиславович Коробков. Синтез системы автоматического регулирования для инвертора напряжения в составе автономной системы электроснабжения// Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 36-50

Oleg A. Vavilov, Valery D. Yurkevich, Dmitry V. Korobkov. Synthesis of an automatic control system for a voltage inverter for autonomous power supply system// Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 36-50



SYNTHESIS OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A VOLTAGE INVERTER FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM

Oleg A. Vavilov¹, Valery D. Yurkevich², Dmitry V. Korobkov³

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation, vavilov.oleg.rp462@gmail.com

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation, yurkev@mail.ru

³Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation, korobkov@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.036-050

Referred: 18.01.24

Received in revised form: 20.01.24

Accepted: 23.01.24

This paper examines the problem of synthesizing a two-loop control system for a three-phase voltage inverter designed for an autonomous power supply system. This type of DC/AC converters is an essential part of power supply systems with renewable energy sources as primary sources, and, accordingly, must correspond to the requirements for the electric power quality. These requirements are met through circuit design solutions, as well as through the construction of high-precision automatic control systems. The paper proposes a method for calculating the parameters of PI controllers with resonant components, based on the time-scale separation method and allowing independent adjustment of the controller components. The introduction of a resonant component ensures high tracking accuracy for a desired main voltage harmonic and selective suppression of external harmonic influences. The proposed approach allows to synthesize an automatic control system that significantly improves the quality of the voltage inverter output parameters.

Keywords: renewable energy sources; hybrid power supply systems; voltage inverter; automatic control system; time-scale separation method; PI controller, resonant controller.



Вавилов
Олег Андреевич
Oleg A. Vavilov

Сведения об авторе:

Место работы: аспирант кафедры «Автоматики» факультета «Автоматики и Вычислительной техники», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Образование: Новосибирский государственный технический университет.

Область научных интересов: системы автоматического управления, силовые преобразователи, инверторы напряжения, широтно-импульсная модуляция, синтез регуляторов, автоматизация.

Публикации: 5 публикаций в изданиях, индексируемых РИНЦ.

Information about the author:

Place of work: postgraduate student of the Department of Automation, Faculty of Automation and Computer Science, Novosibirsk State Technical University.

Education: Novosibirsk State Technical University.

Research interests: automatic control systems, power converters, voltage inverters, pulse-width modulation, controller synthesis.

Publications: 5 publications indexed by the Russian Science Citation Index.



Юркевич
Валерий Дмитриевич
Valery D. Yurkevich

Сведения об авторе:

Место работы: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», профессор кафедры «Автоматики».

Образование: Новосибирский электротехнический институт.

Научное звание: профессор.

Ученая степень: доктор технических наук.

Область научных интересов: нелинейные системы управления, сингулярные возмущения в теории управления, цифровые системы управления, управление полетом, системы управления с распределенными параметрами, робототехника, импульсные преобразователи электроэнергии, возобновляемые источники энергии.

Публикации: более 250 научных статей и докладов на конференциях, 2 монографии, 3 учебных пособия, 6 изобретений.

Information about the author:

Place of work: Novosibirsk State Technical University, Professor of the Automation Department.

Education: Novosibirsk Electro-Technical Institute.

Scientific title: Professor.

Academic degree: Doctor of Technical Sciences.

Research interests: nonlinear control systems, singular perturbations in control theory, digital control systems, flight control, distributed parameter control systems, robotics, switching controllers for power converters, renewable energy sources.

Publications: more than 250 scientific articles and reports at conferences, 2 monographs, 3 teaching manuals, 6 inventions.

Сведения об авторе:

Место работы: старший преподаватель кафедры «Электроники и Электротехники», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», ведущий конструктор проектов силовой электроники автономных систем электроснабжения.

Образование: Новосибирский государственный технический университет.

Область научных интересов: силовые преобразователи, автономные системы электроснабжения, БАС.

Публикации: более 60 публикаций, РИД 16.

Information about the author:

Place of work: senior lecturer of the Department of Electronics and Electrical Engineering, Novosibirsk State Technical University, leading designer of power electronics projects for autonomous power supply systems.

Education: Novosibirsk State Technical University.

Research interests: power converters, autonomous power supply systems, RPAS.

Publications: more than 60 publications, 16 intellectual products.



Коробков
Дмитрий
Владиславович
Dmitry V. Korobkov

Введение

За последние десятилетия использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, энергии ветра и солнца, существенно возросло, и в будущем ожидается дальнейшее увеличение, что, по прогнозам, приведет к сокращению выбросов парниковых газов [1-4]. Однако спорадический характер возобновляемых источников влияет как на качество электроэнергии, так и на экономическую конкурентоспособность систем энергоснабжения, оснащенных как возобновляемыми, так и традиционными источниками. Кроме того, в современных многоагентных системах электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии существенную роль играет наличие растущего количества электротранспорта с соответствующей зарядной инфраструктурой [5-8].

Поддержка технологий систем краткосрочного и долгосрочного хранения энергии (систем накопления

энергии – СНЭ) необходима для интеграции ВИЭ в основную сеть [9-14]. Однако из-за низкой плотности энергии и саморазряда аккумуляторные СНЭ могут использоваться только для кратковременного хранения [15]. Среди различных долгосрочных технологий аккумуляторных систем использование водородных СНЭ является одним из наиболее перспективных вариантов, поскольку оно является экологически чистым и обладает высокой плотностью энергии [9]. Водород производится электролизом, хранится в резервуарах для хранения и повторно электризуется топливными элементами для удовлетворения потребностей в электроэнергии и контрактных требований. С целью повышения надежности систем генерации электроэнергии, основанных на использовании возобновляемых источников энергии, данные системы чаще всего проектируются в качестве гибридных, с



одновременным использованием нескольких различных первичных источников энергии, таких как солнечные батареи, ветровые турбины или топливные элементы [16-17]. Так называемые микросети, создаваемые комбинацией ВИЭ и СНЭ, требуют внедрения стратегий управления, учитывающих ограничения оборудования, его износ и затраты [15, 18-26].

Стратегия управления энергообменными процессами в многоагентных системах преследует несколько целей. При минимизации эксплуатационных расходов стратегия управления строится на прогностических моделях деградации структурных элементов системы и стохастических моделях энергообменных процессов [6, 9, 27]. Основным фактором сокращения срока службы батарей являются частые циклы заряда/разряда. Для увеличения срока службы водородных накопителей ограничивают интенсивность их использования, удерживая энергообменные процессы внутри предельных значений допустимых мощностей. Стратегия управления учитывает такие процессы в

водородных накопителях, как холодный и теплый запуски, потребление в режиме ожидания, минимальное время включенного/выключенного состояния [5]. Немаловажным фактором, влияющим на стратегию управления, являются аварийные режимы работы системы [13, 28-29].

Для эффективной интеграции накопителей в многоагентную систему электроснабжения используются электронные устройства типа статических преобразователей (устройства силовой электроники), обеспечивающие энергетическую связь накопителей с нагрузкой. Поэтому в состав структуры гибридной системы генерации электроэнергии (Рис. 1) помимо первичных источников энергии должны входить преобразователи энергии, такие как, например однофазные или трехфазные инверторы напряжения (ИН), служащие для питания потребителей электроэнергии переменного тока или передачи энергии в общую сеть [17].

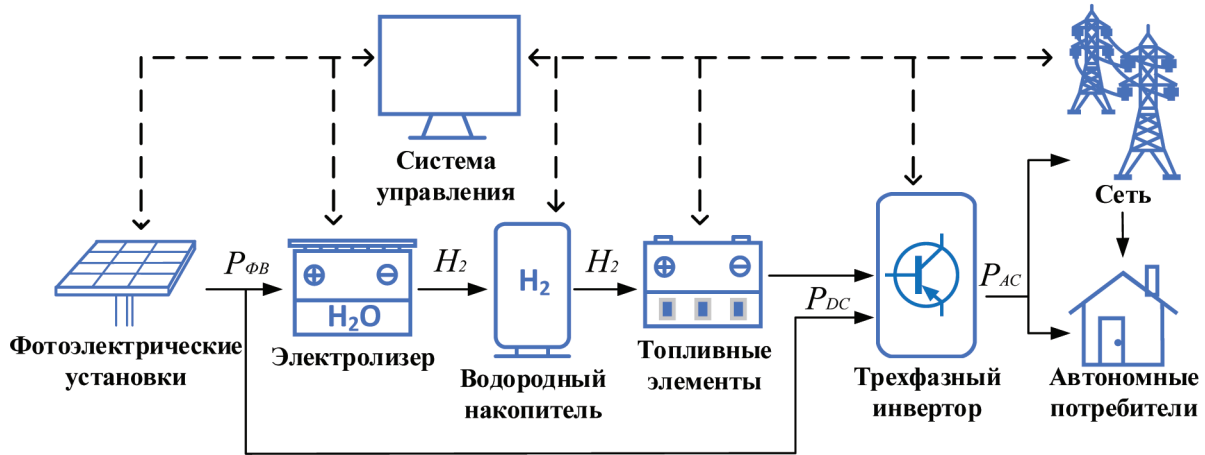


Рис. 1. Структурная схема автономной системы электроснабжения
 Fig 1. Block diagram of an autonomous power supply system

Проектирование энергоэффективных гибридных систем генерации электроэнергии является сложной комплексной проблемой, решение которой требует применения методов системного анализа при разработке и согласования технических характеристик и режимов работы отдельных узлов и агрегатов в их составе [30-32]. В центре внимания данной работы находится такой элемент гибридной системы генерации электроэнергии, как автономный инвертор напряжения, применяемый для питания выходной шины переменного тока и, в частности, рассмотрена задача проектирования системы управления для подобного преобразователя.

Одной из проблем, возникающей при эксплуатации автономных систем генерации трехфазного напряжения, является возможность возникновения существенной несимметрии нагрузок фаз. В этих условиях эффективное формирование трехфазного пере-

менного напряжения можно обеспечить, применяя трехфазные четырехпроводные инверторы с нулевой шиной [33]. При этом точность формирования заданных параметров генерируемого переменного напряжения в условиях несимметрии нагрузок фаз и значительных изменений величин этих нагрузок обеспечивается за счет проектирования эффективной системы управления ИН. В системах управления инверторами напряжения наибольшее распространение получило применение пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов. При этом один из способов повышения точности формирования заданных параметров генерируемого переменного напряжения состоит в применении резонансных регуляторов [34-38], основным достоинством которых является возможность независимой настройки резонансных составляющих для высокоточного отслеживания частоты основной несущей гармоники и селективной компенсации ча-



стот заданных высших гармоник. В частности, двухконтурная система управления с пропорциональным резонансным регулятором для трехфазного инвертора напряжения с четырьмя стойками была рассмотрена в работе [39], в которой применялся аппарат диаграмм Боде и метод корневого годографа. Структура и методика расчета пропорционального резонансного регулятора с компенсацией запаздывания в контуре регулирования, обусловленного цифровой реализацией алгоритма управления, была предложена в работе [40].

Особенность представленной здесь работы состоит в применении метода разделения движений [41-42] и принципа внутренней модели [43-45] при

проектировании двухкаскадной системы управления с ПИ резонансным регулятором в трехфазном четырехпроводном инверторе напряжения с нулевой шиной. В работе предложена методика расчета резонансного ПИ регулятора с независимым расчетом ПИ составляющих и резонансных компонент регулятора, за счет применения метода разделения движений. Показано, что применение предлагаемого метода расчета регулятора позволяет значительно повысить точность формирования заданного трехфазного напряжения в условиях несимметрии нагрузок фаз и значительных изменений величин этих нагрузок. В работе также приведены результаты численного моделирования предлагаемой системы управления.



Таблица сокращений	
Сокращения	
НГТУ	Новосибирский государственный технический университет
ИН	Инвертор напряжения
АС	Переменный ток
DC	Постоянный ток
ВИЭ	Возобновляемый источник энергии
СНЭ	Система накопления энергии
ПИ-регулятор	Пропорционально-интегральный регулятор
ШИМ	Широтно-импульсная модуляция
ПМД	Подсистема медленных движений
ПБД	Подсистема быстрых движений
САР	Система автоматического регулирования
Г-образный	соединенный способом, похожим на букву «Г».
Буквы греческого алфавита	
μ_1	Постоянная времени подсистемы быстрых движений во внутреннем контуре
μ_2	Постоянная времени подсистемы быстрых движений во внешнем контуре
η	Степень разделения быстрых и медленных процессов
τ	Постоянная времени
ξ	Коэффициент демпфирования
ω_1	Частота основной гармоники выходного напряжения инвертора
Буквы латинского алфавита	
U_{DC}	Напряжение во входном звене постоянного тока
C_{IN}	Входные конденсаторы, напряжение на каждом из которых равно $U_{DC}/2$

L_I и C	Индуктивность и емкость Г-образного LC-фильтра
I_{LI}	Среднее значение тока, протекающего через индуктивность LC-фильтра за один период ШИМ.
I_{L2}	Среднее значение тока, протекающего через индуктивность нагрузки за один период ШИМ.
U_C	Среднее значение напряжения на конденсаторе фильтра за один период ШИМ
U_{LOAD}	Напряжение нагрузки инвертора
e_p, e_U	Ошибки регулирования тока и напряжения
u_M	Модулирующий сигнал
L_2 и R	Индуктивность и сопротивление активно-индуктивной нагрузки
E_{IN}	Напряжение между средней точкой входного звена конденсаторов постоянного тока и одним из фазных выходов инвертора
k_{RI}	Коэффициент усиления регулятора
k_{res}	Резонансный коэффициент усиления
T_1	Постоянная времени подсистемы медленных движений во внутреннем контуре
T_2	Постоянная времени подсистемы медленных движений во внешнем контуре
$W_{PI2}(s)$	Передаточная функция внешнего ПИ-регулятора
$\cos(\varphi)$	Косинус угла φ
f_{LOAD}	Частота напряжения нагрузки инвертора
s, p	Оператор Лапласа
t_p	Время переходных процессов
Единицы измерения	
Гц	Герц



кГц	Килогерц
кВА	Киловольт-ампер
мкГн	микрогенри

мкФ	микрофарад
мкс	микросекунда
В	Вольт

1. Постановка задачи

В данной работе рассматривается синтез системы управления для силового преобразователя, представляющего собой трехфазный двухуровневый инвертор напряжения (ИН) с выходным Г-образным LC-фильтром и синусоидальной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Данный инвертор предназначен для работы в составе автономной системы электроснабжения для питания потребителя переменного тока с постоянной частотой 50 Гц, в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013 [46]. Преобразователь включает в себя шесть полупроводниковых ключей, образующих три фазных стойки с соединением средней точки конденсаторов входного звена постоянного тока и нейтрали нагрузки, за счет чего обеспечивается независимая работа фаз. Для генерирования импульсов управления полупроводниковыми ключами используется трехфазная скалярная ШИМ (PWM), в составе которой три двухполярных однофазных синусоидальных сигнала, называемых также модулирующими сигналами, сравниваются с пилообразным

опорным напряжением, и формирует прямоугольные управляющие импульсы в моменты таких сравнений. Частота модулирующих сигналов задается равной 50 Гц, т.е. требуемой частоте первой гармоники выходного напряжения, а частота опорного сигнала соответствует частоте коммутации полупроводниковых ключей. Импульсы управления для ключей в фазных стойках генерируются независимо друг от друга со сдвигом на 120°. Выходной Г-образный LC-фильтр предназначен для повышения качества генерируемого напряжения за счет подавления высших комбинационных гармонических составляющих токов и напряжений на выходе ИН. В данной работе для упрощения расчетов величины паразитных сопротивлений фильтра принимаются пренебрежимо малыми, и учитываются только реактивные компоненты – катушки индуктивности и конденсаторы. Соответствующая структурная схема, включающая силовую схему и двухконтурную систему автоматического регулирования (САР) представлена на Рис. 2.

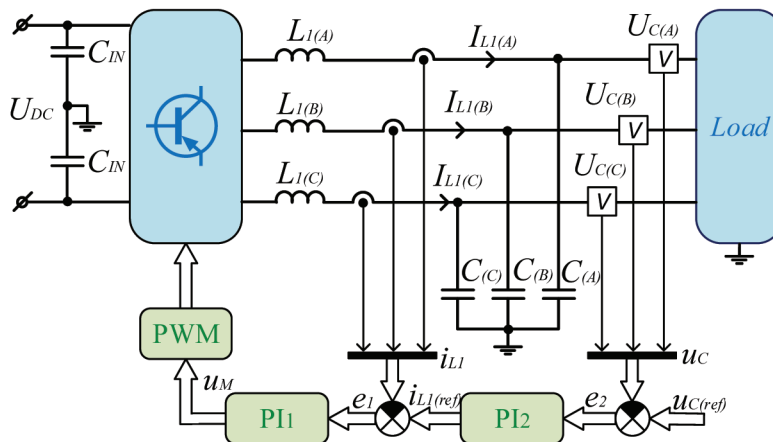


Рис. 2. Структурная схема рассматриваемой системы генерирования переменного тока
Fig. 2. Block diagram of the considered AC generation system

Здесь U_{DC} – напряжение во входном звене постоянного тока, питающем преобразователь; C_{IN} – входные конденсаторы, напряжение на каждом из которых принимается равным $U_{DC}/2$; L_1 и C – индуктивность и емкость Г-образного LC фильтра; I_{L1} – ток, протекающий через индуктивность LC-фильтра; I_{L2} – ток, протекающий через индуктивность нагрузки; U_C – напряжение нагрузки инвертора, равное напряжению на фильтровом конденсаторе. Предполагается, что нагрузка имеет активно-индуктивный характер. Информация о токе и напряжении с датчиков в силовой схеме передается в три независимые пофазные двухконтурные системы регулирования, которые формируют

модулирующий сигнал u_M для ШИМ. Рассматриваемая САР включает в себя ПИ регулятор по выходному напряжению во внешнем контуре и ПИ-регулятор по току фильтра во внутреннем контуре. Сигналы e_I и e_U на Рис. 2 отражают ошибки регулирования по току и напряжению:

$$e_I(t) = I_{L1(ref)}(t) - I_{L1}(t), \tag{1}$$

$$e_U(t) = U_{C(ref)}(t) - U_C(t), \tag{2}$$

Для решения задачи синтеза регуляторов в системе управления необходимо рассмотреть математическую модель обсуждаемой силовой схемы. На основе схемы преобразователя (Рис. 2) была получена математическая модель для одной

фазы ИН в виде системы дифференциальных уравнений для средних на периоде ШИМ значений токов и напряжений:

$$\begin{cases} \frac{dI_{L1}}{dt} = -\frac{1}{L_1}U_C + \frac{U_{DC}}{2L_1}u_M, \\ \frac{dI_{L2}}{dt} = \frac{1}{L_2}U_C, \\ \frac{dU_C}{dt} = \frac{1}{C}I_{L1} - \frac{1}{C}I_{L2} - \frac{1}{RC}U_C. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь L_2 и R – параметры активно-индуктивной нагрузки, I_{L2} – ток, протекающий через индуктивность нагрузки. В условиях высокой частоты коммутации ключей ИН и равенства напряжений на входных конденсаторах связь средней величины напряжения на выходе инвертора с величиной модулирующего сигнала u_M на входе скалярной модулирующей ШИМ можно выразить следующим соотношением:

$$E_{IN} = \frac{U_{DC}}{2} \cdot u_M,$$

где E_{IN} – напряжение между средней точкой входного звена конденсаторов постоянного тока и одним из фазных выходов инвертора [47].

Полученная математическая модель (3) для описания токов и напряжений в ИН с фильтром представлена в виде:

$$\begin{cases} \frac{dI_{L1}}{dt} = -k_1U_C + k_2u_M, \\ \frac{dI_{L2}}{dt} = k_5U_C, \\ \frac{dU_C}{dt} = k_3I_{L1} - k_3I_{L2} - k_4U_C, \end{cases} \quad (4)$$

где введены следующие обозначения:

$$\begin{aligned} k_1 &= 1 / L_1, \\ k_2 &= U_{DC} / 2L_1, \\ k_3 &= 1 / C, \\ k_4 &= 1 / RC, \\ k_5 &= 1 / L_2. \end{aligned}$$

На основе данной математической модели в дальнейшем рассматривается предлагаемая в работе методика синтеза двухконтурной САР.

2. Синтез двухконтурной системы управления на основе метода разделения движений

На первом этапе проводится расчет параметров регулятора тока для внутреннего контура регулирования, где в качестве входа (управляющего воздействия) рассматривается модулирующий сигнал u_M для ШИМ, а выходом является ток I_{L1} , протекающий через индуктивность LC-фильтра. Тогда, из системы уравнений (4), используя преобразование Лапласа, можно получить следующую передаточную функцию:

$$W_1(s) = \frac{I_{L1}(s)}{u_M(s)} = \frac{k_2(s^2 + k_4s + k_3k_5)}{s^3 + k_4s^2 + (k_1k_3 + k_3k_5)s}, \quad (5)$$

где необходимо отметить, что полином числителя полученной передаточной функции (5) является устойчивым.

В качестве регулятора для внутреннего контура регулирования рассматривается ПИ регулятор (Рис.2), передаточная функция которого представлена в следующем виде:

$$W_{PI}(s) = k_{R1} \frac{s + T_1^{-1}}{\mu_1 s}, \quad (6)$$

где k_{R1} – коэффициент усиления регулятора; μ_1 – малый положительный параметр; T_1 – положительная постоянная времени. В данном разделе представлена методика выбора данных параметров алгоритма управления (6) в соответствии с требованиями к процессам в системе управления.

Из выражений (5) и (6) следует передаточная функция для замкнутого контура регулирования по току I_{L1} :

$$\begin{aligned} W_I(s) &= \frac{W_1(s) \cdot W_{PI}(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_{PI}(s)} = \\ &= \frac{k_2 k_{R1} (s^2 + k_4s + k_3k_5)(s + T_1^{-1})}{A_I(\mu_1, s)}, \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} A_I(\mu_1, s) &= \mu_1 s^4 + (k_4\mu_1 + k_2k_{R1})s^3 + \\ &+ (k_1k_3\mu_1 + k_3k_5\mu_1 + k_2k_{R1}T_1^{-1} + k_2k_4k_{R1})s^2 + \\ &+ (k_2k_{R1}k_3k_5 + k_2k_4k_{R1}T_1^{-1})s + k_2k_{R1}k_3k_5T_1^{-1}. \end{aligned} \quad (8)$$

Коэффициенты характеристического полинома (8) для передаточной функции (7) зависят от малого параметра μ_1 , что приводит к возникновению разнотемповых процессов в замкнутой системе контура регулирования током I_{L1} . Анализ условий устойчивости и расчетные соотношения для параметров ПИ-регулятора (6) в контуре тока можно получить на основе анализа корней полинома (8) с помощью метода разделения движений [41-42]. В соответствии с данным методом, из характеристического полинома (8) был получен характеристический полином подсистемы медленных движений (ПМД):

$$\begin{aligned} A_{I(ПМД)}(s) &= \lim_{\mu_1 \rightarrow 0} A_I(\mu_1, s) = \\ &= k_2 k_{R1} (s^2 + k_4s + k_3k_5)(s + T_1^{-1}). \end{aligned} \quad (9)$$

Принимая во внимание устойчивость полинома в числителе передаточной функции (5), устойчивость процессов в подсистеме медленных движений внутреннего контура обеспечивается выбором $T_1 > 0$. Постоянную времени T_1 можно рассчитать на основе требования к желаемой длительности t_p переходных процессов по току I_{L1} с помощью следующего соотношения:

$$t_p \approx 4T_1.$$

С целью выделения полинома подсистемы быстрых движений внутреннего контура необходимо выполнить в (8) замену $s=p/\mu_1$ и умножить полученное выражение на μ_1^3 . Затем, выполняя предельный переход $\mu_1 \rightarrow 0$, было получено выражение:

$$\lim_{\mu_1 \rightarrow 0} \left(A_I \left(\mu_1, \frac{p}{\mu_1} \right) \cdot \mu_1^3 \right) = p^3 (p + k_2 k_{R1}) . \quad (10)$$

После умножения (10) на p^{-3} и выполнения замены $p=\mu_1 s$, получен полином ПБД в следующем виде:

$$A_{I(\text{ПБД})}(s) = \mu_1 s + k_2 k_{R1} . \quad (11)$$

Из выражения (11) следует, что при $\mu_1 > 0$ устойчивость быстрых процессов в замкнутой системе для контура регулирования током I_{L1} обеспечивается условием $k_2 k_{R1} > 0$. В данном случае рекомендуется принять коэффициент усиления регулятора k_{R1} равным $1/k_2$. Тогда постоянная времени подсистемы быстрых движений μ_1 выбирается с учетом требований на степень разделения темпов быстрых и медленных процессов во внутреннем контуре на основе следующего соотношения:

$$\mu_1 = \frac{\min\{\tau, T_1\}}{\eta} , \quad (12)$$

где степень разделения темпов быстрых и медленных процессов задается параметром η , например, $\eta \geq 10$. Здесь темп протекания медленных процессов, согласно выражению (9), определяется постоянными времени T_1 и τ , где

$$\tau = 1 / \sqrt{k_3 k_5} .$$

Разделение темпов быстрых и медленных процессов для устойчивых характеристических полиномов ПМД (9) и ПБД (11) позволяет обеспечить устойчивость процессов в замкнутом контуре регулирования током I_{L1} , в котором для установившегося режима из выражения (7) следует $I_{L1} = I_{L1(\text{ref})}$.

На втором этапе выполняется расчет параметров регулятора для внешнего контура регулирования фазным напряжением U_C на выходе LC-фильтра при условии, что имеет место установившийся режим во внутреннем контуре регулирования током, при котором $I_{L1} = I_{L1(\text{ref})}$. При данном дополнительном условии из системы уравнений (4) получена следующая передаточная функция:

$$W_2(s) = \frac{u_C(s)}{i_{L1}(s)} = \frac{k_3 s}{s^2 + k_4 s + k_3 k_5} . \quad (13)$$

Структурная схема для расчета регулятора во внешнем контуре управления фазным напряжением U_C принимает вид, представленный на Рис.3.

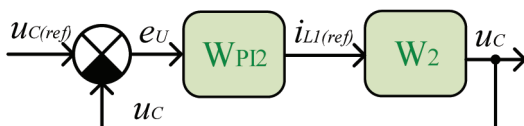


Рис. 3. Структурная схема для синтеза внешнего контура САУ

Fig. 3. Schematic block diagram for the automatic control system outer loop design

Особенность данной работы состоит в использовании в контуре регулирования выходного напряжения U_C (Рис.3) резонансного ПИ-регулятора с передаточной функцией $W_{PI2}(s)$ следующего вида:

$$W_{PI2}(s) = k_{R2} \frac{s + T_2^{-1}}{\mu_2 s} \left(1 + \frac{k_{res} s}{s^2 + \omega_1^2} \right) , \quad (14)$$

где μ_2 есть малый положительный параметр алгоритма управления (14).

Здесь, в отличие от регулятора тока с передаточной функцией (5) для внутреннего контура, регулятор напряжения с передаточной функцией (14) для внешнего контура содержит дополнительный множитель с параметрами k_{res} и ω_1 , где ω_1 – частота основной гармоники выходного напряжения инвертора.

В соответствии со структурной схемой на Рис.3 и выражениями (13) и (14), получена передаточная функция замкнутой системы для внешнего контура регулирования по напряжению U_C :

$$W_U(s) = \frac{W_2(s) \cdot W_{PI2}(s)}{1 + W_2(s) \cdot W_{PI2}(s)} = \frac{k_{R2} k_3 (s + T_2^{-1})(s^2 + k_{res} s + \omega_1^2)}{A_U(\mu_2, s)} , \quad (15)$$

где

$$A_U(\mu_2, s) = \mu_2 s^4 + (k_{R2} k_3 + k_4 \mu_2) s^3 + (k_{R2} k_3 k_{res} + k_{R2} k_3 T_2^{-1} + k_3 k_5 \mu_2 + \mu_2 \omega_1^2) s^2 + (\omega_1^2 \mu_2 k_4 + k_3 k_{R2} \omega_1^2 + k_3 k_{R2} k_{res} T_2^{-1}) s + k_3 k_{R2} \omega_1^2 T_2^{-1} + \mu_2 k_3 k_5 \omega_1^2 . \quad (16)$$

Аналогично анализу свойств характеристического полинома контура регулирования током, метод разделения движений [41, 42] использован для анализа свойств корней характеристического полинома контура регулирования напряжением. Из полинома (16) получен характеристический полином ПМД внешнего контура:

$$A_{U(\text{ПМД})}(s) = \lim_{\mu_2 \rightarrow 0} A_U(\mu_2, s) = k_3 k_{R2} (s + T_2^{-1})(s^2 + k_{res} s + \omega_1^2) . \quad (17)$$

Устойчивость процессов в ПМД для внешнего контура обеспечивается выбором T_2 и k_{res} исходя из условий:

$$T_2 > 0 \text{ и } k_{res} = 2\xi\omega_1 ,$$

где коэффициент ξ выбирается исходя из требования к демпфированию процессов, порождаемых резонансной компонентой в регуляторе (14), например, $\xi=1$. Постоянная времени T_2 определяет длительность переходных процессов по выходному



напряжению U_C при изменении мощности нагрузки инвертора.

Характеристический полином ПБД внешнего контура получен с помощью замены $s=p/\mu_2$ в выражении (16) и умножении полученного выражения на μ_2^3 . Затем, выполняя предельный переход $\mu_2 \rightarrow 0$, получено выражение:

$$\lim_{\mu_2 \rightarrow 0} \left(A_U \left(\mu_2, \frac{p}{\mu_2} \right) \cdot \mu_2^3 \right) = p^3 (p + k_3 k_{R2}). \quad (18)$$

Умножая (18) на p^{-3} и выполняя замену $p=\mu_2 s$, получен характеристический полином ПБД внешнего контура в следующем виде:

$$A_{U(ПБД)}(s) = \mu_2 s + k_3 k_{R2}. \quad (19)$$

Так как $\mu_2 > 0$, устойчивость быстрых процессов во внешнем контуре по напряжению U_C обеспечивается условием $k_3 k_{R2} > 0$, то рекомендуется выбирать коэффициент усиления регулятора напряжения $k_{R2} = 1/k_3$.

Из выражения (17) следует, что темп переходных процессов в ПМД для внешнего контура определяется постоянными времени T_2 и $\tau_\omega = 1/\omega_1$. Соответственно, требование на разделение темпов быстрых и медленных процессов во внешнем контуре обеспечивается выбором μ_2 в соответствии со следующим выражением:

$$\mu_2 = \frac{\min\{\tau_\omega, T_2\}}{\eta}. \quad (20)$$

Таким образом, предлагаемая методика расчета параметров двухконтурной системы управления инвертором состоит из следующих этапов. В начале выбираются коэффициенты усиления регуляторов в соответствии с условиями $k_{R1} = 1/k_2$ и $k_{R2} = 1/k_3$. Затем, по заданным значениям постоянных времени T_2 и $\tau_\omega = 1/\omega_1$, вычисляется величина параметра μ_2 . Выбором $T_1 = \mu_2$ обеспечивается быстрое действие внутреннего контура регулирования по отношению к

внешнему контуру, а для выбора параметра μ_1 используется соотношение (12).

3. Имитационное моделирование

С целью демонстрации предложенного подхода было проведено имитационное моделирование для статического и динамического режимов работы преобразователя с активно-индуктивной нагрузкой. Имитационное моделирование преобразователя с синтезированной САР (Рис.2) осуществлено для мощности нагрузки 1 кВА, $\cos(\varphi) = 0.8$ при работе преобразователя с выходными характеристиками, соответствующими работе на общую электрическую сеть низкого напряжения [46]. Требуемое действующее значение первой гармоники выходного напряжения составляет $U_H = U_C = 220$ В на частоте $f_{LOAD} = 50$ Гц при частоте коммутации транзисторов 40 кГц и одностороннем пилообразном опорном напряжении ШИМ.

Имитационное моделирование проводится для преобразователя при индуктивности и емкости выходного LC фильтра равных $L_1 = 400$ мкГн, $C = 10$ мкФ и напряжении входного звена постоянного тока $U_{DC} = 800$ В. В соответствии с полученными выше соотношениями при моделировании были заданы следующие величины параметров регуляторов $k_{R1} = 1 \cdot 10^{-6}$; $\mu_1 = 1 \cdot 10^{-5}$; $T_1 = 1 \cdot 10^{-4}$; $\eta = 10$; $k_{R2} = 1 \cdot 10^{-5}$; $\mu_2 = 1 \cdot 10^{-4}$; $T_2 = 1 \cdot 10^{-3}$; $k_{res} = 628$.

Результаты имитационного моделирования с указанными параметрами силовой схемы и рассчитанными в разделах 2 и 3 параметрами регуляторов приведены на Рис.4-5. На Рис.4 представлены осциллограммы напряжения нагрузки и ошибки слежения одной фазы, рассчитанной по формуле (2) для системы без добавления резонансного регулятора (U_{out2} , e_{u2}) и для системы с резонансной составляющей (U_{out1} , e_{u1}) при работе инвертора в статическом режиме.

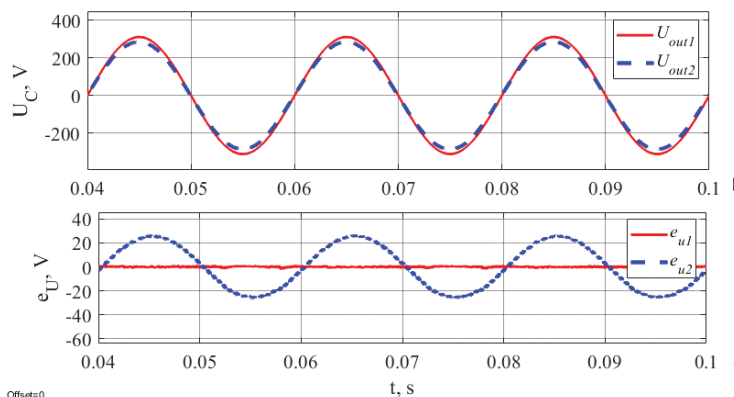


Рис. 4. Выходное напряжение $U_C = U_{out}$ и ошибка слежения $e_U(t)$
 Fig. 4. Output voltage $U_C = U_{out}$ and tracking error $e_U(t)$

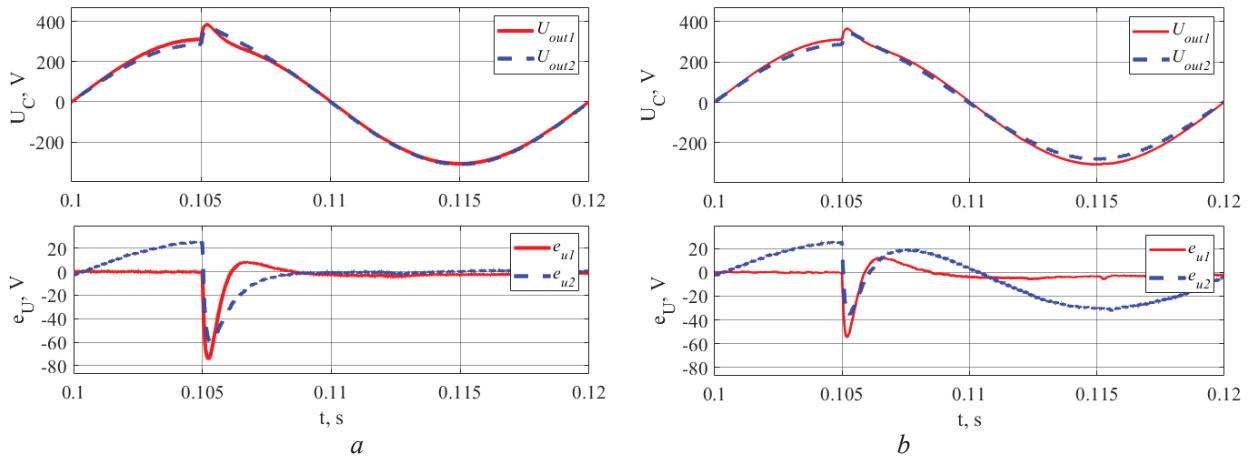


Рис. 5. Переходные процессы по выходному напряжению при изменении мощности нагрузки
Fig. 5. Transient processes in output voltage during changes of output power

На Рис. 5(a) представлен переходной процесс по напряжению при сбросе мощности нагрузки до 10 % от номинала, на Рис. 5(b) – динамический процесс при увеличении нагрузки до 120 % от номинала для одной фазы.

Согласно результатам проведенного моделирования, для системы с резонансным регулятором в статическом режиме амплитуда первой гармоники выходного напряжения равна 311,2 В, соответственно относительная ошибка по напряжению составляет менее 0,1 %, суммарный коэффициент гармоник равен 0,3 %, а амплитуды высших гармоник значительно меньше указанных в [46] требований. Для системы со стандартным ПИ-регулятором величина первой гармоники выходного напряжения составляет 285,4 В, соответственно относительная ошибка по напряжению составляет около 8 %, суммарный коэффициент гармоник равен 0,32 %. Как видно из Рис. 5 САР с резонансным регулятором позволяет сохранить относи-

тельную ошибку менее 1 % при времени переходного процесса менее 10 мкс. При этом в двух оставшихся фазах, работающих на номинальную мощность нагрузки, выходные напряжения находятся на заданном уровне с ошибкой менее 1 %.

Соответственно, по результатам моделирования можно сделать вывод о том, что добавление резонансной составляющей, параметры которой рассчитаны по предложенной методике независимо от параметров ПИ-составляющих, позволило для рассматриваемого преобразователя более чем на порядок уменьшить величину ошибки слежения и коэффициент гармоник переменного напряжения. Независимое управление фаз в трехфазной системе обеспечивает эффективную работу преобразователя в составе гибридной системы в условиях несимметрии нагрузки, высокое качество выходного переменного напряжения и стабильность работы системы в широком диапазоне мощности нагрузки.

Заключение

В данной работе представлена процедура синтеза двухконтурной САР с пропорционально-интегральным резонансным регулятором для трехфазного инвертора напряжения, предназначенного для работы в качестве составной части гибридной системы автономного электроснабжения, и приведены результаты численного моделирования. Показано, что независимый расчет пропорционально-интегральных и резонансных составляющих регулятора может быть проведен при следовании сравнительно простой процедуре расчета. При этом уменьшение ошибки слежения обеспечивается только за счет добавления резонансного регулятора, без пересчета параметров основных ПИ-составляющих регулятора. Представ-

ленная методика может быть использована при проектировании систем управления для широкого класса силовых преобразователей в составе гибридных систем энергоснабжения с возобновляемыми источниками энергии с высокими показателями качества энергии переменного тока в условиях несимметрии и высокой динамики изменения нагрузки.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках программы «Приоритет-2030» НГТУ по стратегическому направлению «Силовая электроника и интеллектуальная энергетика».



Список литературы

- [1] E. L. Gonz'alez, F. I. Llerena, M. S. P'erez, F. R. Iglesias, and J. G. Macho. «Energy evaluation of a solar hydrogen storage facility: Comparison with other electrical energy storage technologies». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 15, pp. 5518-5525, 2015.
- [2] B. Hamad, A. Al-Durra, T. H. M. EL-Fouly, and H. H. Zeineldin. «Economically optimal and stability preserving hybrid droop control for autonomous microgrids». *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 38, no. 1, pp. 934-947, 2023.
- [3] Fang, K.; Heijungs, R.; De Snoo, G.R. (2014). «Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family». *Ecological Indicators*. 36: 508-518, doi:10.1016/j.ecolind.2013.08.017.
- [4] M. Pourakbari-Kasmaei, M. Lehtonen, J. Contreras and J. R. S. Mantovani. «Carbon Footprint Management: A Pathway Toward Smart Emission Abatement» in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. – Vol. 16, no. 2, pp. 935-948, Feb. 2020, doi: 10.1109/TII.2019.2922394. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8735936>
- [5] Muhammad Bakr Abdelghany, Ahmed Al-Durra, «A coordinated optimal operation of a grid-connected wind-solar microgrid incorporating hybrid energy storage management systems». *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, January 2023. – Vol. 99, pp. 1-13. DOI:10.1109/TSTE.2023.3263540.
- [6] Ahmed S. Alahmed and Lang Tong, «Co-optimizing Behind-The-Meter Resources under Net Metering». *IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2023*. – Memorial Student Center at Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Feb 13 – Feb 14, 2023. – P. 42-48. DOI: 10.1109/TPEC56611.2023.10078677.
- [7] T. S. Biya; M. R. Sindhu, «Design and Power Management of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with Energy Storage System». 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2019. – Coimbatore, India, 12-14 June 2019. – P. 815-820. DOI: 10.1109/ICECA.2019.8821896.
- [8] Hoang Tien Nguyen; Dae-Hyun Choi, «Distributionally Robust Model Predictive Control for Smart Electric Vehicle Charging Station with V2G/V2V Capability». *IEEE Transactions on Smart Grid*, 31 March 2023. – P. 1-13. DOI: 10.1109/TSG.2023.3263470.
- [9] L. Valverde, F. Rosa, C. Bordons, and J. Guerra, «Energy management strategies in hydrogen smart-grids: A laboratory experience». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 31, pp. 13715-13725, 2016.
- [10] M. F. Shehzad, M. B. Abdelghany, D. Liuzza, and L. Glielmo. «Modeling of a hydrogen storage wind plant for model predictive control management strategies». in 2019 18th European Control Conference (ECC), June 2019, pp. 1896-1901.
- [11] M. Mureddu, G. Caldarelli, A. Chessa, A. Scala, A. Damiano, «Green Power Grids: How Energy from Renewable Sources Affects Networks and Markets» in *PLoS ONE* 10(9): e0135312, Sept. 3, 2015, 15 p. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135312>
- [12] Vyacheslav Zyryanov, Natalya Kiryanova, Igor Korotkov, Gleb Nesterenko, Gleb Prankevich, Iliia Rudiuk. «Analysis of Energy Storage Systems Application in the Russian and World Electric Power Industry». *PROCEEDINGS OF THE 2020 URAL SMART ENERGY CONFERENCE, USEC 2020*. – Ekaterinburg, November 13-15, 2020. – P. 106-109. DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281175.
- [13] Nhat Le, Alexis Plasencia Leos, Juan Henriquez, Anh Phuong Ngo, Hieu T. Nguyen, «Analyze the Effects of COVID-19 on Energy Storage Systems: A Techno-Economic Approach». *IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2023*. – Memorial Student Center at Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Feb 13 – Feb 14, 2023. – P. 322-328. DOI:10.1109/TPEC56611.2023.10078507.
- [14] Shi Xuewei, Shi Xuefang, Dong Wenqi, Zang Peng, Jia Hongyan, Wu Jinfang, Wang Yang, «Research on Energy Storage Configuration Method Based on Wind and Solar Volatility». 10th International Conference on Power and Energy Systems, ICPEs 2020, Chengdu, China, 25-27 December 2020. – P. 464-468. DOI: 10.1109/ICPEs51309.2020.9349645.
- [15] M. Yang, L. Zhang, Z. Zhao, and L. Wang, «Comprehensive benefits analysis of electric vehicle charging station integrated photovoltaic and energy storage». *J. Clean. Prod.*, vol. 302, no. 126967, pp. 1-12, Jun. 2021.
- [16] D. Zhai, L. Yao, S. Liao, J. Xu, B. Mao and B. Xie. «A Coordinated Control Strategy of Wind Power / Hydrogen Integrated System». 2022 7th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), Shanghai, China, 2022, pp. 838-843, doi: 10.1109/ICPRE55555.2022.9960576. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9960576>
- [17] Hamza Bouzeria; Issam Abadlia; Mohamed Adjabi «Echo state network based power control and energy management in grid-connected a hybrid wind-hydrogen power generation system». 2018 International Conference on Wind Energy and Applications in Algeria (ICWEAA), 6-7 November 2018, doi: 10.1109/ICWEAA.2018.8605092
- [18] C. Liu, K. Chau, D. Wu, and S. Gao, «Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies». *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 11, pp. 2409-2427, Nov. 2013.
- [19] Q. Yan, B. Zhang, and M. Kezunovic, «Optimized operational cost reduction for an EV charging station integrated with battery energy storage and PV generation». *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 10, no. 2,

pp. 2096-2106, Mar. 2018.

[20] M. Bazrafshan and N. Gatsis. «Decentralized stochastic optimal power flow in radial networks with distributed generation». *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 2, pp. 787-801, Mar. 2016.

[21] Zhaodi Shi, Weisheng Wang, Yuehui Huang, Pai Li; Ling Dong, «Simultaneous optimization of renewable energy and energy storage capacity with the hierarchical control». *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, Volume: 8, Issue: 1, January 2022. – P. 95-104. DOI: 10.17775/CSEEJPES.2019.01470.

[22] C. Bordons, F. Garcia-Torres, and M. A. Ridao, *Model Predictive Control of Microgrids*. Springer, 2020.

[23] C. Mu, W. Liu, and W. Xu. «Hierarchically adaptive frequency control for an EV-integrated smart grid with renewable energy». *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 14, no. 9, pp. 4254-4263, Sep. 2018.

[24] J. Li, M. E. Khodayar, J. Wang, and B. Zhou, «Data-driven distributionally robust co-optimization of P2P energy trading and network operation for interconnected microgrids». *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 12, no. 6, pp. 5172-5184, Nov. 2021.

[25] K. Garifi, K. Baker, D. Christensen, and B. Touri. «Convex relaxation of grid-connected energy storage system models with complementarity constraints in DC OPF». *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 5, pp. 4070-4079, Sep. 2020.

[26] J. Zhai, Y. Jiang, Y. Shi, C. N. Jones, and X. -P. Zhang. «Distributionally robust joint chance-constrained dispatch for integrated transmission distribution systems via distributed optimization». *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 13, no. 3, pp. 2132-2147, May 2022.

[27] H. Farzin, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Moeni-Aghtaie, «A practical scheme to involve degradation cost of lithium-ion batteries in vehicle-to-grid applications». *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1730-1738, Oct. 2016.

[28] Oluwatimilehin Adeosun, Valentina Cecchi, «Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays using Numerical Iterative Method». *IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2023*. – Memorial Student Center at Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Feb 13 – Feb 14, 2023. – P. 13-18. DOI: 10.1109/TPEC56611.2023.10078545.

[29] H. T. Nguyen and D.-H. Choi. «Decentralized distributionally robust coordination between distribution system and charging station operators in unbalanced distribution systems». *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 2164-2177, to be published, doi: 10.1109/TSG.2022.3210232, 2022.

[30] M. Mehrasa, H. Salehfar, D. F. Selvaraj and S. I. Ahmed. «Smart bidirectional charging for frequency support of a low-inertia vehicle-to-grid system in presence of energy storage systems». *2023 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, College Station, TX, USA, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/TPEC56611.2023.10078605. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10078605>

[31] Wang T., O'Neill D., Kamath H. *Dynamic Control and Optimization of Distributed Energy Resources in a Microgrid // IEEE Trans. on Smart Grid*. – 2015. 6, – No 6. – P. 2884-2894. DOI: 10.1109/TSG.2015.2430286.

[32]. Коробков Д. В. Методика и результаты анализа качества выходной энергии автономных систем электроснабжения переменного напряжения с модульными статическими преобразователями в установившемся режиме // *Methodology and results of analysis of output energy quality of autonomous AC power supply systems with modular static converters in steady-state mode / Д. В. Коробков*. – DOI 10.17588/2072-2672.2023.1.011-024. – Текст: непосредственный // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2023. – № 1. – С. 11-24.

[33]. Dai M., Marwali M. N., Jung J. -W., Keyhani A. A *Three-Phase Four-Wire Inverter Control Technique for a Single Distributed Generation Unit in Island Mode // IEEE Trans. on Power Electronics*. – 2008. 23. – No 1. – P. 322-331. DOI: 10.1109/TPEL.2007.911816

[34]. M. Parvez, M. F. M. Elias, N. A. Rahim, F. Blaabjerg, D. Abbott and S. F. Al-Sarawi. «Comparative Study of Discrete PI and PR Controls for Single-Phase UPS Inverter» in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 45584-45595, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964603.

[35]. M. R. Miveh, M. F. Rahmat, M. W. Mustafa, A. A. Ghadimi, and A. Rezvani. «An Improved Control Strategy for a Four-Leg Grid-Forming Power Converter under Unbalanced Load Conditions». *Adv. Power Electron.*, vol. 2016, pp. 1-14, 2016.

[36] Nos O. V., Shtein D. A., Leus G. S. et al. The simplified control technique for PMSM torque ripple reduction // *Proc. of the 21st Int. Conf. of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*. Chemal, Russia, 29 June-03 July 2020. pp. 475-481.

[37] Sevostyanov N. A., Gorbunov R. L. Resonant controllers design for frequency-selective impedance controlled DC microgrids // *IEEE 22 International conference of young professionals in electron devices and materials (EDM) : proc.*, Altai Region, 30 June – 4 July 2021. – Novosibirsk: IEEE, 2021. – P. 348-353. DOI: 10.1109/EDM52169.2021.9507639.

[38] Pereira L. F. A., Bazanella A. S. Tuning rules for proportional resonant controllers // *IEEE Trans. Control Systems Technol.* – 2015. 23, N 5. – P. 2010-2017.

[39]. A. G. Garganeev, R. Aboelsaud and A. Ibrahim. «Voltage Control of Autonomous Three-Phase Four-Leg VSI Based on Scalar PR Controllers». *2019 20th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*, 2019, pp. 558-564, doi: 10.1109/EDM.2019.8823098.

[40]. Nos O. V., Makys P., Kharitonov S. A. Modified resonant controllers with time delay compensation // *18 International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED2021): proc.*, Ekaterinburg, 2427 May 2021. – 2021. –



pp. 1-5. DOI: 10.1109/ACED50605.2021.9462290.

[41]. Meerov M. V. (1967) Structural Synthesis of High-Accuracy Automatic Control Systems. 2nd ed., add. and reworked, Nauka, Moscow, 423 p. (in Russian)

[42]. Yurkevich V. D. Calculation and tuning of controllers for nonlinear systems with different-rate processes // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. September 2012, Volume 48, Issue 5, pp 447-453. DOI: 10.3103/s8756699012050032 (<http://link.springer.com/article/10.3103%2FS8756699012050032>)

[43] Francis B. A., Wonham W. M. The internal model principle of control theory // Automation. 1979, Vol. 12, no. 5, pp. 457- 465

[44] Costa-Castello R., Olm J. M., Vargas H., Ramos G. A. An Educational Approach to the Internal Model Principle for Periodic Signals // International Journal of

Innovative Computing, Information and Control. – 2012. – V. 8. – № 8.

[45] Mandel Y., Weiss G. Adaptive Internal Model Based Suppression of Torque Ripple in Brushless DC Motor Drives // Systems Science & Control Engineering. – 2015. – V. 3, no. 1, pp. 162-176.

[46]. ГОСТ 32132.3-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Низковольтные источники питания постоянного тока. Требования и методы испытаний. – Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 40 с.

[47]. Vavilov O. A., Korobkov D. V., Yurkevich V. D. Two-Level Voltage Inverter: Parametric Synthesis of Filter and Controllers // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation, pp. 372-377, June 2022.

References

[1] E. L. Gonz'alez, F. I. Llerena, M. S. P'erez, F. R. Iglesias, and J. G. Macho, «Energy evaluation of a solar hydrogen storage facility: Comparison with other electrical energy storage technologies,» International Journal of Hydrogen Energy, vol. 40, no. 15, pp. 5518-5525, 2015.

[2] B. Hamad, A. Al-Durra, T. H. M. EL-Fouly, and H. H. Zeineldin, «Economically optimal and stability preserving hybrid droop control for autonomous microgrids,» IEEE Transactions on Power Systems, vol. 38, no. 1, pp. 934-947, 2023.

[3]. Fang, K.; Heijungs, R.; De Snoo, G.R. (2014). «Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family». Ecological Indicators. 36: pp. 508-518, doi:10.1016/j.ecolind.2013.08.017.

[4]. M. Pourakbari-Kasmaei, M. Lehtonen, J. Contreras and J. R. S. Mantovani, «Carbon Footprint Management: A Pathway Toward Smart Emission Abatement,» in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 16, no. 2, pp. 935-948, Feb. 2020, doi: 10.1109/TII.2019.2922394. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8735936>

[5] Muhammad Bakr Abdelghany, Ahmed Al-Durra, «A coordinated optimal operation of a grid-connected wind-solar microgrid incorporating hybrid energy storage management systems», IEEE Transactions on Sustainable Energy, January 2023. – vol. 99, pp. 1-13. DOI:10.1109/TSTE.2023.3263540.

[6] Ahmed S. Alahmed and Lang Tong, «Co-optimizing Behind-The-Meter Resources under Net Metering», IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2023. – Memorial Student Center at Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Feb 13 – Feb 14, 2023. – P. 42–48. DOI: 10.1109/TPEC56611.2023.10078677.

[7] T. S. Biya; M. R. Sindhu, «Design and Power Management of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with Energy Storage System», 3rd International

conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2019. – Coimbatore, India, 12-14 June 2019. – P. 815-820. DOI: 10.1109/ICECA.2019.8821896.

[8] Hoang Tien Nguyen; Dae-Hyun Choi, «Distributionally Robust Model Predictive Control for Smart Electric Vehicle Charging Station with V2G/V2V Capability», IEEE Transactions on Smart Grid, 31 March 2023. – P. 1-13. DOI: 10.1109/TSG.2023.3263470.

[9] L. Valverde, F. Rosa, C. Bordons, and J. Guerra, «Energy management strategies in hydrogen smart-grids: A laboratory experience,» International Journal of Hydrogen Energy, vol. 41, no. 31, pp. 13715-13725, 2016.

[10] M. F. Shehzad, M. B. Abdelghany, D. Liuzza, and L. Glielmo, «Modeling of a hydrogen storage wind plant for model predictive control management strategies,» in 2019 18th European Control Conference (ECC), June 2019, pp. 1896-1901.

[11] M. Mureddu, G. Caldarelli, A. Chessa, A. Scala, A. Damiano, «Green Power Grids: How Energy from Renewable Sources Affects Networks and Markets», in PLoS ONE 10(9): e0135312, Sept. 3, 2015, 15 p. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135312>

[12] Vyacheslav Zyryanov, Natalya Kiryanova, Igor Korotkov, Gleb Nesterenko, Gleb Prankevich, Ilia Rudiuk, «Analysis of Energy Storage Systems Application in the Russian and World Electric Power Industry», Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference, USEC 2020. – Ekaterinburg, November 13 – 15, 2020. – P. 106-109. DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281175.

[13] Nhat Le, Alexis Plasencia Leos, Juan Henriquez, Anh Phuong Ngo, Hieu T. Nguyen, «Analyze the Effects of COVID-19 on Energy Storage Systems: A Techno-Economic Approach», IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2023. – Memorial Student Center at Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Feb 13 – Feb 14, 2023. – P. 322-328. DOI:10.1109/



TPEC56611.2023.10078507.

[14] Shi Xuewei, Shi Xuefang, Dong Wenqi, Zang Peng, Jia Hongyan, Wu Jinfang, Wang Yang, «Research on Energy Storage Configuration Method Based on Wind and Solar Volatility», 10th International Conference on Power and Energy Systems, ICPEs 2020, Chengdu, China, 25-27 December 2020. – P. 464-468. DOI: 10.1109/ICPEs51309.2020.9349645.

[15] M. Yang, L. Zhang, Z. Zhao, and L. Wang, «Comprehensive benefits analysis of electric vehicle charging station integrated photovoltaic and energy storage.» J. Clean. Prod., vol. 302, no. 126967, pp. 1-12, Jun. 2021.

[16]. D. Zhai, L. Yao, S. Liao, J. Xu, B. Mao and B. Xie, «A Coordinated Control Strategy of Wind Power / Hydrogen Integrated System.» 2022 7th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), Shanghai, China, 2022, pp. 838-843, doi: 10.1109/ICPRE55555.2022.9960576. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9960576>

[17]. Hamza Bouzeria; Issam Abadlia; Mohamed Adjabi «Echo state network based power control and energy management in grid-connected a hybrid wind-hydrogen power generation system». 2018 International Conference on Wind Energy and Applications in Algeria (ICWEAA), 6-7 November 2018, doi: 10.1109/ICWEAA.2018.8605092

[18] C. Liu, K. Chau, D. Wu, and S. Gao. «Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies.» Proc. IEEE, vol. 101, no. 11, pp. 2409-2427, Nov. 2013.

[19] Q. Yan, B. Zhang, and M. Kezunovic, «Optimized operational cost reduction for an EV charging station integrated with battery energy storage and PV generation.» IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 2, pp. 2096-2106, Mar. 2018.

[20] M. Bazrafshan and N. Gatsis, «Decentralized stochastic optimal power flow in radial networks with distributed generation.» IEEE Trans. Smart Grid, vol. 8, no. 2, pp. 787-801, Mar. 2016.

[21] Zhaodi Shi, Weisheng Wang, Yuehui Huang, Pai Li; Ling Dong, «Simultaneous optimization of renewable energy and energy storage capacity with the hierarchical control», CSEE Journal of Power and Energy Systems, Volume: 8, Issue: 1, January 2022. – P. 95-104. DOI: 10.17775/CSEEJPES.2019.01470.

[22] C. Bordons, F. Garcia-Torres, and M. A. Ridao, Model Predictive Control of Microgrids. Springer, 2020.

[23] C. Mu, W. Liu, and W. Xu, «Hierarchically adaptive frequency control for an EV-integrated smart grid with renewable energy.» IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 14, no. 9, pp. 4254-4263, Sep. 2018.

[24] J. Li, M. E. Khodayar, J. Wang, and B. Zhou, «Data-driven distributionally robust co-optimization of P2P energy trading and network operation for interconnected microgrids.» IEEE Trans. Smart Grid, vol. 12, no. 6, pp. 5172–5184, Nov. 2021.

[25] K. Garifi, K. Baker, D. Christensen, and B. Touri, «Convex relaxation of grid-connected energy storage system models with complementarity constraints in DC OPF.» IEEE Trans. Smart Grid, vol. 11, no. 5, pp. 4070-4079, Sep. 2020.

[26] J. Zhai, Y. Jiang, Y. Shi, C. N. Jones, and X.-P. Zhang, «Distributionally robust joint chance-constrained dispatch for integrated transmission distribution systems via distributed optimization.» IEEE Trans. Smart Grid, vol. 13, no. 3, pp. 2132-2147, May 2022.

[27] H. Farzin, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Moeini-Aghtaie, «A practical scheme to involve degradation cost of lithium-ion batteries in vehicle-to-grid applications.» IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 7, no. 4, pp. 1730-1738, Oct. 2016.

[28] Oluwatimilehin Adeosun, Valentina Cecchi, «Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays using Numerical Iterative Method», IEEE Texas Power and Energy Conference, TPEC 2023. – Memorial Student Center at Texas A&M University, College Station, Texas, USA, Feb 13 – Feb 14, 2023. – P. 13-18. DOI: 10.1109/TPEC56611.2023.10078545.

[29] H. T. Nguyen and D.-H. Choi, «Decentralized distributionally robust coordination between distribution system and charging station operators in unbalanced distribution systems.» IEEE Trans. Smart Grid, pp. 2164-2177, to be published, doi: 10.1109/TSG.2022.3210232, 2022.

[30]. M. Mehra, H. Salehfar, D. F. Selvaraj and S. I. Ahmed, «Smart bidirectional charging for frequency support of a low-inertia vehicle-to-grid system in presence of energy storage systems.» 2023 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC), College Station, TX, USA, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/TPEC56611.2023.10078605. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10078605>

[31]. Wang T., O’Neill D., Kamath H. Dynamic Control and Optimization of Distributed Energy Resources in a Microgrid // IEEE Trans. on Smart Grid. 2015. 6, No 6, pp. 2884-2894. DOI: 10.1109/TSG.2015.2430286.

[32]. Korobkov D. V. Methodology and results of analysis of output energy quality of autonomous AC power supply systems with modular static converters in steady-state mode / Д. В. Коробков. – DOI 10.17588/2072-2672.2023.1.011-024. – 2023. – № 1. – P. 11-24.

[33]. Dai M., Marwali M. N., Jung J. -W., Keyhani A. A Three-Phase Four-Wire Inverter Control Technique for a Single Distributed Generation Unit in Island Mode // IEEE Trans. on Power Electronics. 2008. 23, No 1, pp. 322-331. DOI: 10.1109/TPEL.2007.911816

[34]. M. Parvez, M. F. M. Elias, N. A. Rahim, F. Blaabjerg, D. Abbott and S. F. Al-Sarawi, «Comparative Study of Discrete PI and PR Controls for Single-Phase UPS Inverter.» in IEEE Access, vol. 8, pp. 45584-45595, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964603.

[35]. M. R. Miveh, M. F. Rahmat, M. W. Mustafa, A. A. Ghadimi, and A. Rezvani, «An Improved Control Strategy for a Four-Leg Grid-Forming Power Converter



under Unbalanced Load Conditions,» Adv. Power Electron., vol. 2016, pp. 1-14, 2016.

[36] Nos O.V., Shtein D.A., Leus G.S. et al. The simplified control technique for PMSM torque ripple reduction // Proc. of the 21st Int. Conf. of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). Chemal, Russia, 29 June-03 July 2020, pp. 475-481.

[37] Sevostyanov N.A., Gorbunov R.L. Resonant controllers design for frequency-selective impedance controlled DC microgrids // IEEE 22 International conference of young professionals in electron devices and materials (EDM) : proc., Altai Region, 30 June – 4 July 2021. – Novosibirsk: IEEE, 2021. – pp. 348–353. DOI: 10.1109/EDM52169.2021.9507639.

[38] Pereira L.F. A., Bazanella A.S. Tuning rules for proportional resonant controllers // IEEE Trans. Control Systems Technol. 2015. 23, N 5. pp. 2010-2017.

[39] A. G. Garganeev, R. Aboelsaud and A. Ibrahim, «Voltage Control of Autonomous Three-Phase Four-Leg VSI Based on Scalar PR Controllers,» 2019 20th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2019, pp. 558-564, doi: 10.1109/EDM.2019.8823098.

[40] Nos O. V., Makys P., Kharitonov S. A. Modified resonant controllers with time delay compensation // 18 International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED2021) : proc., Ekaterinburg, 2427 May 2021. – 2021. – P. 1-5. DOI: 10.1109/ACED50605.2021.9462290.

[41] Meerov M.V. (1967) Structural Synthesis of High-Accuracy Automatic Control Systems. 2nd ed., add.

and reworked, Nauka, Moscow, 423 p. (in Russian)

[42]. Yurkevich V. D. Calculation and tuning of controllers for nonlinear systems with different-rate processes // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. September 2012, Volume 48, Issue 5, pp. 447-453. DOI: 10.3103/s8756699012050032 (<http://link.springer.com/article/10.3103%2FS8756699012050032>)

[43] Francis B. A., Wonham W. M. The internal model principle of control theory // Automation. 1979, Vol. 12, no. 5, pp. 457-465.

[44] Costa-Castello R., Olm J. M., Vargas H., Ramos G.A. An Educational Approach to the Internal Model Principle for Periodic Signals // International Journal of Innovative Computing, Information and Control. 2012. V. 8. № 8.

[45] Mandel Y., Weiss G. Adaptive Internal Model Based Suppression of Torque Ripple in Brushless DC Motor Drives // Systems Science & Control Engineering. 2015. V. 3, no. 1, pp. 162–176.

[46]. GOST 32132.3-2013. «Electromagnetic compatibility of technical equipment. Low voltage DC power supplies. Requirements and test methods». – Enter. 2014-01-01. – М.: Standartinform, 2014. – 40 p.

[47]. Vavilov O. A., Korobkov D. V., Yurkevich V. D. Two-Level Voltage Inverter: Parametric Synthesis of Filter and Controllers // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation, pp. 372-377, June 2022.

Транслитерация по BSI





ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ

RES BASED POWER COMPLEXES

Статья поступила в редакцию 02.01.2024. Ред. Пер. № 324-001-24

The article has entered in publishing office 02.01.2024. Ed. Reg. No 324-001-24

УДК 621.314.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СУММАТОР МОЩНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ПОВЫШАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРНЫХ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Зотов Л. Г., Большаков И. М.

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Тел +7-962-829-89-22, +7-913-786-97-57,
zotovlg@mail.ru, ivan_bolshakov_99@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.051-061

Заключение совета рецензентов: 15.01.24

Заключение совета экспертов: 26.01.24

Принято к публикации: 30.01.24

Предложен новый принцип построения энергоэффективных и малогабаритных конденсаторных DC-DC преобразователей способных выполнить не только функцию преобразования выходного напряжения нескольких различных по выходным параметрам альтернативных источников постоянного напряжения, имеющих общую заземленную шину, но и обеспечить сложение их мощностей в общей нагрузке. Предложен принцип многотактного построения СПКП, обеспечивающий дополнительное улучшение их массогабаритных показателей в условиях увеличенной мощности альтернативных источников. Показано, что эффект достигается кратным увеличением частоты преобразования отдельных модулей СПКП и практическим исключением громоздкого выходного конденсатора благодаря резкому уменьшению и кратному увеличению частоты первой гармоники суммарного выходного тока. Получены аналитические выражения, позволяющие произвести расчет параметров реактивных элементов СПКП, произвести анализ и количественную оценку их коэффициента полезного действия.

Ключевые слова: Суммирование мощности первичных источников, DC-DC преобразователи, структуры с переключаемыми конденсаторами, альтернативные источники электроэнергии, принцип многотактного построения силовой цепи.

Зотов Л. Г., Большаков И. М. Энергоэффективный сумматор мощности альтернативных источников электрической энергии на основе повышающих конденсаторных dc-dc преобразователей // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с.51-61

Zotov L. G., Bolshakov I. M. Energy-efficient power summator of alternative power sources based on step-up capacitor dc-dc converters // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 51-61

ENERGY-EFFICIENT POWER SUMMATOR OF ALTERNATIVE POWER SOURCES BASED ON STEP-UP CAPACITOR DC-DC CONVERTERS

Zotov L. G., Bolshakov I. M.

Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, K. Marx avenue, 20
Tel.: +7-962-829-89-22, +7-913-786-97-57, zotovlg@mail.ru, ivan_bolshakov_99@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.051-061

Referred: 15.01.24

Received in revised form: 26.01.24

Accepted: 30.01.24

Proposed a new principle of the energy efficient and small-sized capacitor DC-DC converters that are able to perform not only the conversion function of the output voltage of the several different output parameters of alternative DC voltage sources having a common grounded bus, but also to provide the summation of their power in a common load. Proposed the principle of multi-cycle SSCDC construction, which provides additional improvement of their mass-size characteristics under the increased power of alternative sources conditions. It is shown that the effect is achieved by a multiple increase in the conversion frequency of individual SSCDC modules and practical elimination of the large output capacitor by means of a sharp decrease and multiple increase in the first harmonic frequency of the total output current. The analytical expressions that allow to calculate the reactive elements parameters, analyze and quantify their efficiency has been obtained.

Keywords: Primary source power summing, DC-DC converters, switched capacitor structures, alternative power sources, multi-cycle power circuit design principle.



Зотов
Леонид Григорьевич
Zotov Leonid

Сведения об авторе: д.т.н., профессор кафедры теоретических основ радиотехники НГТУ.

Образование: инженер по специальности «Электрофизика», НГТУ, г. Новосибирск, 1971, д.т.н., 2018.

Область научных интересов: автономные конденсаторные устройства и системы силовой электроники с использованием альтернативных источников электроэнергии.

Публикации: 90.
Индекс Хирша: 9.

Information about the author: Dr. of Technical sciences, Prof., of the Theoretical Basis of Radio Engineering Department of NSTU.

Education: engineer in Electrophysics, NSTU, Novosibirsk, 1971, Dr. of Technical sciences, 2018.

Research interests: autonomous capacitor devices and power electronics systems using alternative power sources.

Publications: 90.
H-index: 9.



Большаков
Иван Михайлович
Bolshakov Ivan

Сведения об авторе: аспирант кафедры теоретических основ радиотехники НГТУ.

Образование: магистр по специальности «Электроника и наноэлектроника», НГТУ, г. Новосибирск, 2023.

Область научных интересов: конденсаторные преобразователи напряжения альтернативных источников.

Публикации: 8.
Индекс Хирша: 1.

Information about the author: graduate student of the Theoretical Basis of Radio Engineering Department of NSTU.

Education: master's degree in Electronics and Nanoelectronics, NSTU, Novosibirsk, 2023.

Research interests: capacitor voltage converters of alternative sources.

Publications: 8.
H-index: 1.

Введение

При создании автономных SmartGrid систем электроснабжения, питаемых от одинаковых или различных по их выходному напряжению, току и мощности низковольтных альтернативных источников постоянного напряжения (водородные топливные элементы, аккумуляторы, солнечные модули и т.д.) [1-17] необходимы энергоэффективные и малогабаритные DC-DC преобразователи, способные выпол-

нить не только функцию преобразования выходного напряжения указанных источников, но и сложения их мощностей в общей нагрузке.

Сформулированная научно-техническая задача эффективно решается на основе суммирующих повышающих конденсаторных DC-DC преобразователей (СПКП) [18-26].

Таблица сокращений

Термины			
DC-DC преобразователи	Преобразователи (DC – direct current) постоянного тока	I_1, I_2, I_3	Входные токи первого, второго и третьего ПКП однотактного СПКП, А
SSCDC	Summing step-up capacitor DC-DC converter	$I_{11}, I_{21}, I_{31}, I_{12}, I_{22}, I_{23}, I_{13}, I_{23}, I_{33}$	Входные токи первого, второго и третьего модулей (строка) для первого, второго и третьего СПКП (столбец) трехтактного СПКП, А
ВАХ	Вольт-амперная характеристика	I_{1i}, I_{2i}, I_{3i}	Входные токи модулей i-го СПКП многотактного СПКП, А
КПД	Коэффициент полезного действия	$I_{1OUT}, I_{2OUT}, I_{3OUT}$	Выходные токи первого, второго и третьего ПКП трехтактного СПКП
ПКП	Повышающий конденсаторный преобразователь	$I_1(t), I_2(t), I_3(t)$	Функция входных токов первого, второго и третьего ПКП однотактного СПКП
РЦ	Резонансная цепочка	$I_{11}(t), I_{21}(t), I_{31}(t), I_{12}(t), I_{22}(t), I_{23}(t), I_{13}(t), I_{23}(t), I_{33}(t)$	Функции входных токов первого, второго и третьего модулей (строка) для первого, второго и третьего ПКП (столбец) трехтактного СПКП, А
СПКП	Суммирующий конденсаторный DC-DC преобразователь	$I_{1i}(t), I_{2i}(t), I_{3i}(t)$	Функции входных токов модулей i-го СПКП трехтактного СПКП
Буквы латинского алфавита		$I_{1OUT}(t), I_{2OUT}(t), I_{3OUT}(t)$	Функции выходных токов первого, второго и третьего СПКП трехтактного СПКП
C_1	Емкость параллельного соединения конденсаторных модулей одной РЦ, мкФ	$I_{1\Sigma}(t), I_{2\Sigma}(t), I_{3\Sigma}(t)$	Суммарные входные токи первого, второго и третьего источников напряжения трехтактного СПКП, А
C_f	Емкость выходного конденсатора СПКП, мкФ	$I_{12\Sigma}(t), I_{22\Sigma}(t), I_{32\Sigma}(t)$	Функции суммарных входных токов первого, второго и третьего источников напряжения трехтактного ПКП, А
D_1, D_2, D_3	Коэффициенты в выражении для среднего значения выходного напряжения трехтактного СПКП	I_{av}	Среднее значение тока через полупроводниковые элементы СПКП, А
E_1, E_2, E_3	Напряжение первого, второго и третьего источников, В	I_{C1}	Ток заряда конденсатора C_1 в составе РЦ ПКП, А
$E_{Dc1}, E_{Dc2}, E_{Dc3}$	ЭДС отсечки сопротивления зарядных диодов первого, второго и третьего ПКП при кусочно-линейной аппроксимации его ВАХ, В	$I_{C1}(t)$	Функция тока заряда конденсатора C_1 , А
E_{Dci}	ЭДС отсечки сопротивления зарядного диода i-го ПКП, В	I_{max}	Амплитудное значение тока через полупроводниковые элементы СПКП, А
E_{Dd}	ЭДС отсечки разрядного диода при кусочно-линейной аппроксимации его ВАХ, В	I_{OUT}	Среднее значение выходного тока однотактного СПКП, А
E_K	Напряжение оконечного источника, В	$I_{OUT}(t)$	Функция выходного тока однотактного СПКП, А
E_i	Напряжение i-го источника, В		
f_{TR}	Частота преобразования – частота коммутации транзисторов СПКП, кГц		
i	Номер источника / ПКП в составе СПКП; $i = (1 \div K)$, K – номер оконечного источника / ПКП		





$I_{\Sigma OUT}$	Среднее значение суммарного тока нагрузки многотактного СПКП, А
$I_{\Sigma OUT}(t)$	Функция среднего суммарного тока нагрузки многотактного СПКП, А
k	Количество тактов преобразования в многотактном СПКП
K	Номер оконечного источника/ПКП
L_i	Индуктивность дросселя в одной РЦ, нГн
N_1, N_2, N_3	Максимальное количество РЦ в первом, втором и третьем ПКП
N_i	Количество РЦ в i-ом ПКП
N_K	Количество РЦ в оконечном ПКП
n_c	Количество параллельно соединенных конденсаторных модулей в одной РЦ
P_i	Мощность, отдаваемая i-ым источником E_i , Вт
P_{INK}	Мощность, потребляемая СПКП от оконечного альтернативного источника $E_{i\alpha}$, Вт
P_{INi}	Мощность, потребляемая СПКП от i-го источника E_i , Вт
P_{OUT}	Суммарная выходная мощность многотактного СПКП, Вт
$P_{IN\Sigma}$	Суммарная входная мощность СПКП, Вт
$P_{\Delta C}$	Допустимая реактивная мощность конденсаторного модуля, Вар
P_{Σ}	Суммарная мощность СПКП, Вт
$r_{Dc1}, r_{Dc2}, r_{Dc3}$	Динамические сопротивления зарядного диода первого, второго и третьего ПКП при кусочно-линейной аппроксимации его ВАХ, Ом
r_{Dci}	Динамическое сопротивление зарядного диода i-го ПКП, Ом
r_{Dd}	Динамическое сопротивление разрядного диода, Ом
$r_{Te1}, r_{Te2}, r_{Te3}$	Сопротивления зарядного транзисторного ключа 4 в составе первого, второго и третьего ПКП, Ом

r_{Tei}	Сопротивление зарядного транзисторного ключа 4 в составе i-го ПКП, Ом
r_{Td}	Сопротивление разрядного транзисторного ключа 5 в составе СПКП, Ом
T_{TR}	Период частоты преобразования СПКП, мкс
U_{OUT}	Среднее значение напряжения нагрузки СПКП, В.
ΔC	Емкость конденсаторного модуля, мкФ
Буквы греческого алфавита	
η	Коэффициент полезного действия
π	Число $\pi=3.1415926$
Единицы измерения	
А	Ампер
В	Вольт
Вар	Вольт-ампер реактивный
кГц	килогерц
мкс	Микросекунда
мкФ	Микрофарад
нГн	Наногенри
Ом	Ом
Нижние индексы	
1, 2, 3	Первый, второй и третий источники напряжения / ПКП
av	Среднее значение
c	Зарядный диод / транзистор
C	Конденсатор
d	Разрядный диод / транзистор
D	Диод
f	Выходной фильтр СПКП
K	Оконечный источник/ПКП
i	Номер ПКП в составе СПКП
IN	Вход СПКП
max	Амплитудное значение
OUT	Нагрузка (выход) СПКП
T	Транзистор
TR	Преобразование (transformation)
ΔC	Конденсаторный модуль
Σ	Сумма



Числовые обозначения на принципиальных схемах	
1	Зарядные диоды ПКП
2	Конденсаторы ПКП
3	Дроссели ПКП
4	Зарядные транзисторы ПКП

5	Разрядные транзисторы ПКП
6	Разрядный диод ПКП
7, 8, 9	Вход первого, второго и третьего ПКП
10	Нагрузка ПКП
11	Земля СПКП

1. Метод построения и принцип работы одноканальных СПКП

Принципиальная схема силовой цепи простейшего одноканального СПКП, осуществляющего преобразование напряжений и сложение мощностей трех различных по параметрам и преобразованных в источники постоянного напряжения водородных топливных элементов E_1, E_2 и E_3 , приведена на рис. 1.

Она состоит из трех альтернативных низковольтных источников E_1, E_2 и E_3 [27-30], имеющих общую заземленную шину, каждый из которых подключен к своему повышающему конденсаторному DC-DC преобразователю (ПКП). В общем случае он состоит из N_i ($i=1...K$) резонансных цепочек (РЦ), соединенных друг с другом через разрядный ключ 5 [25].

Резонансные цепочки представляют собой последовательные колебательные контуры, состоящие из диода 1, конденсатора 2, реактора 3 и транзисторного ключа 4.

Каждый из ПКП работает по принципу параллельного заряда его конденсаторов от соответствующего источника E_i с их последующим разрядом на общую нагрузку. Количество РЦ N_i в промежуточном преобразователе ПКП выбирается пропорционально мощности P_i водородного топливного элемента преобразованного в альтернативный источник постоянного напряжения E_i .

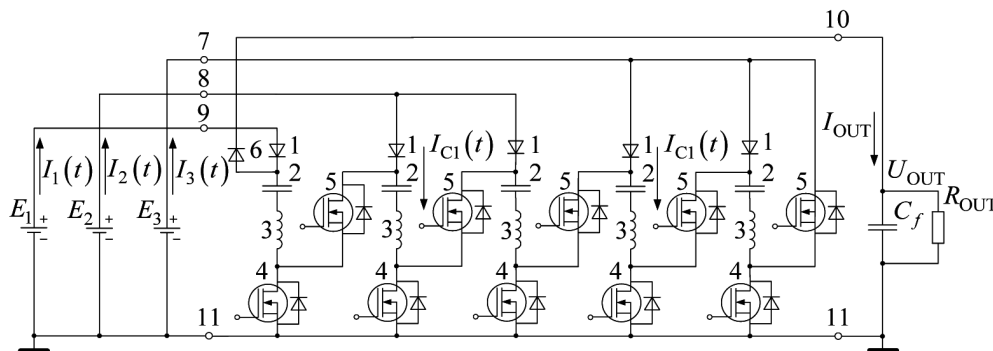


Рис. 1. Принципиальная схема силовой цепи одноканального СПКП
Fig. 1. Principal circuit diagram of the single-cycle SSCDC

С целью сокращения количества элементов самого мощного оконечного преобразователя ПКПЗ разряд его конденсаторов на нагрузку происходит через последовательно соединенный с ними альтернативный источник постоянного напряжения E_3 . Это обеспечивает последовательное соединение по выходу всех ПКП и уменьшает количество РЦ в ПКПЗ на единицу.

СПКП работает следующим образом. В течение половины периода T_{TR} частоты преобразования СПКП f_{TR} равной частоте коммутации его полупроводниковых элементов открываются все зарядные транзисторные ключи 4. В результате током кусочно-синусоидальной формы происходит параллельный заряд конденсаторов всех ПКП до напряжения E_i питающих их альтернативных

источников. Затем в течение второй половины периода T_{TR} открываются все разрядные ключи 5, и током также кусочно-синусоидальной формы осуществляется последовательный разряд указанных конденсаторов на общую нагрузку.

В результате величина среднего значения напряжения на нагрузке одноканального СПКП приблизительно оказывается равной сумме напряжений всех его конденсаторов

$$U_{OUT} ; [N_1 \cdot E_1 + N_2 \cdot E_2 + (N_3 + 1) \cdot E_3]. \quad (1)$$

Важная особенность СПКП состоит в том, что параметры кусочно-синусоидальных импульсов тока через все полупроводниковые элементы его ПКП независимо от количества РЦ участвующих в преобразовании N_i и напряжений E_i питающих их

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

альтернативных источников совпадают с параметрами аналогичных импульсов выходного тока $I_{OUT}(t)$.

Именно поэтому мощность отдаваемая отдельным промежуточным источником имеющим напряжение E_i в нагрузку СПКП определяется его средним значением I_{OUT} и количеством резонансных цепочек преобразователя N_i т.е.

$$P_i = N_i \cdot E_i \cdot I_{OUT} = N_i \cdot E_i \cdot \frac{U_{OUT}}{R_{OUT}}, \quad (2)$$

здесь U_{OUT}, I_{OUT} — средние значения выходного напряжения и тока СПКП, R_{OUT} — сопротивление нагрузки однотактного СПКП.

Мощность, потребляемая СПКП от оконечного альтернативного источника E_K , определяется следующим выражением

$$\begin{aligned} P_{INK} &= (N_K + 1) \cdot E_K \cdot I_{OUT} = \\ &= (N_K + 1) \cdot E_K \cdot \frac{U_{OUT}}{R_{OUT}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение для суммарной входной мощности, потребляемой от альтернативных источников СПКП, может быть представлено в следующем виде

$$\begin{aligned} P_{IN\Sigma} &= \sum_{i=1}^3 P_{INi} = \\ &= [N_1 \cdot E_1 + N_2 \cdot E_2 + (N_3 + 1) \cdot E_3] \cdot I_{OUT} = \\ &= [N_1 \cdot E_1 + N_2 \cdot E_2 + (N_3 + 1) \cdot E_3]^2 \cdot \frac{1}{R_{OUT}}. \end{aligned} \quad (4)$$

2. Многотактные СПКП

Значительно лучшими свойствами по энергоэффективности и миниатюризации в условиях применения мощных альтернативных источников E_i обладают многотактные СПКП [25].

Коэффициент полезного действия СПКП определяется выражением

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN\Sigma}} = \frac{U_{OUT}}{N_1 \cdot E_1 + N_2 \cdot E_2 + (N_3 + 1) \cdot E_3}, \quad (5)$$

здесь $P_{OUT} = U_{OUT} \cdot I_{OUT}$ — суммарная выходная мощность многотактного СПКП.

Поскольку выходные токи всех преобразователей ПКП имеют одинаковые средние значения I_{OUT} , то величины емкости C_1 и индуктивности L_1 их резонансных цепочек являются одинаковыми и не зависят от напряжения E_i альтернативных источников и их количества N_i .

Из анализа формул (2–4) следует, что наращивание суммарной мощности P_Σ в нагрузку однотактного СПКП при использовании более мощных отдельных источников P_i может быть реализовано увеличением количества РЦ N_i и тока нагрузки I_{OUT} . Однако согласно (1) рост N_i ограничен величиной выходного напряжения U_{OUT} , а увеличение тока нагрузки I_{OUT} приводит к необходимости применения в силовой цепи однотактного СПКП более мощных и следовательно низкочастотных полупроводниковых элементов. Все это отрицательно сказывается на энергоэффективности и массогабаритных показателях однотактного СПКП рис.1. низкочастотных полупроводниковых элементов. Все это отрицательно сказывается на энергоэффективности и массогабаритных показателях однотактной СПКП рис. 1.

Принципиальная схема силовой цепи трехтактного СПКП приведена на рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие его работу даны на рис. 3.

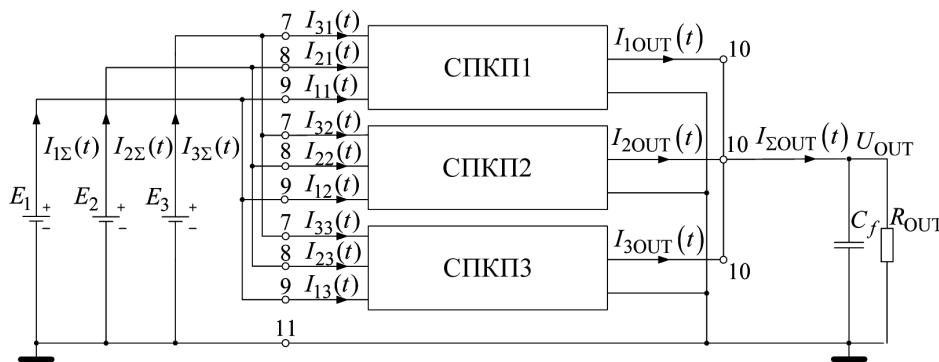


Рис. 2. Структурная схема силовой цепи трехтактного СПКП
Fig. 2. Structural diagram of the three-cycle SSCDC

Он состоит из трех параллельно соединенных по входу и выходу одинаковых одноктактных модулей СПКП1 - СПКП3, каждый из которых выполнен по схеме рис.1.

Целесообразность и привлекательность многотактных СПКП обусловлены появлением синергетических эффектов, в значительной степени способствующих улучшению их энергоэффективности и миниатюризации.

Первый эффект связан с уменьшением мощности модулей СПКП в количество тактов преобразования k . Это дает возможность дополнительного снижения номиналов реактивных элементов примерно в k раз благодаря увеличению частоты преобразования отдельных модулей вследствие применения маломощных и, следовательно, более высокочастотных полупроводниковых элементов в составе их силовой цепи.

Второй синергетический эффект обусловлен тем, что работа модулей многотактного СПКП равномерно распределена по периоду их частоты преобразования

на величину сдвига $\Delta t = \frac{T_{TR}}{k} = \frac{T_{TR}}{3}$. Для суммарного выходного тока $I_{\Sigma OUT}(t)$, состоящего из равномерно распределенных во времени импульсов кусочно-синусоидальной формы $I_{1OUT}(t), I_{2OUT}(t), I_{3OUT}(t)$ одноктактных СПКП это приводит к резкому уменьшению амплитуды и увеличению частоты его первой гармоники в $2 \cdot k$ раз [25]. В результате появляется возможность практического исключения громоздкого выходного конденсатора C_f .

При этом достигается значительное улучшение массогабаритных показателей многотактного СПКП по сравнению с его одноктактным аналогом.

Энергоэффективность многотактного СПКП также, как и одноктактного обеспечивается мягкой коммутацией всех его полупроводниковых элементов.

С целью конструктивной миниатюризации многотактных СПКП их конденсаторы обычно выполняют в виде параллельного соединения нескольких n_C конденсаторных модулей обладающих каждый емкостью $\Delta \tilde{N}$ и допустимой реактивной мощностью P_{AC} . При этом параметры реактивных элементов многотактного СПКП определяются по следующим формулам [25]

$$\begin{aligned}
 C_1 &= n_C \cdot \Delta C, & (6) \\
 L_1 &= \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{TR}^2 \cdot n_C \cdot \Delta C}, \\
 C_f &= 3 \cdot \frac{C_1}{N_1 + N_2 + N_3}, \\
 n_C &= I_{\Sigma OUT} \cdot \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{f_{TR} \cdot P_{AC} \cdot \Delta C}}.
 \end{aligned}$$

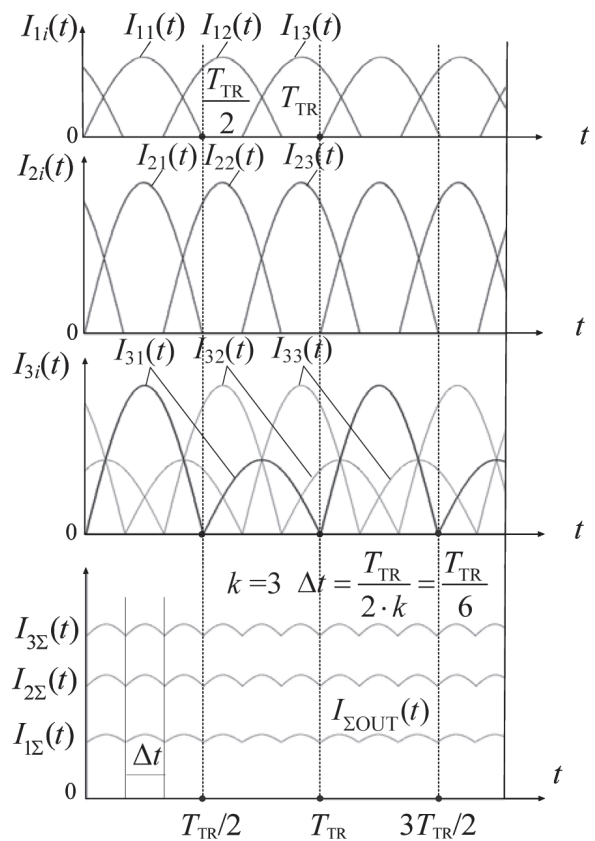


Рис.3. Временные диаграммы трехтактного СПКП
Fig 3. Waveforms of a three-cycle SSCDC

Среднее и амплитудное значения импульсов кусочно-синусоидального тока через все полупроводниковые элементы многотактного СПКП определяется средним значением суммарного тока его нагрузки

$I_{\Sigma OUT}$ и числом тактов преобразования k , т.е.

$$\begin{aligned}
 I_{av} &= \frac{1}{k} \cdot I_{\Sigma OUT}, & (7) \\
 I_{max} &= \frac{\delta}{k} \cdot I_{\Sigma OUT}.
 \end{aligned}$$

Точное выражение для среднего значения выходного напряжения U_{OUT} трехтактного СПКП полученное в рамках кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперной характеристики его диодов имеет вид

$$\begin{aligned}
 U_{OUT} &= \frac{N_1 \cdot E_1 + N_2 \cdot E_2 + (N_3 + 1) \cdot E_3}{1 + \frac{1}{k} \cdot \frac{\pi^2}{4 \cdot R_{OUT}} \cdot [D_1 + D_2 + D_3 + r_{Dd}]} - \\
 &\quad - \frac{N_1 \cdot E_{Dc1} - N_2 \cdot E_{Dc2} - N_3 \cdot E_{Dc3} - E_{Dd}}{1 + \frac{1}{k} \cdot \frac{\pi^2}{4 \cdot R_{OUT}} \cdot [D_1 + D_2 + D_3 + r_{Dd}]}, & (8)
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} D_1 &= N_1 \cdot (r_{Tc1} + r_{Dc1} + r_{Td}), \\ D_2 &= N_2 \cdot (r_{Tc2} + r_{Dc2} + r_{Td}), \\ D_3 &= N_3 \cdot (r_{Tc1} + r_{Dc3} + r_{Td}), \end{aligned} \quad (9)$$

$E_{Dci}, r_{Dci}, E_{Dd}, r_{Dd}$ —ЭДС отсечки и динамическое сопротивление соответственно i -го зарядного

и разрядного диода при кусочно-линейной аппроксимации их ВАХ; r_{Tci} —сопротивление зарядного транзисторного ключа i в составе i -го ПКП; r_{Td} —сопротивление разрядного ключа 5 силовой цепи СПКП.

С учетом (5) данное выражение позволяет анализировать зависимость коэффициента полезного действия трехтактного СПКП от количества и параметров его полупроводниковых элементов.

4. Выводы

1. Предложен новый принцип построения энергоэффективных и малогабаритных конденсаторных DC-DC преобразователей способных выполнить не только функцию преобразования выходного напряжения нескольких различных по мощности и выходным параметрам альтернативных источников постоянного напряжения, но и обеспечить сложение их мощностей в общей нагрузке.

Предложен принцип многотактного построения СПКП, обеспечивающий дополнительное улучшение их массогабаритных показателей в условиях наращивания мощности альтернативных источников.

Показано, что эффект достигается k кратным увеличением частоты преобразования отдельных модулей СПКП и практическим исключением громоздкого выходного конденсатора C_f благодаря резкому уменьшению амплитуды и $2 \cdot k$ кратному увеличению частоты первой гармоники суммарного

выходного тока $I_{\Sigma OUT}(t)$.

2. Получены аналитические выражения позволяющие произвести расчет параметров реактивных элементов СПКП и провести анализ и количественную оценку его коэффициента полезного действия.

Благодарности

Автор выражает признательность директору института силовой электроники НГТУ, доктору технических наук, профессору Харитонову С.А. за поста-

новку задачи и постоянное внимание к данному направлению исследования.

Список литературы

[1]. Hou, G., Xu, L., Taherian, H., Jiang, W., Song, Y. Performance analysis of a hybrid solar-hydrogen-retired EV batteries (REVB) energy system with thermal-electrical loops / G. Hou, L. Xu, H. Taherian // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 72. – P. 27827-27840.

[2]. Bartolucci, L., Cennamo, E., Cordiner, S., Mulone, V., Pasqualini, F., Boot, M.A. Digital twin of a hydrogen Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle: Effect of the control strategy on energy efficiency / L. Bartolucci, E. Cennamo, S. Cordiner, V. Mulone, F. Pasqualini, M.A. Boot // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 54. – P. 20971-20985.

[3]. Ancona, M.A., Catena, F. Ferrari, F. Optimal design and management for hydrogen and renewables based hybrid storage micro-grids / M.A. Ancona, F. Catena, F. Ferrari // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 54. – P. 20844-20860.

[4]. Torgaeva, D.S., Kabirov, V.A., Semenov, V.D., Akhtyrskiy, K.A., Otto, A.I. Construction of continuous simulation models of pulse converters of spacecraft electrical power systems with hydrogen energy

storage / D.S. Torgaeva, V.A. Kabirov, V.D. Semenov, K.A. Akhtyrskiy, A.I. Otto // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 49. – P. 18918-18929.

[5]. Bovo, A., Poli, N., Trovò, A., Marini, G., Guarnieri, M. Hydrogen energy storage system in a Multi-Technology Microgrid: technical features and performance / A. Bovo, N. Poli, G. Marini, M. Guarnieri // International Journal of Hydrogen Energy, 2023. – Vol. 48, iss. 32. – P. 12072-12088.

[6]. Özdoğan, E., Hüner, B., Süzen, Y.O., Eşiyok, T., Uzgören, İ.N., Kıstı, M., Uysal, S., Selçuklu, S.B., Demir, N., Kaya, M.F. Effects of tank heating on hydrogen release from metal hydride system in VoltaFCEV Fuel Cell Electric Vehicle / E. Özdoğan, B. Hüner, Y.O. Süzen, T. Eşiyok, İ.N. Uzgören, M. Kıstı, S. Uysal, S.B. Selçuklu, N. Demir, M.F. Kaya // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 18. – P. 6811-6823.

[7]. Bahri, R., Zeynali, S., Nasiri, N., Keshavarzi, M.R., Economic-environmental energy supply of mobile base stations in isolated nanogrids with smart plug-in

electric vehicles and hydrogen energy storage system / R. Bahri, S. Zeynali, N. Nasiri, M.R. Keshavarzi // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 10. – P. 3725-3739.

[8]. Boretti, A. High-efficiency internal combustion engine for hybrid hydrogen-electric locomotives / A. Boretti // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 4. – P. 1596-1601.

[9]. Ачитаев, А., Суворов, А., Илюшин, П., Волкова, И., Кан, К., Суслов, К. Повышение срока службы электролизера AC-DC преобразователя, работающего в условиях офшорной ветроэнергетической установки / А. Ачитаев, А. Суворов, П. Илюшин, И. Волкова, К. Кан, К. Суслов // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2023. – № 3. – С. 30-48.

[10]. Елистратов В.В., Денисов Р.С. Развитие изолированных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии и водородного аккумулирования / В.В. Елистратов, Р.С. Денисов // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*– 2023. – №1. – С. 12-22.

[11]. Vietze, M., Weiland, S. System analysis and requirements derivation of a hydrogen-electric aircraft powertrain / M. Vietze, S. Weiland // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 91. – P. 38793-38810.

[12]. Teimouri, A., Kabeh, K.Z., Changizian, S., Ahmadi, P., Mortazavi, M. Comparative lifecycle assessment of hydrogen fuel cell, electric, CNG, and gasoline-powered vehicles under real driving conditions / A. Teimouri, K.Z. Kabeh, S. Changizian, P. Ahmadi, M. Mortazavi // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 89. – P. 37990-38002.

[13]. Hossain, M.B., Islam, M.R., Muttaqi, K.M., Sutanto, D., Agalgaonkar, A.P. Modeling and performance analysis of renewable hydrogen energy hub connected to an ac/dc hybrid microgrid / M.B. Hossain, M.R. Islam, K.M. Muttaqi, D. Sutanto, A.P. Agalgaonkar // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 66. – P. 28626-28644.

[14]. Lin, R., Zhao, Y., Wu, B. Toward a hydrogen society: Hydrogen and smart grid integration / R. Lin, Y. Zhao, B. Wu, // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2020. – Vol. 45, iss. 39. – P. 20164-20175.

[15]. Нефедкин С.И., Барсуков А.О., Мозгова М.И., Шичков М.С., Климова М.А. Автономное энергоснабжение с использованием ветроэнергетического комплекса и водородного аккумулирования энергии / С.И. Нефедкин, А.О. Барсуков, М.И. Мозгова, М.С. Шичков, М.А. Климова // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2019. – № 16-18. – С. 12-26.

[16]. Шульга, Р.Н., Путилова, И.В. Мультиагентные системы постоянного тока с использованием ВИЭ и водородных топливных элементов / Р.Н. Шульга, И.В. Путилова // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2019. – № 4-6. –

С. 65-82.

[17]. Манусов, В.З., Хасанзода, Н. Оптимизация энергоэффективности ветровых ресурсов Дальнего Востока на основе алгоритма роевого интеллекта / В.З. Манусов, Н. Хасанзода // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2018. – № 19-21. – С. 12-22.

[18]. Зотов, Л.Г. Энергоэффективный конденсаторный DC-DC преобразователь для автономной системы электроснабжения / Л.Г. Зотов, И.М. Большаков // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2023. – № 4. – С. 70-76.

[19]. Wang, Y., Rong, Z., Sun, Z., Guan, Y., Han, S., Xu, D. Analysis and Implementation of a Transformerless Interleaved ZVS High-Step-Down DC-DC Converter / Y. Wang, Z. [Rong, Z. Sun, Y. Guan, S. Han, D. Xu // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2023. – Vol. 38, no. 11. – P. 13484-13495.

[20]. Ellis, N. M., Amirtharajah, R. Large Signal Analysis on Variations of the Hybridized Dickson Switched-Capacitor Converter / N. M. Ellis, R. Amirtharajah // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2022. – Vol. 37, no. 12. – P. 15005-15019.

[21]. Li, Y., Wei, M., Lyu, X., Ni, Z., Cao, D. Analysis and Design of High-Efficiency Modular Multilevel Resonant DC-DC Converter / Y. Li, M. Wei, X. Lyu, Z. Ni, D. Cao // *IEEE Open Journal of Power Electronics*. – 2022. – Vol. 3. – P. 755-771.

[22]. Ye, Z., Lei, Y., Pilawa-Podgurski, R. C. N. The Cascaded Resonant Converter: A Hybrid Switched-Capacitor Topology With High Power Density and Efficiency / Z. Ye, Y. Lei, R. C. N. Pilawa-Podgurski // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2020. – Vol. 35, no. 5. – P. 4946-4958.

[23]. Sun, R.Y., Webb, S., Liu, Y.-F. Flying capacitor design considerations for a 48-to-12 V, 35 a split-phase dickson SC converter / R.Y. Sun, S. Webb, Y.-F. Liu // *Chinese Journal of Electrical Engineering*. – 2020. – Vol. 6, no. 4. – P. 28-41.

[24]. Krstic, M., Eren, S., Jain, P. Analysis and Design of Multiphase, Reconfigurable Switched-Capacitor Converters / M. Krstic, S. Eren, P. Jain // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. – 2020. – Vol. 8, no. 4. – P. 4046-4059.

[25]. Зотов, Л.Г. Энергоэффективные устройства и системы силовой электроники на основе структур с переключаемыми конденсаторами: монография / Л. Г. Зотов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 403 с.

[26]. Zotov, L. G., Razinkin, V. P., Atuchin, V. V. Controllable electronic transformer based on the resonance structure with switching capacitor for low-rise buildings residential area power supply stabilization systems / L. G. Zotov, V. P. Razinkin, V. V. Atuchin // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. – 2017. – Vol. 91. – P. 117-120.

[27]. Veprikov, A. A., Glukhov, A. A. Problems



of Operating Industrial DC Power Sources in Parallel Connection / A.A. Veprikov, A.A. Glukhov // 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2020. – P. 1339-1343.

[28]. Rabkowski, J. Parallel-connected current source rectifiers as the input stage of the off-board EV battery charger / J. Rabkowski // 2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG). – 2020. – P. 538-543.

[29]. Zolfaghari, M., Nurmanova, V., Bagheri, M., Gharehpetian, G. B. Adaptive Gain-Regulating-

based Control of Parallel-Connected Γ -Z-Source Power Converters in Hybrid Microgrids / M. Zolfaghari, V. Nurmanova, M. Bagheri, G. B. Gharehpetian // 2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA). – 2020. – P. 321-325.

[30]. Wang, S., Liu, J., Liu, Z., Wu, T., Liu, B. Efficiency-based optimization of steady-state operating points for parallel source converters in stand-alone power system, / S. Wang, J. Liu, Z. Liu, T. Wu, B. Liu // 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia). – 2016. – P. 163-170.

References

[1]. Hou, G., Xu, L., Taherian, H., Jiang, W., Song, Y. Performance analysis of a hybrid solar-hydrogen-retired EV batteries (REVB) energy system with thermal-electrical loops / G. Hou, L. Xu, H. Taherian // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 72. – P. 27827-27840.

[2]. Bartolucci, L., Cennamo, E., Cordiner, S., Mulone, V., Pasqualini, F., Boot, M.A. Digital twin of a hydrogen Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle: Effect of the control strategy on energy efficiency / L. Bartolucci, E. Cennamo, S. Cordiner, V. Mulone, F. Pasqualini, M.A. Boot // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 54. – P. 20971-20985.

[3]. Ancona, M.A., Catena, F. Ferrari, F. Optimal design and management for hydrogen and renewables based hybrid storage micro-grids / M.A. Ancona, F. Catena, F. Ferrari // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 54. – P. 20844-20860.

[4]. Torgaeva, D.S., Kabirov, V.A., Semenov, V.D., Akhtyrskiy, K.A., Otto, A.I. Construction of continuous simulation models of pulse converters of spacecraft electrical power systems with hydrogen energy storage / D.S. Torgaeva, V.A. Kabirov, V.D. Semenov, K.A. Akhtyrskiy, A.I. Otto // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 49. – P. 18918-18929.

[5]. Bovo, A., Poli, N., Trovò, A., Marini, G., Guarneri, M. Hydrogen energy storage system in a Multi-Technology Microgrid: technical features and performance / A. Bovo, N. Poli, G. Marini, M. Guarneri // International Journal of Hydrogen Energy, 2023. – Vol. 48, iss. 32. – P. 12072-12088.

[6]. Özdoğan, E., Hüner, B., Süzen, Y.O., Eşiyok, T., Uzgören, İ.N., Kıstı, M., Uysal, S., Selçuklu, S.B., Demir, N., Kaya, M.F. Effects of tank heating on hydrogen release from metal hydride system in VoltaFCEV Fuel Cell Electric Vehicle / E. Özdoğan, B. Hüner, Y.O. Süzen, T. Eşiyok, İ.N. Uzgören, M. Kıstı, S. Uysal, S.B. Selçuklu, N. Demir, M.F. Kaya // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 18. – P. 6811-6823.

[7]. Bahri, R., Zeynali, S., Nasiri, N., Keshavarzi,

M.R., Economic-environmental energy supply of mobile base stations in isolated nanogrids with smart plug-in electric vehicles and hydrogen energy storage system / R. Bahri, S. Zeynali, N. Nasiri, M.R. Keshavarzi // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 10. – P. 3725-3739.

[8]. Boretti, A. High-efficiency internal combustion engine for hybrid hydrogen-electric locomotives / A. Boretti // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 4. – P. 1596-1601.

[9]. Achitaev, A., Suvorov, A., Ilyushin, P., Volkova, I., Kan, K., Suslov, K. Povyshenie sroka sluzhby ehlektrolizera AC-DC preobrazovatelya, rabotayushchego v usloviyakh ofshornoj vetroehnergeticheskoi ustanovki / A. Achitaev, A. Suvorov, P. Ilyushin, I. Volkova, K. Kan, K. Suslov // Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAE). 2023;(3):30-48.

[10]. Elistratov V.V., Denisov R.S. Razvitie izolirovannykh ehnergosistem na osnove vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii i vodorodnogo akkumulirovaniya / V.V. Elistratov, R.S. Denisov // Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAE)– 2023. – №1. – S. 12-22.

[11]. Vietze, M., Weiland, S. System analysis and requirements derivation of a hydrogen-electric aircraft powertrain / M. Vietze, S. Weiland // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, iss. 91. – P. 38793-38810.

[12]. Teimouri, A., Kabeh, K.Z., Changizian, S., Ahmadi, P., Mortazavi, M. Comparative lifecycle assessment of hydrogen fuel cell, electric, CNG, and gasoline-powered vehicles under real driving conditions / A. Teimouri, K.Z. Kabeh, S. Changizian, P. Ahmadi, M. Mortazavi // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, iss. 89. – P. 37990-38002.

[13]. Hossain, M.B., Islam, M.R., Muttaqi, K.M., Sutanto, D., Agalgaonkar, A.P. Modeling and performance analysis of renewable hydrogen energy hub connected to an ac/dc hybrid microgrid / M.B. Hossain, M.R. Islam, K.M. Muttaqi, D. Sutanto, A.P. Agalgaonkar // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. –

Vol. 47, iss. 66. – P. 28626-28644.

[14]. Lin, R., Zhao, Y., Wu, B. Toward a hydrogen society: Hydrogen and smart grid integration / R. Lin, Y. Zhao, B. Wu, // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2020. – Vol. 45, iss. 39. – P. 20164-20175.

[15]. Nefedkin, S.I., Barsukov, A.O., Mozgova, M.I., Shichkov, M.S., Klimova, M.A. Avtonomnoe ehnergosnabzhenie s ispol'zovaniem vetroehnergeticheskogo kompleksa i vodorodnogo akkumulirovaniya ehnergii / S.I. Nefedkin, A.O. Barsukov, M.I. Mozgova, M.S. Shichkov, M.A. Klimova // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2019. – № 16-18. – S. 12-26.

[16]. Shul'ga, R.N., Putilova, I.V. Mul'tiagentnye sistemy postoyannogo toka s ispol'zovaniem VIEH i vodorodnykh toplivnykh ehlementov / R.N. Shul'ga, I.V. Putilova // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2019. – № 4-6. – S. 65-82.

[17]. Manusov, V.Z., Khasanzoda, N. Optimizatsiya ehnergoehffektivnosti vetrovykh resursov Dal'nego Vostoka na osnove algoritma roevogo intellekta / V.Z. Manusov, N. Khasanzoda // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2018. – № 19-21. – S. 12-22.

[18]. Zotov, L.G. Ehnergoehffektivnyi kondensatornyi DC-DC preobrazovatel' dlya avtonomnoi sistemy ehlektrosnabzheniya / L.G. Zotov, I.M. Bol'shakov // *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo ehnergeticheskogo universiteta*. – 2023. – № 4. – S. 70-76.

[19]. Wang, Y., Rong, Z., Sun, Z., Guan, Y., Han, S., Xu, D. Analysis and Implementation of a Transformerless Interleaved ZVS High-Step-Down DC-DC Converter / Y. Wang, Z. Rong, Z. Sun, Y. Guan, S. Han, D. Xu // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2023. – Vol. 38, no. 11. – P. 13484-13495.

[20]. Ellis, N. M., Amirtharajah, R. Large Signal Analysis on Variations of the Hybridized Dickson Switched-Capacitor Converter / N. M. Ellis, R. Amirtharajah // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2022. – Vol. 37, no. 12. – P. 15005-15019.

[21]. Li, Y., Wei, M., Lyu, X., Ni, Z., Cao, D. Analysis and Design of High-Efficiency Modular Multilevel Resonant DC-DC Converter / Y. Li, M. Wei, X. Lyu, Z. Ni, D. Cao // *IEEE Open Journal of Power Electronics*. – 2022. – Vol. 3. – P. 755-771.

[22]. Ye, Z., Lei, Y., Pilawa-Podgurski, R. C. N. The Cascaded Resonant Converter: A Hybrid Switched-Capacitor Topology With High Power Density and Efficiency / Z. Ye, Y. Lei, R. C. N. Pilawa-Podgurski

// *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2020. – Vol. 35, no. 5. – P. 4946-4958.

[23]. Sun, R.Y., Webb, S., Liu, Y.-F. Flying capacitor design considerations for a 48-to-12 V, 35 a split-phase dickson SC converter / R.Y. Sun, S. Webb, Y.-F. Liu // *Chinese Journal of Electrical Engineering*. – 2020. – Vol. 6, no. 4. – P. 28-41.

[24]. Krstic, M., Eren, S., Jain, P. Analysis and Design of Multiphase, Reconfigurable Switched-Capacitor Converters / M. Krstic, S. Eren, P. Jain // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. – 2020. – Vol. 8, no. 4. – P. 4046-4059.

[25]. Zotov, L.G. Ehnergoehffektivnye ustroystva i sistemy silovoi ehlektroniki na osnove struktur s pereklyuchaemymi kondensatorami: monografiya / L. G. Zotov. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2020. – 403 s.

[26]. Zotov, L. G., Razinkin, V. P., Atuchin, V. V. Controllable electronic transformer based on the resonance structure with switching capacitor for low-rise buildings residential area power supply stabilization systems / L. G. Zotov, V. P. Razinkin, V. V. Atuchin // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. – 2017. – Vol. 91. – P. 117–120.

[27]. Veprikov, A. A., Glukhov, A. A. Problems of Operating Industrial DC Power Sources in Parallel Connection / A.A. Veprikov, A.A. Glukhov // *2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. – 2020. – P. 1339-1343.

[28]. Rabkowski, J. Parallel-connected current source rectifiers as the input stage of the off-board EV battery charger / J. Rabkowski // *2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*. – 2020. – P. 538-543.

[29]. Zolfaghari, M., Nurmanova, V., Bagheri, M., Gharehpetian, G. B. Adaptive Gain-Regulating-based Control of Parallel-Connected Γ -Z-Source Power Converters in Hybrid Microgrids / M. Zolfaghari, V. Nurmanova, M. Bagheri, G. B. Gharehpetian // *2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*. – 2020. – P. 321-325.

[30]. Wang, S., Liu, J., Liu, Z., Wu, T., Liu, B. Efficiency-based optimization of steady-state operating points for parallel source converters in stand-alone power system, / S. Wang, J. Liu, Z. Liu, T. Wu, B. Liu // *2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia)*. – 2016. – P. 163-170.

Транслитерация по BSI





ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ

RES BASED POWER COMPLEXES

ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ

RENEWABLE ENERGY COMPLEXES

Статья поступила в редакцию 15.01.24. Ред. Пер. № 316-001-24

The article has entered in publishing office 15.01.24. Ed. Reg. No. 316-001-24

УДК 621.314

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ПОВЫШАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРНЫХ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Зотов Л. Г., Куратов К. А., Большаков И. М.

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Тел +7-962-829-89-22, +7-913-786-97-57,
zotovlg@mail.ru, kksan@ngs.ru, ivan_bolshakov_99@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.062-074

Заключение совета рецензентов: 22.01.24

Заключение совета экспертов: 24.01.24

Принято к публикации: 25.01.24

Предложен новый принцип построения малогабаритных конденсаторных DC-DC регуляторов, обеспечивающих энергоэффективное преобразование и многозонное регулирование выходного напряжения альтернативных низковольтных источников энергии. Он заключается в поочередном изменении низковольтных диапазонов регулирования путем дискретного изменения количества резонансных цепочек, участвующих в преобразовании повышающего конденсаторного DC-DC преобразователя в сочетании с плавным изменением уровня заряда его первой цепочки маломощным классическим ШИМ регулятором постоянного напряжения. Улучшение энергетических свойств регулятора достигается многозонным регулированием и мягкой коммутацией транзисторов силовой цепи конденсаторного DC-DC преобразователя. Исследованы энергетические свойства предлагаемых DC-DC регуляторов. Показано, что с увеличением числа резонансных цепочек в составе конденсаторного DC-DC преобразователя, наблюдается тенденция роста КПД регулятора. Для рассмотренных в работе схем с классическими Buck и Boost ШИМ регуляторами получены и исследованы регулировочные характеристики и проведена сравнительная оценка их коэффициента полезного действия. Сравнительный анализ энергетических и конструктивных свойств показывает значительное упрощение на три полупроводниковых и два реактивных элемента, а также рост КПД, в среднем по диапазону регулирования на 1,5 % в схеме с Boost ШИМ регулятором.

Ключевые слова: DC-DC преобразователи, Buck и Boost ШИМ регуляторы, ШИМ-регулирование, резонансные структуры с переключаемыми конденсаторами, водородные топливные элементы, альтернативные источники электроэнергии, энергетические показатели, мягкая коммутация.

Зотов Л. Г., Куратов К. А., Большаков И. М. Энергоэффективные регуляторы напряжения альтернативных источников на основе повышающих конденсаторных DC-DC преобразователей //Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 62-74

Zotov L. G., Kuratov K. A., Bolshakov I. M. Eenergy-efficient DC-DC regulators based on resonant structures with switched capacitors //Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 62-74

ENERGY-EFFICIENT DC-DC REGULATORS BASED ON RESONANT STRUCTURES WITH SWITCHED CAPACITORS

Zotov L. G., Kuratov K. A., Bolshakov I. M.

Novosibirsk State Technical University,
630073, Novosibirsk, K. Marx avenue, 20
Tel.: +7-962-829-89-22, +7-913-786-97-57,
zotovlg@mail.ru, kksan@ngs.ru, ivan_bolshakov_99@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.062-074

Referred: 22.01.24

Received in revised form: 24.01.24

Accepted: 25.01.24

The new principle of designing of small-sized capacitor DC-DC regulators providing energy-efficient conversion and multizone regulation of output voltage of the alternative low-voltage power supply sources is proposed. It consists in alternately changing the low-voltage sub-ranges regulation by discretely changing the number of resonant chains involved in the conversion of a step-up capacitor DC-DC converter combined with a smooth change of the charge level of its first chain by a classic low-power PWM DC voltage regulator. Improvement of the regulator energy characteristics is achieved by multi-zone regulation and soft switching of the power circuit transistors of the capacitor DC-DC converter. The energy properties of the proposed DC-DC regulators are examined. It is shown that with increasing the number of resonant chains in the capacitor DC-DC converter, there is a tendency of regulator efficiency growth. For the considered in this paper circuits with a classic Buck and Boost PWM regulators the regulating characteristics are obtained and investigated and their efficiency is comparatively evaluated. The comparative analysis of energy and design properties shows a significant simplification of the power circuit by three semiconductor and two reactive elements, and also an increase in efficiency, on average over the control range by 1,5 % in the circuit with Boost PWM regulator.

Keywords: DC-DC converters, Buck and Boost PWM regulators, PWM-regulating, resonant structures with switched capacitors, hydrogen fuel cells, alternative power sources, energy performance, soft switching.



Зотов
Леонид Григорьевич
Zotov Leonid

Сведения об авторе: д.т.н., профессор кафедры теоретических основ радиотехники НГТУ.

Образование: инженер по специальности «Электрофизика», НГТУ, г. Новосибирск, 1971, д.т.н., 2018.

Область научных интересов: автономные конденсаторные устройства и системы силовой электроники с использованием альтернативных источников электроэнергии.

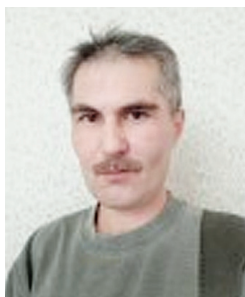
Публикации: 90.
Индекс Хирша: 9.

Information about the author: Dr. of Technical sciences, Prof., of the Theoretical Basis of Radio Engineering Department of NSTU.

Education: engineer in Electrophysics, NSTU, Novosibirsk, 1971, Dr. of Technical sciences, 2018.

Research interests: autonomous capacitor devices and power electronics systems using alternative power sources.

Publications: 90.
H-index: 9.



Куратов
Константин
Александрович
Kuratov Konstantin

Сведения об авторе: к.т.н., доцент кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств НГТУ.

Образование: магистр техники и технологии по специальности «Проектирование и технология электронных средств», НГТУ, г. Новосибирск, 1998, к.т.н., 2005.

Область научных интересов: устройства и системы силовой электроники, включающие в себя альтернативные источники электропитания.

Публикации: 16.
Индекс Хирша: 1.

Information about the author: Ph. D. of Technical sciences, Associate professor of the Design and technology of electronic devices Department of NSTU.

Education: master's degree of Engineering and Technology in Design and technology of electronic devices, NSTU, Novosibirsk, 1998, Ph. D. of Technical sciences, 2005.

Research interests: power electronics devices and systems including alternative power supply sources.

Publications: 16.
H-index: 1.



Большаков
Иван Михайлович
Bolshakov Ivan

Сведения об авторе: аспирант кафедры теоретических основ радиотехники НГТУ.

Образование: магистр по специальности «Электроника и нанoeлектроника», НГТУ, г. Новосибирск, 2023.

Область научных интересов: конденсаторные преобразователи напряжения альтернативных источников.

Публикации: 8.
Индекс Хирша: 1.

Information about the author: graduate student of the Theoretical Basis of Radio Engineering Department of NSTU.

Education: master's degree in Electronics and Nanoelectronics, NSTU, Novosibirsk, 2023.

Research interests: capacitor voltage converters of alternative sources.

Publications: 8.
H-index: 1.

Введение

При создании современных Smart Grid автономных систем электроснабжения радиоэлектронных средств [1-15] малой и средней мощности, питаемых от низковольтных альтернативных источников, требуются энергоэффективные регуляторы постоянного напряжения (РПН), обладающие к тому же и улучшенными массогабаритными показателями.

При построении современных РПН применяются классические схемы широтно-импульсных (ШИМ) Buck и Boost регуляторов [16-19]. К их недостаткам следует отнести недостаточно высокие энергетиче-

ские и завышенные массогабаритные показатели.

Ухудшение энергетических показателей РПН данной группы связано с жесткой коммутацией импульсного регулирующего элемента. Завышенные массогабаритные показатели обусловлены использованием в качестве реактивных элементов громоздких и нетехнологичных дросселей [20-27].

Прогресс в улучшении массогабаритных и энергетических показателей ШИМ регуляторов достигается использованием принципа многозонного регулирования [28, 29].

Таблица сокращений

Термины	
Boost регулятор	Повышающий ШИМ регулятор
Buck регулятор	Понижающий ШИМ регулятор
CDCVR	Capacitor DC voltage regulator
DC-DC преобразователи	Преобразователи (DC – direct current) постоянного тока
КПД	Коэффициент полезного действия
ППНК	Преобразователи постоянного напряжения конденсаторные
РПН	Регуляторы постоянного напряжения
РПНК	Регуляторы постоянного напряжения конденсаторные
РЦ	Резонансная цепочка
ШИМ	Широтно-импульсная модуляция
Буквы латинского алфавита	
C_i	Емкость параллельного соединения конденсаторных модулей в составе РЦ, мкФ
$C_{\beta 1}$	Емкость выходного конденсатора Buck или Boost регулятора, мкФ
$C_{\beta 2}$	Емкость выходного конденсатора ППНК, мкФ
E	Входное напряжение Buck и Boost регуляторов, В

E_i	Выходное напряжение Buck и Boost регуляторов, В
f_{TR}	Частота преобразования – частота коммутации транзисторов ППНК, кГц
f_{Boost}	Частота коммутации транзистора Boost регулятора, кГц
f_{Buck}	Частота коммутации транзистора Buck регулятора, кГц
I_{C1}	Ток заряда первой РЦ в ППНК, А
$I_{C1(max)}$	Максимальное значение тока I_{C1} , А
$I_{C1(min)}$	Минимальное значение тока I_{C1} , А
I_{C2}	Ток заряда второй и последующих РЦ в ППНК, А
$I_{C2(max)}$	Максимальное значение тока I_{C2} , А
$I_{C2(min)}$	Минимальное значение тока I_{C2} , А
$I_{IN(max)}$	Амплитудное значение входного тока ППНК, А
I_{OUT}	Среднее значение выходного тока ППНК (тока нагрузки РПНК), А
$I_{OUT(max)}$	Амплитудное значение выходного тока ППНК, А
$I_{IN}(t)$	Функция входного тока ППНК, А
$I_{OUT}(t)$	Функция выходного тока ППНК, А
K_{TR}	Коэффициент преобразования напряжения



L_l	Индуктивность дросселя в одной РЦ, нГн
L_{fl}	Индуктивность дросселя ШИМ регулятора, нГн
$L_{fl(Boost)}$	Индуктивность дросселя Boost регулятора, нГн
$L_{fl(Buck)}$	Индуктивность дросселя Buck регулятора, нГн
N	Максимальное количество РЦ в РПНК
n	Количество РЦ при регулировании
n_c	Количество параллельно соединенных конденсаторных модулей в одной РЦ
P_{AC}	Допустимая реактивная мощность конденсаторного модуля, Вар
t_{imp}	Длительность управляющих импульсов Buck и Boost регуляторов, нс
T_{TR}	Период частоты преобразования, мкс
T_{PWM}	Период частоты коммутации транзисторов Buck и Boost ШИМ регуляторов, мкс
$U_{C1}(t)$	Функция напряжения на конденсаторе C1
$U_{C1(max)}$	Максимальное значение напряжения U_{C1} , В
$U_{C1(min)}$	Минимальное значение напряжения U_{C1} , В
$U_{Ci}(t)$	Функция напряжения на конденсаторах, Ci
$U_{Ci(max)}$	Максимальное значение напряжения U_{Ci} , В
$U_{Ci(min)}$	Минимальное значение напряжения U_{Ci} , В
U_{OUT}	Среднее значение напряжения нагрузки РПНК, В.
VT_l	Регулирующий транзистор Buck и Boost регуляторов
ΔC	Емкость конденсаторного модуля, мкФ
$\Delta E, \Delta U_{Cfl}$	Пульсация напряжения на конденсаторе выходного фильтра ШИМ регулятора, В
ΔI_L	Пульсация тока дросселя в Buck и Boost регуляторах, А
ΔU_{C1}	Пульсация напряжения U_{C1} , В
ΔU_{Ci}	Пульсация напряжения U_{Ci} , В

Буквы греческого алфавита	
η	Коэффициент полезного действия
θ	Длительность управляющих импульсов Buck и Boost регуляторов, градусы
π	Число $\pi = 3,1415926$
Единицы измерения	
А	Ампер
В	Вольт
Вар	Вольт-ампер реактивный
кГц	килогерц
мкс	Микросекунда
мкФ	Микрофарад
нГн	Наногенри
нс	Наносекунда
°	Градус
Нижние индексы	
Boost	Boost регулятор
Buck	Buck регулятор
C	Конденсатор
f1	Выходной фильтр ШИМ регулятора
f2	Выходной фильтр ППНК
imp	Импульс
IN	Вход ППНК
L	Индуктивность ШИМ регуляторов
max	Амплитудное значение
OUT	Нагрузка (выход) ППНК
PWM	ШИМ
TR	Преобразование (transformation)
ΔC	Конденсаторный модуль
Числовые обозначения на принципиальных схемах	
1	ШИМ регулятор
2	ППНК
3	Зарядные диоды ППНК
4	Конденсаторы ППНК
5	Дроссели ППНК
6	Зарядные транзисторы ППНК
7, 8, 9, 10	Разрядные транзисторы ППНК
11	Разрядный диод ППНК
12	Нагрузка ППНК



1. Постановка задачи

Комплексное решение проблемы повышения энергоэффективности и улучшения массогабаритных показателей достигается применением многозонных широтно-импульсных (ШИМ) регуляторов постоянного напряжения, на основе повышающих конденсаторных DC-DC преобразователей (РПНК).

Снижение массы и габаритов РПНК по сравнению с их классическим аналогом реализуется заменой громоздкого дросселя и трансформатора на технологичные многослойные керамические конденсаторы,

обладающие по сравнению с ними на два-три порядка лучшими удельными массогабаритными показателями [20-27].

Улучшение энергетических показателей РПНК обеспечивается многозонным принципом работы, при котором происходит снижение динамических потерь мощности в его ШИМ регуляторе, благодаря разделению диапазона регулирования на несколько низковольтных поддиапазонов [28, 29].

2. Методы построения и принцип работы схем регуляторов

Многозонный РПНК строится на основе повышающего конденсаторного преобразователя постоянного напряжения (ППНК) работающего по принципу параллельного заряда его конденсаторов от низковольтного альтернативного первичного источника с их последующим последовательным разрядом на нагрузку. Переход от одного поддиапазона регулирования к другому реализуется поочередным дискретным

переключением числа конденсаторов, участвующих в преобразовании [30]. Плавная регулировка внутри каждого из поддиапазонов осуществляется классическим Buck или Boost ШИМ регулятором.

Принципиальная схема силовой цепи многозонного РПНК с Buck ШИМ регулятором представлена на рис. 1.

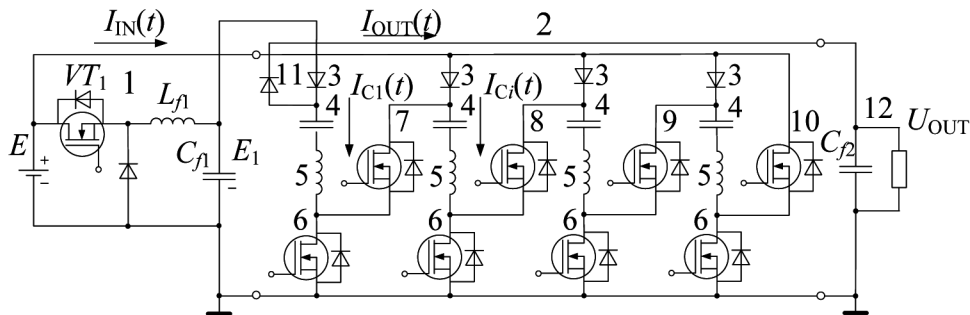


Рис. 1. Принципиальная схема РПНК с Buck регулятором

Fig. 1. Principal circuit diagram of the CDCVR with the Buck regulator

Он состоит из маломощного Buck ШИМ регулятора 1 и ППНК 2. Временные диаграммы, поясняющие работу ППНК, приведены на рис. 2. Преобразователь включает в себя N резонансных цепочек (РЦ), каждая из которых представляет собой последовательное соединение диода 3, конденсатора 4, реактора 5 и транзисторного ключа 6. Смежные цепочки соединены друг с другом посредством N разрядных ключей (7-10). При этом вторая и последующие цепочки соединены параллельно.

Предлагаемый РПНК работает следующим образом. В исходном состоянии при периодическом высокочастотном открывании зарядных ключей 6 в течение половины периода T_{TR} частоты преобразования $f_{TR}=500$ кГц во второй и последующих цепочках током I_{Ci} кусочно-синусоидальной формы происходит заряд их конденсаторов 4 через реакторы 5 от входного альтернативного

источника постоянного напряжения E через соответствующие зарядные диоды 3. При этом синхронно таким же током кусочно-синусоидальной формы происходит и заряд конденсатора 4 первой цепочки, но только от маломощного плавно регулируемого в диапазоне $E_1 = (0 \div E)$ Buck ШИМ регулятора постоянного напряжения 1. Buck ШИМ регулятор и ППНК запитаны от общего низковольтного альтернативного источника постоянного напряжения E.

Габариты ШИМ регулятора незначительны, т.к. его мощность в (N+1) раз меньше максимальной выходной мощности РПНК.

В результате напряжение на конденсаторе первой цепочки E_1 плавно регулируется в пределах от 0 до E, а на конденсаторах второй и последующих цепочек оно практически равно E.

После закрывания зарядных ключей 6 открываются разрядные ключи (7-10) и таким же током

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

кусочно-синусоидальной формы происходит периодический последовательный разряд конденсаторов 4 всех РЦ через реакторы 5, разрядный диод 11 на нагрузку 12. Поскольку разряд n соединенных последовательно конденсаторов – первой и $(n-1)$ последующих цепочек происходит через последовательно соединенный с ними альтернативный источник E , то величина плавно регулируемого выходного напряжения на нагрузке оказывается равной $U_{OUT} = (n-1) \cdot E + E + E_1 = n \cdot E + E_1$.

Отсюда следует, что дискретное увеличение числа цепочек n от нуля до величины N в сочетании с регулировкой выходного напряжения E_1 Buck ШИМ регулятором 1 от нуля до значения E обеспечивает плавное и энергоэффективное увеличение выходного напряжения рассматриваемого РПНК в диапазоне от нуля до $(N+1) \cdot E$.

Технически переход от низковольтного поддиапазона регулирования к более высоковольтному, происходит каждый раз в моменты полного открывания регулирующего транзистора VT1 Buck ШИМ регулятора дискретным увеличением числа цепочек на единицу. Он осуществляется поочередным попарным переводом соответствующих данному низковольтному поддиапазону одного из разрядных ключей (7-10) и зарядного ключа 6 в ППНК из отсечки в режим периодической коммутации. Одновременно с открыванием указанных ключей происходит скачкообразное уменьшение длительности управляющего импульса регулирующего транзистора VT1 Buck ШИМ регулятора, приводящее к обнулению напряжения конденсатора первой РЦ. Затем длительность импульса управления регулирующего транзистора VT1 плавно увеличивается, обеспечивая рост напряжения на конденсаторе первой цепочки до значения E . В результате происходит линейный рост выходного напряжения РПНК, но только уже в более высоковольтном поддиапазоне регулирования.

Обратный процесс регулирования выходного напряжения в пределах от значения $(N+1) \cdot E$ до нуля реализуется поочередным плавным уменьшением выходного напряжения Boost ШИМ регулятора в каждом из поддиапазонов регулирования с последующим поочередным дискретным уменьшением числа цепочек от величины N до нуля.

Дискретное уменьшение числа цепочек на единицу происходит каждый раз в моменты полного закрывания регулирующего транзистора VT1, обнуляющего напряжение конденсатора первой цепочки. Оно осуществляется попарным переводом одного из соответствующих данному высоковольтному поддиапазону разрядного ключа (7-10) и зарядного ключа 6 из режима периодической коммутации в режим отсечки. В момент дискретного уменьшения числа цепочек в ППНК происходит полное открывание транзистора VT1, которое вновь обеспечивает заряд конденсатора первой цепочки до уровня напряжения низковольтного альтернативного источника, равного E . Затем аналогично описанным процессам происходит плавное энергоэффективное уменьшение выходного напряжения РПНК, но уже в новом, более низковольтном поддиапазоне.

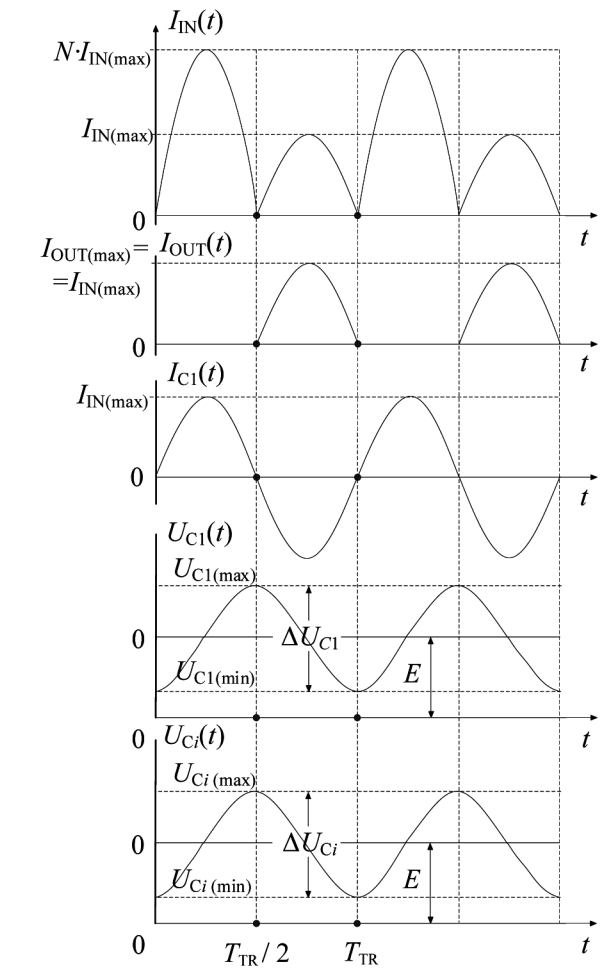


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы РПНК
Fig. 2. Waveforms explaining operation of the CDCVR

пазону разрядного ключа (7-10) и зарядного ключа 6 из режима периодической коммутации в режим отсечки. В момент дискретного уменьшения числа цепочек в ППНК происходит полное открывание транзистора VT1, которое вновь обеспечивает заряд конденсатора первой цепочки до уровня напряжения низковольтного альтернативного источника, равного E . Затем аналогично описанным процессам происходит плавное энергоэффективное уменьшение выходного напряжения РПНК, но уже в новом, более низковольтном поддиапазоне.

Применение Boost ШИМ регулятора упрощает силовую цепь ППНК уменьшением общего количества ее РЦ на единицу. Принципиальная схема силовой цепи такого РПНК приведена на рис. 3.



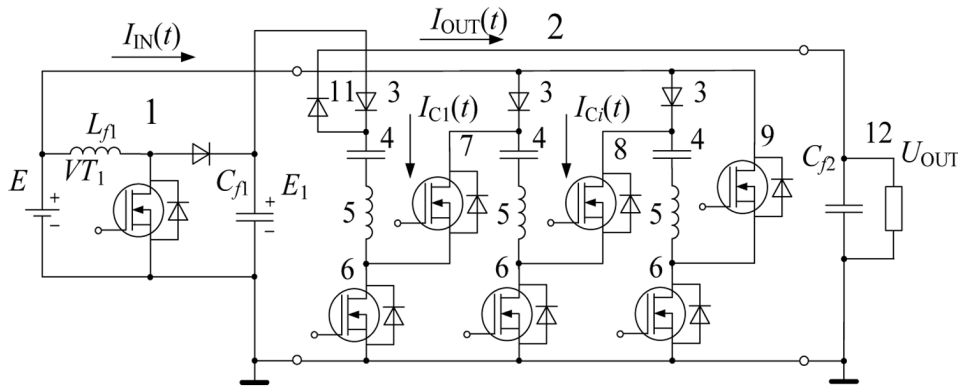


Рис. 3. Принципиальная схема РПНК с Boost регулятором
 Fig. 3. Principal circuit diagram of the CDCVR with the Boost regulator

В представленной схеме изменение уровня выходного напряжения Boost ШИМ регулятора 1 осуществляется в диапазоне $E_1 = (E \div 2 \cdot E)$, что позволяет исключить из силовой цепи ППНК 2 одну РЦ. Недостатком предлагаемого решения является применение более высоковольтного конденсатора в первой РЦ, подключенной к выходу ШИМ регулятора, по сравнению со схемой рис. 1.

Особенность ППНК в составе регулятора рис. 1 и рис. 3 состоит в том, что параметры кусочно-синусоидальных импульсов тока через все полупроводниковые элементы СЦ при одинаковых токах нагрузки совпадают с параметрами аналогичных импульсов их выходного тока $I_{OUT}(t)$. При этом амплитуды синусоидального тока через все реактивные элементы обоих ППНК совпадают с

амплитудами импульсов тока через их полупроводниковые элементы. Данное обстоятельство позволяет определить требуемые величины емкости и индуктивности РЦ обоих вариантов построения ППНК.

Из регулировочной характеристики Boost ШИМ регулятора (рис. 4) видно, что его применение в составе РПНК отличается двукратным уменьшением диапазона изменения нормированной длительности управляющих импульсов регулирующего транзистора VT_1 $\theta^\circ = \frac{t_{imp}}{T_{PWM}} \cdot 360^\circ$. В отличие от Buck, в Boost ШИМ регуляторе она изменяется в пределах $(0^\circ - 180^\circ)$.

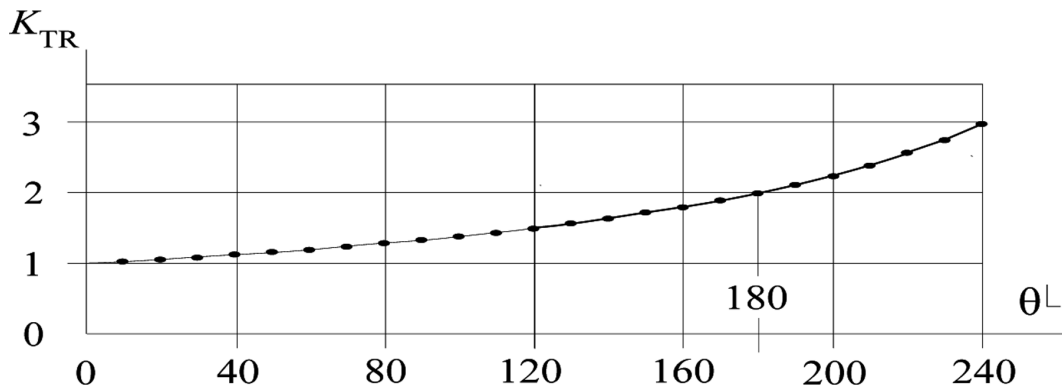


Рис. 4. Регулировочная характеристика Boost регулятора
 Fig. 4. Regulating characteristic of the Boost converter

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский или научный периодик «Space»

С целью миниатюризации конденсаторы резонансных цепочек ППНК выполнены в виде параллельного соединения n_C гибридно-интегральных конденсаторных модулей, каждый емкостью ΔC . При этом величина n_C выбирается, исходя из необходимости обеспечения максимального среднего значения тока нагрузки I_{OUT} и допустимой реактивной мощности каждого из конденсаторных модулей $P_{\Delta C}$.

$$n_C = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{f_{TR} \cdot P_{\Delta C} \cdot \Delta C}} \quad (1)$$

Величины емкости и индуктивности РЦ и емкости конденсатора фильтра ППНК определяются выражениями [27]:

$$\begin{aligned} C_1 &= n_C \cdot \Delta C, \\ L_1 &= \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{TR}^2 \cdot n_C \cdot \Delta C}, \\ C_{f2} &= 3 \cdot \frac{C_1}{N}. \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры реактивных элементов Buck регулятора 1 определяются выражениями, приведенными в [18, 19]

$$\begin{aligned} L_{f1(Buck)} &= \frac{E_1 \cdot (E - E_1)}{\Delta I_L \cdot f_{Buck} \cdot E}, \\ C_{f1(Buck)} &= \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_{Buck} \cdot \Delta U_{Cf1}}, \end{aligned} \quad (3)$$

3. Сравнительный анализ энергетических свойств схем регуляторов

На Рис. 5 приведены регулировочные характеристики РПНК $K_{TR}(\theta)$ соответственно с ШИМ, Buck и Boost регуляторами.

Приведенные зависимости показывают, что РПНК с Buck регулятором отличается более широким диапазоном регулирования и линейностью его регулировочной характеристики. Главное достоинство РПНК с Boost регулятором – значительное упрощение силовой цепи его ППНК за счет уменьшения количества РЦ на единицу.

где ΔI_L – величина пульсации тока дросселя L_{f1} , $\Delta E_1 = \Delta U_{Cf1}$ – пульсация выходного напряжения Buck регулятора.

Учитывая, что величины ΔI_L и $\Delta U_{Cf1} = \Delta E_1$ достигают своего максимума при значении $E_1 = 0.5 \cdot E$ выражение (3) может быть преобразовано к следующему виду

$$\begin{aligned} L_{f1(Buck)} &= \frac{0.25 \cdot E}{\Delta I_L \cdot f_{Buck}}, \\ C_{f1(Buck)} &= \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f_{Buck} \cdot \Delta E_1}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Delta I_L, \Delta E_1$ – соответственно максимальные значения величин пульсации тока дросселя L_{f1} и выходного напряжения Buck регулятора.

Параметры реактивных элементов Boost регулятора определяются следующими выражениями

$$\begin{aligned} L_{f1(Boost)} &= \frac{E \cdot (E_1 - E)}{\Delta I_L \cdot f_{Boost} \cdot E_1}, \\ C_{f1(Boost)} &= \frac{E \cdot (E_1 - E) \cdot \Delta I_L}{E_1^2 \cdot f_{Boost} \cdot \Delta E_1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для Boost регулятора максимум значений ΔI_L и $\Delta U_{Cf1} = \Delta E_1$ достигается при $E_1 = 2 \cdot E$. В этом случае выражения (5) принимают вид

$$\begin{aligned} L_{f1(Boost)} &= \frac{E}{2 \cdot \Delta I_L \cdot f_{Boost}}, \\ C_{f1(Boost)} &= \frac{\Delta I_L}{4 \cdot f_{Boost} \cdot \Delta E_1}. \end{aligned} \quad (6)$$

На рис. 6 приведены регулировочные зависимости, для КПД $\eta(\theta)$, показывающие значительное преимущество преобразователя с Boost регулятором. Это объясняется исключением из его состава одной РЦ, состоящей из трех энергопотребляющих полупроводниковых и двух реактивных элементов. При этом важная закономерность состоит в том, что с ростом числа РЦ, участвующих в преобразовании N происходит существенное увеличение КПД обоих типов РПНК.



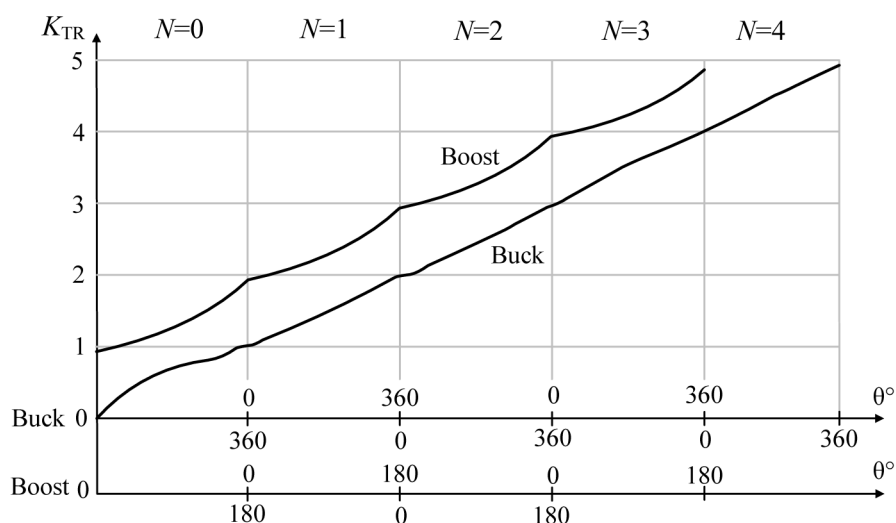


Рис. 5. Регулировочные характеристики РПНК с Buck и Boost регуляторами
Fig. 5. Regulating characteristics of the CDCVRs with the Buck and Boost regulators

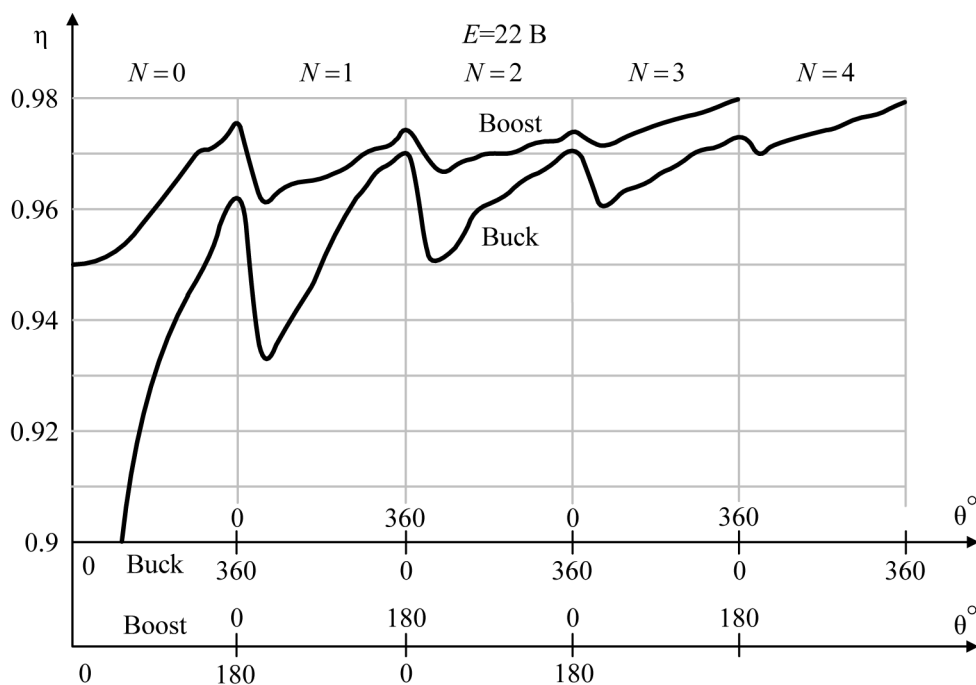


Рис. 6. Регулировочные зависимости для КПД РПНК с Buck и Boost ШИМ регуляторами
Fig. 6. Regulating dependencies of the efficiency of the CDCVRs with the Buck and Boost regulators

4. Выводы

На основе повышающего DC-DC конденсаторного преобразователя предложен новый принцип построения малогабаритных РПНК, обеспечивающих энергоэффективное многозонное регулирование выходного напряжения альтернативных источников энергии.

Показано, что с увеличением числа РЦ N участвующих в преобразовании в ППНК, наблюдается тенденция роста КПД регулятора.

Сравнительный анализ энергетических и конструктивных свойств показывает значительное упрощение силовой цепи на три полупроводниковых и два

реактивных элемента, а также рост КПД, в среднем по диапазону регулирования на 1,5 % в РПНК с использованием Boost ШИМ регулятора.

Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность директору института силовой электроники, доктору технических наук, профессору Харитонову С. А. за постановку задачи, помощь и постоянное внимание к проведению данного исследования.

Список литературы

- [1]. Shi, M., Vasquez, J. C., Guerrero J. M. and Huang, Y. Smart communities – Design of integrated energy packages considering incentive integrated demand response and optimization of coupled electricity-gas-cooling-heat and hydrogen systems / M. Shi, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, Y. Huang // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 80. – P. 31063-31077.
- [2]. Hassan, Q., Sameen, A. Z., Olapade, O., Alghoul, M., Salman H. M., Jaszczur, M. Hydrogen fuel as an important element of the energy storage needs for future smart cities / Q. Hassan, A. Z. Sameen, O. Olapade, M. Alghoul, H. M. Salman, M. Jaszczur // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 78. – P. 30247-30262.
- [3]. Hou, G., Xu, L., Taherian, H., Jiang, W., Song, Y. Performance analysis of a hybrid solar-hydrogen-retired EV batteries (REVB) energy system with thermal-electrical loops / G. Hou, L. Xu, H. Taherian // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 72. – P. 27827-27840.
- [4]. Boynuegri, A. R., Tekgun, B. Real-time energy management in an off-grid smart home: Flexible demand side control with electric vehicle and green hydrogen production / A. R. Boynuegri, B. Tekgun // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 60. – P. 23146-23155.
- [5]. Torgaeva, D. S., Kabirov, V. A., Semenov, V. D., Akhtyrskiy, K. A., Otto, A. I. Construction of continuous simulation models of pulse converters of spacecraft electrical power systems with hydrogen energy storage / D. S. Torgaeva, V. A. Kabirov, V. D. Semenov, K. A. Akhtyrskiy, A. I. Otto // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 49. – P. 18918-18929.
- [6]. Kabirov, V. A., Semenov, V. D., Torgaeva, D. S., Otto, A. I. Miniaturization of spacecraft electrical power systems with solar-hydrogen power supply system / V. A. Kabirov, V. D. Semenov, D. S. Torgaeva, A. I. Otto // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 24. – P. 9057-9070.
- [7]. Bahri, R., Zeynali, S., Nasiri, N., Keshavarzi, M. R. Economic-environmental energy supply of mobile base stations in isolated nanogrids with smart plug-in electric vehicles and hydrogen energy storage system / R. Bahri, S. Zeynali, N. Nasiri, M. R. Keshavarzi // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 10. – P. 3725-3739.
- [8]. Андреев, М. В., Бай, Ю. Д., Малюта, Б. Д. Новая методика настройки релейной защиты энергосистем, содержащих возобновляемые источники энергии и водородные накопители энергии / М. В. Андреев, Ю. Д. Бай, Б. Д. Малюта // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2023. – № 3. – С. 69-92.
- [9]. Елистратов В. В., Денисов Р. С. Развитие изолированных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии и водородного аккумулирования / В. В. Елистратов, Р. С. Денисов // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE– 2023)*. – № 1. – С. 12-22.
- [10]. Hossain, M. B., Islam, M. R., Muttaqi, K. M., Sutanto, D., Agalgaonkar, A. P. Modeling and performance analysis of renewable hydrogen energy hub connected to an ac/dc hybrid microgrid / M. B. Hossain, M. R. Islam, K. M. Muttaqi, D. Sutanto, A. P. Agalgaonkar // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 66. – P. 28626-28644.
- [11]. Ahmadi, P., Khoshnevisan, A. Dynamic simulation and lifecycle assessment of hydrogen fuel cell electric vehicles considering various hydrogen production methods / P. Ahmadi, A. Khoshnevisan // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 62. – P. 26758-26769.
- [12]. Dhimish, M., Schofield, N. Single-switch boost-buck DC-DC converter for industrial fuel cell and photovoltaics applications / M. Dhimish, N. Schofield // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 2. – P. 1241-1255.
- [13]. Lin, R., Zhao, Y., Wu, B. Toward a hydrogen society: Hydrogen and smart grid integration / R. Lin, Y. Zhao, B. Wu, // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2020. – Vol. 45, iss. 39. – P. 20164-20175.
- [14]. Шульга, Р. Н., Путилова, И. В. Мульти-агентные системы постоянного тока с использованием ВИЭ и водородных топливных элементов / Р. Н. Шульга, И. В. Путилова // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2019. – № 4-6. – С. 65-82.
- [15]. Манусов, В. З., Хасанзода, Н. Оптимизация энергоэффективности ветровых ресурсов Дальнего Востока на основе алгоритма роевого интеллекта / В. З. Манусов, Н. Хасанзода // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2018. – № 19-21. – С. 12-22.
- [16]. Son, G. -J., Kang, F. -S., Park, S. -J. Grid Connection Using a Structure That Combines a Buck Converter and a Push-Pull Converter to Reduce the Low-Frequency Current Ripple of the Fuel-Cell / G. -J. Son, F. -S. Kang, S. -J. Park // *IEEE Access*. – 2022. – Vol. 10. – P. 95804-95823.
- [17]. Janabi, A., Wang, B. Switched-capacitor voltage boost converter for electric and hybrid electric vehicle drives / A. Janabi, B. Wang // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2020. – Vol. 35, iss. 6. – P. 5615-5624.
- [18]. Mack, R. Demystifying switching power supplies / R. Mack. – Newnes, 2005. – 339 p.
- [19]. Erickson, R. W. Fundamentals of Power Electronics. 2ed / R. W. Erickson, D. Maksimovic. –

Springer, 2001. – 904 p.

[20]. Muntean, C., Astudillo, M., Serrano, D., Vasić, M. Capacitive-Based Isolated 1:1 Resonant Switched Capacitor DC–DC Converter / C. Muntean, M. Astudillo, D. Serrano, M. Vasić // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2023. – Vol. 38, no. 11. – P. 13507-13520.

[21]. Li, Y., Wang, Y., Guan, Y., Xu, D. Design and Optimization of High-Gain Bidirectional DC–DC Converter for Electric Vehicles, / Y. Li, Y. Wang, Y. Guan, D. Xu // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2023. – Vol. 38, no. 9. – P. 11221-11232.

[22]. Ellis, N. M., Amirtharajah, R. Large Signal Analysis on Variations of the Hybridized Dickson Switched-Capacitor Converter / N. M. Ellis, R. Amirtharajah // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2022. – Vol. 37, no. 12. – P. 15005-15019.

[23]. Li, Y., Wei, M., Lyu, X., Ni, Z., Cao, D. Analysis and Design of High-Efficiency Modular Multilevel Resonant DC-DC Converter / Y. Li, M. Wei, X. Lyu, Z. Ni, D. Cao // IEEE Open Journal of Power Electronics. – 2022. – Vol. 3. – P. 755-771.

[24]. Folmer, S., Stala, R. DC-DC High Voltage Gain Switched Capacitor Converter With Multilevel Output Voltage and Zero-Voltage Switching / S. Folmer, R. Stala // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 129692-129705.

[25]. Krstic, M., Eren, S., Jain, P. Analysis and Design of Multiphase, Reconfigurable Switched-Capacitor Converters / M. Krstic, S. Eren, P. Jain // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2020. – Vol. 8, no. 4. – P. 4046-4059.

[26]. Ye, Z., Lei, Y., Pilawa-Podgurski, R. C. N. The Cascaded Resonant Converter: A Hybrid Switched-Capacitor Topology With High Power Density and Efficiency / Z. Ye, Y. Lei, R. C. N. Pilawa-Podgurski // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2020. – Vol. 35, no. 5. – P. 4946-4958.

[27]. Zotov, L. G., Razinkin, V. P., Atuchin, V. V. Controllable electronic transformer based on the resonance structure with switching capacitor for low-rise buildings residential area power supply stabilization systems / L. G. Zotov, V. P. Razinkin, V. V. Atuchin // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2017. – Vol. 91. – P. 117–120.

[28]. Пат. 2734101 Российская Федерация, МПК Н 02 М 3/18. Регулируемый повышающий преобразователь постоянного напряжения / Зотов Л. Г.; заявитель и патентообладатель Новосибирский государственный технический университет. – № 2020117224; заявл. 26.05.2020; опубл. 13.10.20, Бюл. № 29. – 8 с.

[29]. Кобзев, А. В. Модуляционные источники питания РЭА / А. В. Кобзев, Г. Я. Михальченко, Н. М. Музыченко. – Томск: Радио и связь, 1990. – 336 с.

[30]. Пат. 2 746 272 Российская Федерация, МПК Н 02 М 3/18. Способ регулирования выходного напряжения повышающего преобразователя постоянного напряжения / Зотов Л. Г.; заявитель и патентообладатель Новосибирский государственный технический университет. – № 2020135310; заявл. 28.10.2020; опубл. 12.04.21, Бюл. № 11. – 11 с.

References

[1]. Shi, M., Vasquez, J. C., Guerrero J. M. and Huang, Y. Smart communities – Design of integrated energy packages considering incentive integrated demand response and optimization of coupled electricity-gas-cooling-heat and hydrogen systems / M. Shi, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, Y. Huang // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 80. – P. 31063-31077.

[2]. Hassan, Q., Sameen, A. Z., Olapade, O., Alghoul, M., Salman H. M., Jaszczur, M. Hydrogen fuel as an important element of the energy storage needs for future smart cities / Q. Hassan, A. Z. Sameen, O. Olapade, M. Alghoul, H. M. Salman, M. Jaszczur // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 78. – P. 30247-30262.

[3]. Hou, G., Xu, L., Taherian, H., Jiang, W., Song, Y. Performance analysis of a hybrid solar-hydrogen-retired EV batteries (REVB) energy system with thermal-electrical loops / G. Hou, L. Xu, H. Taherian // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 72. – P. 27827-27840.

[4]. Boynuegri, A. R., Tekgun, B. Real-time energy

management in an off-grid smart home: Flexible demand side control with electric vehicle and green hydrogen production / A. R. Boynuegri, B. Tekgun // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 60. – P. 23146-23155.

[5]. Torgaeva, D. S., Kabirov, V. A., Semenov, V. D., Akhtyrskiy, K. A., Otto, A. I. Construction of continuous simulation models of pulse converters of spacecraft electrical power systems with hydrogen energy storage / D. S. Torgaeva, V. A. Kabirov, V. D. Semenov, K. A. Akhtyrskiy, A. I. Otto // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 49. – P. 18918-18929.

[6]. Kabirov, V. A., Semenov, V. D., Torgaeva, D. S., Otto, A. I. Miniaturization of spacecraft electrical power systems with solar-hydrogen power supply system / V. A. Kabirov, V. D. Semenov, D. S. Torgaeva, A. I. Otto // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, iss. 24. – P. 9057-9070.

[7]. Bahri, R., Zeynali, S., Nasiri, N., Keshavarzi, M. R. Economic-environmental energy supply of mobile base stations in isolated nanogrids with

smart plug-in electric vehicles and hydrogen energy storage system / R. Bahri, S. Zeinali, N. Nasiri, M. R. Keshavarzi // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48, iss. 10. – P. 3725-3739.

[8]. Andreev, M. V., Bai, YU. D., Malyuta, B. D. Novaya metodika nastroiки releinoi zashchity ehnergosistem, soderzhashchikh vobnovlyaemye istochniki ehnergii i vodorodnye nakopiteli ehnergii / M. V. Andreev, YU. D. Bai, B. D. Malyuta // *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAEE)*. – 2023. – № 3. – S. 69-92.

[9]. Elistratov V. V., Denisov R. S. Razvitie izolirovannykh ehnergosistem na osnove vobnovlyaemykh istochnikov ehnergii i vodorodnogo akkumulirovaniya / V. V. Elistratov, R. S. Denisov // *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAEE)*– 2023. – № 1. – S. 12-22.

[10]. Hossain, M. B., Islam, M. R., Muttaqi, K. M., Sutanto, D., Agalgaonkar, A. P. Modeling and performance analysis of renewable hydrogen energy hub connected to an ac/dc hybrid microgrid / M. B. Hossain, M. R. Islam, K. M. Muttaqi, D. Sutanto, A. P. Agalgaonkar // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 66. – P. 28626-28644.

[11]. Ahmadi, P., Khoshnevisan, A. Dynamic simulation and lifecycle assessment of hydrogen fuel cell electric vehicles considering various hydrogen production methods / P. Ahmadi, A. Khoshnevisan // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 62. – P. 26758-26769.

[12]. Dhimish, M., Schofield, N. Single-switch boost-buck DC-DC converter for industrial fuel cell and photovoltaics applications / M. Dhimish, N. Schofield // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47, iss. 2. – P. 1241-1255.

[13]. Lin, R., Zhao, Y., Wu, B. Toward a hydrogen society: Hydrogen and smart grid integration / R. Lin, Y. Zhao, B. Wu, // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2020. – Vol. 45, iss. 39. – P. 20164-20175.

[14]. Shul'ga, R. N., Putilova, I. V. Mul'tiagentnye sistemy postoyannogo toka s ispol'zovaniem VIEH i vodorodnykh toplivnykh ehlementov / R. N. Shul'ga, I. V. Putilova // *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAEE)*. – 2019. – № 4-6. – S. 65-82.

[15]. Manusov, V. Z., Khasanzoda, N. Optimizatsiya ehnergoehffektivnosti vetrovykh resursov Dal'nego Vostoka na osnove algoritma roevogo intellekta / V. Z. Manusov, N. Khasanzoda // *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAEE)*. – 2018. – № 19-21. – S. 12-22.

[16]. Son, G. -J., Kang, F. -S., Park, S. -J. Grid Connection Using a Structure That Combines a Buck Converter and a Push-Pull Converter to Reduce the Low-Frequency Current Ripple of the Fuel-Cell / G. -J. Son, F. -S. Kang, S. -J. Park // *IEEE Access*. – 2022. – Vol. 10. – P. 95804-95823.

[17]. Janabi, A., Wang, B. Switched-capacitor voltage boost converter for electric and hybrid electric vehicle drives / A. Janabi, B. Wang // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2020. – Vol. 35, iss. 6. – P. 5615-5624.

[18]. Mack, R. *Demystifying switching power supplies* / R. Mack. – Newnes, 2005. – 339 p.

[19]. Erickson, R.W., Maksimovic, D. *Fundamentals of Power Electronics*. 2ed / R. W. Erickson, D. Maksimovic. – Springer, 2001. – 904 p.

[20]. Muntean, C., Astudillo, M., Serrano, D., Vasić, M. Capacitive-Based Isolated 1:1 Resonant Switched Capacitor DC-DC Converter / C. Muntean, M. Astudillo, D. Serrano, M. Vasić // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2023. – Vol. 38, no. 11. – P. 13507-13520.

[21]. Li, Y., Wang, Y., Guan, Y., Xu, D. Design and Optimization of High-Gain Bidirectional DC-DC Converter for Electric Vehicles, / Y. Li, Y. Wang, Y. Guan, D. Xu // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2023. – Vol. 38, no. 9. – P. 11221-11232.

[22]. Ellis, N. M., Amirtharajah, R. Large Signal Analysis on Variations of the Hybridized Dickson Switched-Capacitor Converter / N. M. Ellis, R. Amirtharajah // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2022. – Vol. 37, no. 12. – P. 15005-15019.

[23]. Li, Y., Wei, M., Lyu, X., Ni, Z., Cao, D. Analysis and Design of High-Efficiency Modular Multilevel Resonant DC-DC Converter / Y. Li, M. Wei, X. Lyu, Z. Ni, D. Cao // *IEEE Open Journal of Power Electronics*. – 2022. – Vol. 3. – P. 755-771.

[24]. Folmer, S., Stala, R. DC-DC High Voltage Gain Switched Capacitor Converter With Multilevel Output Voltage and Zero-Voltage Switching / S. Folmer, R. Stala // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 129692-129705.

[25]. Krstic, M., Eren, S., Jain, P. Analysis and Design of Multiphase, Reconfigurable Switched-Capacitor Converters / M. Krstic, S. Eren, P. Jain // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. – 2020. – Vol. 8, no. 4. – P. 4046-4059.

[26]. Ye, Z., Lei, Y., Pilawa-Podgurski, R. C. N. The Cascaded Resonant Converter: A Hybrid Switched-Capacitor Topology With High Power Density and Efficiency / Z. Ye, Y. Lei, R. C. N. Pilawa-Podgurski // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2020. – Vol. 35, no. 5. – P. 4946-4958.

[27]. Zotov, L. G., Razinkin, V. P., Atuchin, V. V. Controllable electronic transformer based on the resonance structure with switching capacitor for low-rise buildings residential area power supply stabilization systems / L. G. Zotov, V. P. Razinkin, V. V. Atuchin // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. – 2017. – Vol. 91. – P. 117-120.

[28]. Pat. 2734101 Rossiiskaya Federatsiya, MPK H 02 M 3/18. Reguliruemyi povyshayushchii preobrazovatel'

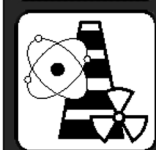
postoyannogo napryazheniya / Zotov L.G.;zayavitel' i patentoobladatel' Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. – №2020117224; zayavl. 26.05.2020; opubl. 13.10.20, Byul. № 29. – 8 s.

[29]. Kobzev, A. V. Modulyatsionnye istochniki pitaniya REHA / A. V. Kobzev, G. YA. Mikhal'chenko, N. M. Muzychenko. – Tomsk: Radio i svyaz', 1990. – P. 336

[30]. Pat. 2 746 272 Rossiiskaya Federatsiya, MPK H 02 M 3/18. Sposob regulirovaniya vykhodnogo napryazheniya povyshayushchego preobrazovatelya postoyannogo napryazheniya / Zotov L. G.; zayavitel' i patentoobladatel' Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. – №2020135310; zayavl. 28.10.2020; opubl. 12.04.21, Byul. № 11. – 11 s.

Транслитерация по BSI





АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC ENERGY

Статья поступила в редакцию 04.01.24 Ред. Рег. № 006-001-24

The article has entered in publishing office 04.01.24 Ed. Reg.No 006-001-24

УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ ВЬЕТНАМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Д. О. Пыльцова¹, О. Л. Ташлыков¹, Та Ван Тхыонг¹, Е. В. Кувшинова¹,
А. М. Широнова¹, И. П. Воронин¹, К. А. Махмуд^{1,2}, С. Е. Щеклеин¹**

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
e-mail: otashlykov@list.ru

²Управление ядерных материалов, Эль Маади, Каир, Египет

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.075-086

Заключение совета рецензентов: 15.01.24

Заключение совета экспертов: 28.01.24

Принято к публикации: 31.01.24

Стоимость защиты современных ядерно-технических установок составляет 20-30 % стоимости сооружения. Поэтому оптимизация состава радиационно-защитных материалов является важным мероприятием с целью снижения общей стоимости радиационной защиты при максимальных показателях защитных свойств материалов. При этом значительный вклад в минимизацию затрат на сооружение ОИАЭ вносит использование природных ресурсов, месторождения которых находятся вблизи этих объектов.

В качестве защитных материалов при использовании радиационных технологий важную роль играют композитные радиационно-защитные материалы (РЗМ) с матрицей (стекло, полимеры, цемент и др.), в состав которой вводятся различные наполнители. При этом появляется возможность проектировать оптимальный состав наполнителей применительно к планируемым условиям облучения, которые определяются изотопным составом радиоактивных загрязнений. В качестве наполнителей можно использовать как природные материалы, так и отходы промышленного производства, что способствует решению проблемы их удаления (в данном случае их утилизации).

В статье приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований образцов природных минералов из северной части Вьетнама, представляющих один из этапов комплекса исследований радиационно-защитных свойств природных минералов и их комбинаций, а также промышленных отходов для оценки потенциальной возможности их использования в составе строительных материалов для радиационной защиты объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), которые проводятся более 10 лет на кафедре «Атомные станции и ВИЭ» УрФУ.

Для расчетного определения радиационно-защитных свойств минералов с помощью базы данных ХСОМ были определены плотности образцов методом Архимеда с помощью плотномера МН-300А, а также исследован химический состав образцов с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (X-ray fluorescence spectrometry) в лаборатории Управления по ядерным материалам Египта (г. Каир). Экспериментальные исследования экра-

Д. О. Пыльцова, О. Л. Ташлыков, Та Ван Тхыонг, Е. В. Кувшинова, А. М. Широнова, И. П. Воронин, К. А. Махмуд, С. Е. Щеклеин. Исследование природных минералов Вьетнама для оценки потенциала их применения в качестве защиты от ионизирующего излучения // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 75-86

D. O. Pylytsova, O. L. Tashlykov, Ta Van Thuong, E. V. Kuvshinova, A. M. Shironina, I. P. Voronin, K. A. Mahmoud, S. E. Shecheklein. Vietnamese natural stone materials for γ -ray shielding purposes: an extensive theoretical and experimental study // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 75-86

нирующих свойств образцов проводились с помощью спектрометрической установки «Роботрон» с использованием гамма-источника цезий-137.

Результаты исследования 8 образцов природных материалов показали, что зеленый гранит (образец GG 8.2) может быть использован в качестве наполнителя бетона при сооружении АЭС и других объектов использования атомной энергии во Вьетнаме.

Ключевые слова: радиоактивные источники, безопасность; ионизирующее излучение; доза облучения; нормы безопасности; оптимизация радиационной защиты, источник гамма-излучения, кратность ослабления.

VIETNAMESE NATURAL STONE MATERIALS FOR Γ -RAY SHIELDING PURPOSES: AN EXTENSIVE THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY

*D. O. Pyltsova, O. L. Tashlykov¹, Ta Van Thuong¹, E. V. Kuvshinova¹,
A. M. Shironina¹, I. P. Voronin¹, K. A. Mahmoud^{1,2}, S. E. Shcheklein¹*

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
otashlykov@list.ru

²Nuclear Materials Authority, El Maadi, Cairo, Egypt

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.075-086

Referred: 15.01.24

Received in revised form: 28.01.24

Accepted: 31.01.24

The cost of protecting modern nuclear engineering installations is 20-30% of the cost of the facility. Therefore, optimization of the composition of radiation protection materials is an important measure to reduce the total cost of radiation protection at maximum protective properties of materials. At the same time, the use of natural resources, the deposits of which are located near these facilities, makes a significant contribution to minimizing the costs of the construction of the nuclear power plant.

Composite radiation protection materials (REM) with a matrix (glass, polymers, cement, etc.), which contains various fillers, play an important role as protective materials when using radiation technologies. At the same time, it becomes possible to design the optimal composition of fillers in relation to the planned irradiation conditions, which are determined by the isotopic composition of radioactive contaminants. Both natural materials and industrial waste can be used as fillers, which helps to solve the problem of their removal (in this case, their disposal).

The article presents the results of computational and experimental studies of samples of natural minerals from the northern part of Vietnam, representing one of the stages of a complex of studies of the radiation-protective properties of natural minerals and their combinations, as well as industrial waste to assess the potential possibility of their use as part of building materials for radiation protection of nuclear energy facilities (OIAE), which are conducted more than 10 years at the Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy of UrFU.

To calculate the radiation-protective properties of minerals using the XCOM database, the sample densities were determined by the Archimedes method using the MH-300A density meter, and the chemical composition of the samples was studied using X-ray fluorescence spectrometry in the laboratory of the Egyptian Nuclear Materials Administration (Cairo). Experimental studies of the shielding properties of the samples were carried out using the Robotron spectrometric installation using a cesium-137 gamma source.

The results of the study of 8 samples of natural materials showed that green granite (sample GG 8.2), mined in Sapa, can be used as a concrete filler in the construction of nuclear power plants and other nuclear energy facilities in Vietnam.

Keywords: radioactive sources, safety of; ionizing radiation; irradiation dose; safety standards; optimization of radiation protection, gamma radiation source, degree of weakening





Пыльцова
Дарья Олеговна
Pyltsova Darya
Olegovna

Сведения об авторе: студент, Уральский федеральный университет.

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность.

Публикации: 2

Information about the author: student, Ural Federal University.

Research interests: nuclear energy and technology, radiation safety.

Publications: 2



Ташлыков
Олег Леонидович

Tashlykov
Oleg Leonidovich

Сведения об авторе: докт. тех. наук, профессор кафедры атомных станций и ВИЭ, Уральский федеральный университет.

Образование: Томский политехнический институт, 1978.

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность, оптимизация ремонтных работ на АЭС.

Публикации: 2 монографии, 5 учебников, 11 учебных пособий, 456 научных публикаций.

Количество публикаций в РИНЦ – 456; цитирований – 2000; индекс Хирша – 24.

Количество публикаций в Scopus – 95; цитирований – 886; индекс Хирша – 17.

Количество публикаций в Web of Science – 66; цитирований – 722; индекс Хирша – 15.

Идентификатор автора в Scopus: 36992762900.

Идентификатор автора в Web of Science: AAM-4935-2021

Идентификатор автора в Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6397-015X>.

Information about the author: Professor of «Nuclear Power Plants and Renewables» Department, Doct. Sci (Engineering), Ural Federal University.

Education: Tomsk Polytechnic Institution, 1978.

Research area: nuclear energy and technologies, personnel radiation safety, optimization of repair works at NPP.

Publications: 2 monographs, 5 textbooks, 11 tutorials, 456 scientific works.

Number of publications in the RSCI – 456; citations – 2000; Hirsch index – 24.

Number of publications in Scopus – 95; citations – 886; H-index – 17.

Number of publications in Web of Science – 66; citations – 722; Hirsch index – 15.

Scopus author ID: 36992762900.

Web of Science Author ID: AAM-4935-2021

Orcid Author ID:

<https://orcid.org/0000-0001-6397-015X>.



Та Ван Тхьонг
Ta Van Thuong

Сведения об авторе: аспирант, Уральский федеральный университет.

Образование: Уральский федеральный университет (2020).

Область научных интересов: атомная энергетика и технологии.

Публикации: 11

Information about the author: postgraduate student, Ural Federal University.

Education: Ural Federal University (2020).

Research area: nuclear energy and technologies, safety optimization for nuclear facilities

Publications: 11



Кувшинова
Елена Викторовна
Kuvshinova Elena

Сведения об авторе: студент, Уральский федеральный университет.

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность.

Публикации: 6

Information about the author: student, Ural Federal University.

Research interests: nuclear energy and technology, radiation safety.

Publications: 6





Широнина
Александра Михайловна

Shironina Aleksandra
Mihaylovna

Сведения об авторе: студент, Уральский федеральный университет.

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность.

Публикации: 4

Information about the author: student, Ural Federal University.

Research interests: nuclear energy and technology, radiation safety, optimization of repair work at nuclear power plants.

Publications: 4



Воронин
Илья Павлович

Voronin Ilya Pavlovich

Сведения об авторе: студент, Уральский федеральный университет.

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, радиационная безопасность.

Публикации: 3

Information about the author: student, Ural Federal University.

Research interests: nuclear energy and technology, radiation safety.

Publications: 3



Махмуд Карем
Абделазим Габер

Karem Abd El Azim
Gaber Mahmoud

Сведения об авторе: канд. техн. наук, Уральский федеральный университет, научный сотрудник. Исследователь в управлении по ядерным материалам (Каир, Египет).

Образование: Эль-файюмский университет, Египет (2009), Магистратура факультета Естественных наук Хелуанского университета, Египет (2014), аспирантура УрФУ (2022).

Область научных интересов: радиационная безопасность, оптимизация радиационной защиты.

Публикации: 160.

Количество публикаций в Scopus – 160; цитирований – 1357; индекс Хирша – 25.

Количество публикаций в Web of Science – 97; цитирований – 1260; индекс Хирша – 24

Идентификатор автора в Scopus: 57208922330.

Идентификатор автора в WoS: AAD-8551-2020

Идентификатор автора в Orcid: <http://orcid.org/000-0001-5795-4727>

Information about the author: Cand. Sci (Engineering) Ural Federal University.

Assistant Researcher of physics Nuclear Materials Authority, El Maadi, Cairo, Egypt.

Education: Fayoum University, Fayoum, Egypt, Helwan University, Cairo, Egypt Pre – Master in «Radiation physics»

Research area: personnel radiation safety, optimization of radiation protection

Publications: 160

Number of publications in Scopus – 160; citations – 1357; Hirsch index – 25.

Number of publications in Web of Science – 97; citations – 1260; Hirsch index – 24

Scopus author ID: 57208922330.

Author WoS ID: AAD-8551-2020

Orcid Author ID:

<http://orcid.org/000-0001-5795-4727>



Щеклеин
Сергей
Евгеньевич

Sergey E. Shcheklein

Сведения об авторе: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972 г.).

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок, проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков, продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС, солнечная энергетика, ветровая энергетика, биоэнергетика.

Научный руководитель ряда реализованных инновационных проектов в т.ч. «Энергоэффективный дом для села», «Системы солнечного энергоснабжения автономных потребителей специального назначения», «Солнечные системы охранной сигнализации» и др.

Член редколлегии журналов «Известия вузов. Ядерная энергетика», международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология», международного научного журнала «Гелиотехника». Заслуженный энергетик России, лауреат Национальной экологической премии им. В.И. Вернадского, действительный член Международной энергетической академии. Индекс Хирша РИНЦ – 17.

Публикации: более 500 научных трудов, в том числе 5 монографий, 85 изобретений.

Author information: Doctor of technical science, professor, Urals Federal University, head of Atomic Stations and Renewable Energy Sources Department.

Education: Urals Polytechnic Institute (1972).

Scientific interests area: nuclear power unit's thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics.

A scientific director of several realized innovation projects, including «The energoefficient house for the village», «Special systems of individual consumer solar energy supply», «The solar systems for the guarding alarm» etc.

A member of the editorial board of «Institute of Higher Education News. Nuclear Power», International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology magazine, International Scientific Journal «Helioelectronics». An Honoured power engineering specialist of Russian Federation, Laureate of the Vernadsky National Environmental Prize, a member of International Energy Academy. Hirsch Index – 17.

Publications: more than 500 scientific works, including 5 monographs, 85 inventions

Введение

Атомная отрасль в России является одной из самых быстро развивающихся. Концерн Росэнергоатом является национальным лидером по производству электроэнергии (20 % от общей выработки). Госкорпорация «Росатом» занимает первое место в мире по объему портфеля заказов на сооружение АЭС (на разной стадии реализации находятся 35 энергоблоков в 12 странах). Постоянно расширяется использование ядерных технологий во многих областях деятельности человека.

Защита от излучений реактора, систем и оборудования на АЭС и других объектах использования атомной энергии (ОИАЭ) должна обеспечить снижение плотности потока нейтронов и гамма-излучения до значений, обеспечивающих в помещениях ОИАЭ мощность дозы, регламентированную нормативными документами [1], [2] и др.

Стоимость защиты современных ядерно-технических установок составляет 20-30 % стоимости сооружения, при этом толщина защиты может достигать больших размеров [3]. Поэтому оптимизация состава радиационно-защитных материалов является важным мероприятием с целью снижения общей стоимости радиационной защиты при максимальных показателях защитных свойств материалов. При этом значительный вклад в минимизацию затрат на сооружение ОИАЭ вносит использование местных природных ресурсов и промышленных отходов.

В качестве защитных материалов при использовании радиационных технологий важную роль играют композитные радиационно-защитные материалы (РЗМ) с матрицей (стекло, полимеры, цемент и др.), в состав которой вводятся различные наполнители [4], [5], [6]. При этом появляется возможность проекти-



ровать оптимальный состав наполнителей применительно к планируемым условиям облучения, которые определяются изотопным составом радиоактивных загрязнений [7], [8]. В качестве наполнителей можно использовать как природные материалы, так и отходы промышленного производства, что способствует решению проблемы их удаления (в данном случае их утилизации).

Исследование и проектирование комбинированных радиационно-защитных материалов направлено на реализацию одного из основных принципов радиационной защиты – принципа оптимизации [9], который должен реализовываться по всем возможным направлениям [10], [11], [12] и на всех этапах жизненного цикла ОИАЭ, включая вывод из эксплуатации [13], [14].

При сооружении ОИАЭ основную долю в объеме используемых стройматериалов занимает бетон. Основными компонентами бетонной смеси являются: вяжущее вещество (цемент, гипс, известь и другие), крупный заполнитель (щебень, гравий, керамзит и

прочие), мелкий наполнитель (песок, отсеб и так далее), вода.

Более 10 лет на кафедре «Атомные станции и ВИЭ» УрФУ ведутся исследования радиационно-защитных свойств «местных» (Египет, Иордания, Вьетнам и др.) минералов и их комбинаций для оценки потенциальной возможности их использования в составе строительных материалов для объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) [15], [16], [17], [18]. В представленной статье в качестве примера приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований природных минералов Вьетнама.

В ноябре 2016 г. Национальное собрание Вьетнама приняло решение о прекращении строительства АЭС по экономическим причинам [19].

В настоящее время во Вьетнаме идет подготовка к реализации проекта по строительству Центра ядерной науки и техники с исследовательским водо-водяным реактором мощностью до 15 МВт [20], [21]

Таблица сокращений

Буквы латинского алфавита		Буквы греческого алфавита	
<i>RL 4</i>	Известняк перекристаллизованный	a	Воздух
<i>GG 8</i>	Зеленый гранит	ρ	Плотность, г/см ³
<i>G 9a, G 9b, G 9c, G 7</i>	Гранит	w	Массовая доля
<i>GS1</i>	Гранодиорит	m	Линейный коэффициент ослабления, см-1
<i>M 3</i>	Мрамор	Δ	Слой половинного ослабления, см
<i>Z</i>	Атомный номер		
<i>l</i>	Толщина поглотителя, мм		

1. Материалы и методы исследования

1.1. Предмет исследования

В данной работе приведен обзор и результаты исследований радиационно-защитных свойств природных минералов Вьетнама из нескольких месторождений (рис. 1) в северной части страны недалеко от столицы Ханой.

Рис 1. Места отбора образцов
Fig. 1. Sampling sites





Исследуемые образцы

Таблица 1

The studied samples

Table 1

№	Фото образца	Название	Место отбора	Плотность, г/см ³
1		Гранодиорит (GS1)	Деревня Та Ван Дай II, коммуна Та Ван, город Сапа, провинция Лаокай	2,46
2		Мрамор (M 3)	Жилая группа № 2, квартал Кау Май, город Сапа, провинция Лаокай	2,833
3		Известняк перекристаллизованный (RL 4)	Жилая группа № 2, деревня Пхо, коммуна Мьонг Хоа, город Сапа, провинция Лаокай	2,676
4		Зеленый гранит (GG 8)	Деревня Ван Хань, коммуна Виньфук, уезд Виньлок, провинция Тханьхоа	2,871
5		Гранит (G 9a)	Провинция Лайчау	2,656
6		Гранит (G 9b)	Провинция Лайчау	2,604
7		Гранит (G 9c)	Провинция Лайчау	2,716
8		Гранит (G 7)	Деревня Тоонг, коммуна Тханьбинь, город Сапа, провинция Лаокай	2,737

1.2. Экспериментальные исследования

Плотность (ρ , г/см³) образцов измеряли с помощью плотномера МН-300А. Погрешность измерения находится в пределах $\pm 0,01$ г/см³. Измерения плотности проводились с использованием принципа Архимеда:

$$\rho = \frac{(W_a - W_L)}{W_a} \rho_L$$

где W_a – вес образца в воздухе,

W_L – вес образца в жидкости,

ρ_L – плотность жидкости.

Для расчетного определения радиационно-защитных свойств минералов был исследован химический состав образцов с помощью рентгенофлуорес-

центного анализа (X-ray fluorescence spectrometry) в лаборатории Управления по ядерным материалам Египта (г. Каир).

Метод основан на сборе и анализе спектра, полученного после возбуждения характеристического рентгеновского излучения, которое возникает при переходе атома из возбуждённого в основное состояние. Атомы разных элементов испускают фотоны со строго определёнными энергиями, измерив которые можно определить качественный элементный состав. Для измерения количества элемента регистрируется интенсивность излучения с определённой энергией. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Химический состав исследуемых образцов, %

Table 2

The chemical composition of the samples under study, %

Химическое соединение, элемент	Образец							
	G 7.2	G 9c	GS1	M 3	G 9a	RL 4	GG 8.2	G 9b
Al ₂ O ₃	4.384	5.826	7.142	0.000	3.420	5.782	0.000	3.804
SiO ₂	32.145	41.764	44.396	1.840	28.965	25.029	17.741	28.294
P ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.421	0.000
SO ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.196
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.860	0.450
K ₂ O	8.306	13.289	15.380	0.141	16.666	18.210	1.067	9.789
CaO	6.049	0.000	1.404	26.945	0.000	0.000	14.949	1.208
TiO ₂	0.488	0.115	0.150	0.134	0.455	0.477	0.866	0.294
V ₂ O ₅	0.086	0.055	0.058	0.067	0.089	0.157	0.167	0.156
Cr ₂ O ₃	0.028	0.021	0.028	0.038	0.027	0.035	0.062	0.061
MnO	0.129	0.000	0.024	0.032	0.227	0.434	0.165	0.042
Fe ₂ O ₃	9.734	2.516	1.653	0.239	10.765	6.988	9.582	1.382
NiO	0.010	0.012	0.013	0.008	0.010	0.015	0.022	0.014
CuO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.009	0.004
ZnO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.004	0.000	0.004
ZrO ₂	0.027	0.007	0.012	0.000	0.030	0.019	0.000	0.003
MoO ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CdO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sb ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WO ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PbO	0.001	0.003	0.004	0.000	0.001	0.001	0.006	0.004
Bi ₂ O ₃	0.005	0.003	0.003	0.000	0.008	0.003	0.012	0.002
Лёгкие элементы	38.608	36.388	29.734	70.555	39.305	42.839	54.070	53.292

Линейный коэффициент ослабления (μ) зависит от энергии гамма-излучения, атомного номера (Z) и плотности (ρ) поглотителя.

Измерения проводились с помощью спектрометра «Роботрон» (рис. 2). Сцинтилляционный детек-

тор, радиоактивный источник гамма-излучения и тестовый объект были помещены в свинцовую капсулу для защиты от излучения источника, а детекторы от естественного радиационного фона.

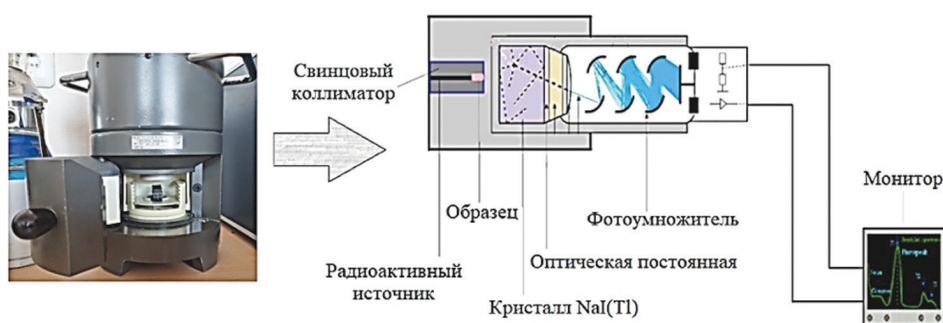


Рис. 2. Схема устройства спектрометра
Fig. 2. Diagram of the spectrometer device

Определение линейного коэффициента ослабления происходило на основании измерения интенсивности счета импульсов по следующей формуле:

$$\ln \frac{I_0}{I_1} = \mu \cdot l$$

где I_0 – интенсивность счета импульсов без поглотителя; I_1 – интенсивность счета импульсов с поглотителем толщиной l ; μ – линейный коэффициент ослабления.

Слой половинного ослабления ($\Delta 0,5$) определялся по формуле:

$$\Delta 0,5 = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

Значение интенсивности счета импульсов без поглотителя составило 574,43.

Для каждого образца проводилось по три измерения. В качестве источника излучения использовался изотоп Cs-137. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Результаты экспериментальных исследований образцов

Таблица 3.

Results of experimental studies of samples

Table 3.

№	Образец	Толщина образца l , мм	Интенсивность счета импульсов			Среднее значение	μ , см-1	$\Delta 0,5$, см
			№ эксперимента					
			1	2	3			
1	GS 1	11,40	488,80	489,80	490,80	489,80	0,1398	4,958
2	M 3.2	12,30	479,90	482,80	481,50	481,40	0,1436	4,827
3	RL 4	12,60	481,00	477,00	480,10	479,37	0,1435	4,830
4	GG 8.2	11,70	475,90	473,00	476,60	475,17	0,1621	4,276
5	G 9a.2	7,10	520,00	524,40	519,10	521,17	0,1370	5,059
6	G 9b. 1	9,00	510,50	507,60	511,90	510,00	0,1322	5,243
7	G 9c. 2	9,50	495,40	502,00	498,40	498,60	0,1490	4,652
8	G 7.2	9,10	503,70	499,50	511,90	505,03	0,1415	4,899

Массовый коэффициент ослабления вычисляется по формуле:

$$\mu_m = \sum_i w_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$$

где $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$ – массовый коэффициент ослабления

i -го составляющего элемента, w_i – массовая доля i -го составляющего элемента в образце материала.

Массовые коэффициенты ослабления образцов μ_m были определены на основании их химического состава при помощи базы данных XCOM [22].

2. Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены результаты определения линейного коэффициента ослабления (а) и слоя половинного ослабления (б) образцов.

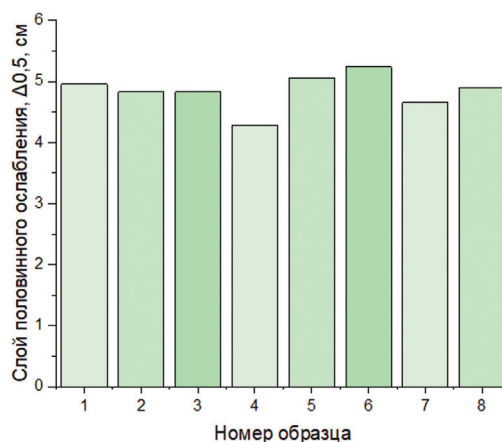
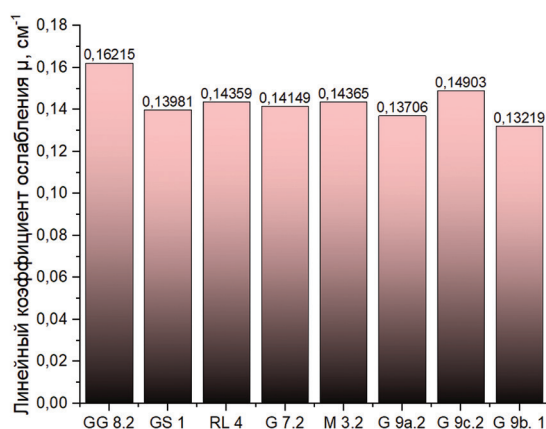


Рис. 3. Линейный коэффициент ослабления (а) и слой половинного ослабления (б) образцов (номера образцов указаны в соответствии с табл. 3)

Fig. 3: The linear attenuation coefficient (a) and the half attenuation layer (b) of the samples (sample numbers are indicated in accordance with Table 3)

Как следует из графиков, наибольшее значение линейного коэффициента ослабления и наименьшую толщину слоя половинного ослабления имеет зеленый гранит (образец GG 8.2).

На рис. 4, 5 приведены зависимости массового коэффициента ослабления от энергии излучения и плотности исследуемых образцов.

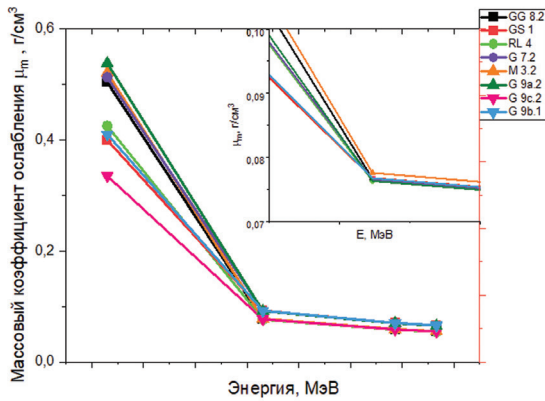


Рис. 4. Зависимость массового коэффициента ослабления от энергии гамма-излучения

Fig. 4. Dependence of the mass attenuation coefficient on the energy of gamma radiation

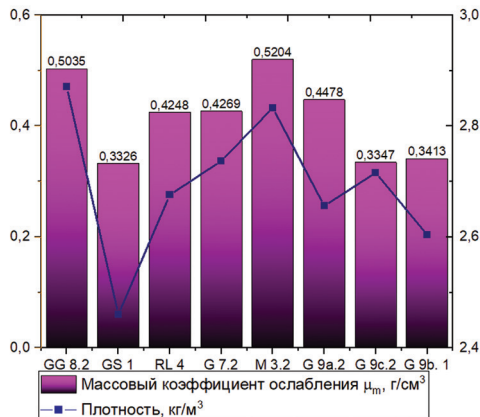


Рис. 5. Массовые коэффициенты ослабления и плотность образцов

Fig. 5. Mass attenuation coefficients and sample density

Как следует из графиков, наибольшие значения массового коэффициента ослабления имеют образцы зеленого гранита (GG 8.2) и мрамора (M3.2). Это обусловлено их наибольшей плотностью.

Заключение

Как показывают результаты исследования экранирующих свойств 8 образцов природных минералов, зеленый гранит (образец GG 8.2) может быть использован в качестве наполнителя бетона при сооружении радиационной защиты объектов использования атомной энергии во Вьетнаме.

[1]. СанПин 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). – М.: – 2003.

[2]. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).– М.: Минздрав России, 2009.

[3]. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений / В.П. Машкович, А.В. Кудряцева. – М.: Энергоатомиздат. – 1995. – 450 с.

[4]. Mahmoud K.A. Assessment of mechanical and radiation shielding capacity for a ternary CdO–BaO–B₂O₃ glass system: A comprehensive experimental, Monte Carlo simulation, and theoretical studies / K.A. Mahmoud [et al.] // Progress in Nuclear Energy. – 2022. – 146. 104169.

[5]. Mahmoud K. A. A new heavy-mineral doped clay brick for gamma-ray protection purposes / K. A. Mahmoud [et al.] // Applied Radiation and Isotopes. – 2021. – V.173: 109720.

[6]. Aladailah M.W. Exploration of physical and optical properties of ZnO nanopowders filled with polydimethylsiloxane (PDMS) for radiation shielding applications. Simulation and theoretical study Aladailah M.W. [et al.] // Optical Materials. – 2022. – 134. 113197.

[7]. Ташлыков О. Л. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения / О. Л. Ташлыков // Ядерная и радиационная безопасность. – 2015. – № 3 (77). – С.17-24.

[8]. Tashlykov O. L. Composition Optimization of Homogeneous Radiation-Protective Materials for Planned Irradiation Conditions / Tashlykov O. L. [et al.] // Atomic Energy. – 2017. – Vol. 121. – No. 4. – Pp. 303-307.

[9]. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103 // Annals of the ICRP. – 2007. – V. 37. – № 2-4.

[10]. Балусшкин Ф. А. Использование метода динамического программирования для оптимизации демонтажа оборудования энергоблоков АЭС, выводимых из эксплуатации, с целью минимизации облучения / Ф. А. Балусшкин [и др.] // Известия вузов. Ядерная энергетика, – 2009. – № 4. – С. 169–176.

[11]. Михайлова А. Ф. Пути реализации принципа оптимизации в радиологической защите персонала / А. Ф. Михайлова, О. Л. Ташлыков // Ядерная физика и инжиниринг. – 2018. – Том 9. – № 4. – С. 393-401.

[12]. Ташлыков О. Л. Возможности математических методов моделирования в решении проблемы снижения облучаемости персонала / О.Л. Ташлыков [и др.] // Вопросы радиационной безопасности. – 2009. – № 4. – С. 47-57.



[13]. Кропачев Ю. А. Оптимизация радиационной защиты на этапе вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации / Ю. А. Кропачев, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2019. – № 1. – С.119-130.

[14]. Носов Ю. В. Особенности вывода из эксплуатации быстрых реакторов БН-350, -600 / Ю. В. Носов [и др.] // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125. – № 4. – С. 195-199.

[15]. Mahmoud K. A. Investigation of radiation shielding properties for some building materials reinforced by basalt powder / K. A. Mahmoud [et al.]. AIP Conference Proceedings. – 2019. – 2174(1): 020036.

[16]. Mahmoud K. A. Investigation of the gamma ray shielding properties for polyvinyl chloride reinforced with chalcocite and hematite minerals / K. A. Mahmoud [et al.] // Heliyon. – 2020. – 6(3), e03560

[17]. Aladailah M. W. Radiation attenuation properties of novel glass system using experimental and Geant4 simulation / Aladailah M. W. [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. – 2022. – 199. 110404

[18]. Tashlykov O. L. An extensive experimental study on the role of micro-size pozzolana in enhancing the gamma-ray shielding properties of high-density polyethylene. / O. L. Tashlykov [et al.] // Radiation Physics and Chemistry 212 (2023) 111079.

[19]. Анализ состояния энергетической структуры и оценка условий для развития атомной энергетики во Вьетнаме / Та Ван Тхыонг [и др.] // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2023. – № 2 (407). – С. 43-53.

[20]. Van Thuong, T. Development of Guidance on the Preparation of the Environmental Impact Assessment Report for the Center for Nuclear Science and Technology of Vietnam / T. Van Thuong [et al.] // XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – Vol 575. – Pp 2900–2907.

[21]. Thuong Ta Van. Preparation of guidance on the appraisal of the environmental impact assessment report for the center for nuclear science and technology of Vietnam / Ta Van Thuong, O.L. Tashlykov, Khac Tuyen Pham // E3S Web of Conferences. – 2023. – 389. – 09057

[22]. База для получения данных сечения фотонов для одного элемента, соединения или смеси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>

Referenses:

[1]. SanPin 2.6.1.24-03. Sanitary rules for the design and operation of nuclear power plants (SP AS-03). – М.: – 2003.

[2]. Radiation safety standards (NRB-99/2009). – М.: Ministry of Health of Russia, 2009.

[3]. Mashkovich V.P. Protection from ionizing radiation / V.P. Mashkovich, A.V. Kudryavtseva. – М.: Energoatomizdat. – 1995. – 450 p.

[4]. Mahmoud K.A. Assessment of mechanical and radiation shielding capacity for a ternary CdO–BaO–B₂O₃ glass system: A comprehensive experimental, Monte Carlo simulation, and theoretical studies / K.A. Mahmoud [et al.] // Progress in Nuclear Energy. – 2022. – 146. 104169.

[5]. Mahmoud K. A. A new heavy-mineral doped clay brick for gamma-ray protection purposes / K. A. Mahmoud [et al.] // Applied Radiation and Isotopes. – 2021. – V.173: 109720.

[6]. Aladailah M.W. Exploration of physical and optical properties of ZnO nanopowders filled with polydimethylsiloxane (PDMS) for radiation shielding applications. Simulation and theoretical study Aladailah M.W. [et al.] // Optical Materials. – 2022. – 134. 113197.

[7]. Tashlykov O. L. Computational and experimental study of homogeneous protection against gamma radiation / O. L. Tashlykov // Nuclear and radiation safety. – 2015. – No. 3 (77). – P.17-24.

[8]. Tashlykov O. L. Composition Optimization of Homogeneous Radiation-Protective Materials for Planned Irradiation Conditions / Tashlykov O. L. [et al.] // Atomic Energy. – 2017. – Vol. 121. – No. 4. – Rr. 303-307.

[9]. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103 // Annals of the ICRP. – 2007. – V. 37. – No. 2-4.

[10]. Balushkin F. A. Using the dynamic programming method to optimize the dismantling of equipment at nuclear power plants being decommissioned in order to minimize exposure / F. A. Balushkin [et al.] // Izvestiya vuzov. Nuclear energy, – 2009. – No. 4. – pp. 169–176.

[11]. Mikhailova A.F. Ways to implement the optimization principle in radiological protection of personnel / A.F. Mikhailova, O.L. Tashlykov // Nuclear physics and engineering. – 2018. – Volume 9. – No. 4. – pp. 393-401.

[12]. Tashlykov O.L. Possibilities of mathematical modeling methods in solving the problem of reducing personnel exposure / O.L. Tashlykov [et al.] // Issues of radiation safety. – 2009. – No. 4. – P. 47-57.

[13]. Kropachev Yu. A. Optimization of radiation protection at the stage of decommissioning of NPP power units / Yu. A. Kropachev, O. L. Tashlykov, S. E. Shcheklein // News of universities. Nuclear energy. – 2019. – No. 1. – P.119-130.



[14]. Nosov Yu. V. Peculiarities of decommissioning of fast reactors BN-350, -600 / Yu. V. Nosov [et al.] // Atomic energy. – 2018. – Т. 125. – No. 4. – P. 195-199.

[15]. Mahmoud K. A. Investigation of radiation shielding properties for some building materials reinforced by basalt powder / K. A. Mahmoud [et al.]. AIP Conference Proceedings. – 2019. – 2174(1): 020036.

[16]. Mahmoud K. A. Investigation of the gamma ray shielding properties for polyvinyl chloride reinforced with chalcocite and hematite minerals / K. A. Mahmoud [et al.] // Heliyon. – 2020. – 6(3), e03560

[17]. Aladailah M. W. Radiation attenuation properties of novel glass system using experimental and Geant4 simulation / Aladailah M. W. [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. – 2022. – 199. 110404

[18]. Tashlykov O. L. An extensive experimental study on the role of micro-size pozzolana in enhancing the gamma-ray shielding properties of high-density polyethylene. / O. L. Tashlykov [et al.] // Radiation Physics and Chemistry 212 (2023) 111079.

[19]. Analysis of the state of the energy structure and

assessment of conditions for the development of nuclear energy in Vietnam / Ta Van Thuong [et al.] // International scientific journal Alternative Energy and Ecology. – 2023. – No. 2 (407). – pp. 43-53.

[20]. Van Thuong, T. Development of Guidance on the Preparation of the Environmental Impact Assessment Report for the Center for Nuclear Science and Technology of Vietnam / T. Van Thuong [et al.] // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – Vol 575. – Pp 2900–2907.

[21]. Thuong Ta Van. Preparation of guidance on the appraisal of the environmental impact assessment report for the center for nuclear science and technology of Vietnam / Ta Van Thuong, O.L. Tashlykov, Khac Tuyen Pham // E3S Web of Conferences. – 2023. – 389. – 09057

[22]. A database for obtaining photon cross-section data for one element, compound or mixture [Electronic resource]. – Access mode: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>



НЕВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ

NONRENEWABLE

ЭНЕРГЕТИКА



ENERGY



АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC ENERGY

АТОМНО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC-HYDROGEN ENERGY

Статья поступила в редакцию 06.01.24 Ред. Рег. № 007-001-21

The article has entered in publishing office 06.01.24 Ed. Reg. No 007-001-21

УДК 665.632



МЕТАНО-ВОДОРОДНЫЙ ПЕРЕХОД К ВОДОРОДНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Столяревский А. Я.

Центр комплексного развития технологий и энерготехнологических систем (Центр КОРТЭС),
Россия, г. Москва, ул. Максимова, 4, 123182
E-mail: anatoly.stolyarevsky@ccortes.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.087-101

Заключение совета рецензентов: 16.01.24

Заключение совета экспертов: 19.01.24

Принято к публикации: 29.01.24

Природный газ – один из ключевых энергоносителей в мировой энергетике XXI века, роль которого с каждым годом возрастает, благодаря его эксплуатационным характеристикам. В будущем водородное топливо должно заменить природный газ. Водород – самое эффективное и экологически чистое топливо. В России разработана технология адиабатической конверсии метана (АКМ), позволяющая получать метано-водородное топливо (МВС) с содержанием водорода до 50 %. Эта технология существенно упрощает промышленный процесс получения водорода, поскольку он не требует получения кислорода и происходит при более низких температурах (до 680 °С).

Ключевые слова: энергетика, водород, альтернативная энергетика, экология, энергоэффективность, природный газ, конверсия метана, удаление CO₂.

Столяревский А. Я. Метано-водородный переход к водородной экономике // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 87-101
Stolyarevsky A. Ya. Methane-hydrogen transition to hydrogen economy // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 87-101

METHANE-HYDROGEN TRANSITION TO HYDROGEN ECONOMY

Stolyarevsky A. Ya.

Center for Integrated Development of Technologies and Energy Technology Systems (CORTES Center),

Russia, Moscow, st. Maksimova, 4, 123182

E-mail: anatoly.stolyarevsky@ccortes.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.087-101

Referred: 16.01.24

Received in revised form: 19.01.24

Accepted: 29.01.24

Natural gas is one of the key energy carriers in the global energy sector of the XXI century, the role of which is increasing every year due to its operational characteristics. In the future, hydrogen fuel should replace natural gas. Hydrogen is the most efficient and environmentally friendly fuel. In Russia, the technology of adiabatic methane conversion (ACM) has been developed, producing methane-hydrogen fuel (MHM) with a hydrogen content of up to 50 %. This technology significantly simplifies the industrial process of producing hydrogen, since it does not require oxygen production and occurs at lower temperatures (up to 680 °C).

Keywords: energy, hydrogen, alternative energy, ecology, energy efficiency, natural gas, methane conversion, CO₂ removal.



Анатолий
Яковлевич
Столяревский

Anatoliy
Yakovlevich
Stolyarevsky

Сведения об авторе: с 1991 г. – директор Центра комплексного развития технологий и энерготехнологических систем (КОРТЭС), доктор технических наук (2009 г.).

Образование: факультет «Двигатели летательных аппаратов» МАИ (1973 г.), специальность «Космические энергоустановки».

Область научных интересов: Преобразование энергии, Атомно-водородная энергетика.

Публикации: более 150 статей и докладов, свыше 80 патентов на изобретения (ядерная энергетика, преобразование энергии).

Индекс Хирша (по РИНЦ): 11.

Author information: Center CORTES. Director

Education: 1973, Ing. (M.Sc.) Faculty of Engines, Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technology) 1982, C.Sc.(Ph.D) energy technology 2009, Dr.Sc. energy technology.

Career: Since 1973 till the date- Kurchatov's Institute of Atomic Energy (RRC KI) 1979 – team leader.

Since 1982 – Head of Laboratory of Energy & Technology Systems.

1986-1990 – Supervisor, director and coordinator of the Soviet-German project «Nuclear Power and Process Heat Plant with High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR)»

Since 1991 – Director (CEO) of Centre CORTES.

Research area: Energy Conversion. Atomic and hydrogen energy.

Publications: more than 150 articles and reports, over 80 patents for inventions (nuclear energy, energy conversion).

The Hirsch index (according to the RSCI): 11.

Введение

Концепция водородной энергетика, появившаяся около 50 лет назад и строившаяся последовательно проф. Т. Н. Везироглу и его соратниками, получила развитие в многочисленных научных разработках и проектах, реализуемых во всем мире.

Созданы технологии, обеспечивающие крупномасштабное применение водорода практически во всех отраслях энергетика, промышленности и тран-

спорта.

В частности, в России сформирован Сборник российских компетенций водородной промышленности (далее – Сборник), в котором собрана информация о разработках 118 научных и производственных организаций в сфере производства, хранения, транспортировки и применения водорода [2].



Таблица сокращений

Единицы измерения	
кВт.ч	киловатт. час
МВт	мегаватт
нм ³ /ч	нормальные кубометры в час
Аббревиатуры	
МВС	метано-водородная смесь
АКМ	адиабатическая конверсия метана
ПГ	природный газ
КПД	коэффициент полезного действия
ВТГР	Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор
КОРТЭС	Центр комплексного развития технологий и энерготехнологических систем
США	Соединенные штаты Америки
ЮАР	Южноафриканская республика
ТЭЦ	теплоэлектроцентраль
ТЭС	тепловая электростанция
ВИЭ	возобновляемые источники энергии
АЭС	атомная электростанция
СМР	строительно-монтажные работы
ГТД	газотурбинный двигатель
ГПА	газоперекачивающий агрегат
НДС	налог на добавленную стоимость
ПГХ	подземное газохранилище
МВС-1000	Установка получения метано-водородной смеси

НК-16СТ	наименование газовой турбины мощностью 16 мегаватт
Power-to-Gas (P2G)	технология получения водорода с помощью электроэнергии
ExW	торговый термин отгрузки производителем
Иэр	индекс эффективности
CCS	технология удаления и хранения диоксида углерода
GTL	получение жидкого топлива из газа
ТОТЭ	твердооксидный топливный элемент
КС	компрессорная станция
ЖКХ	жилищно-коммунальное хозяйство
ЕС	Европейский союз
СIF	торговый термин стоимости товара с доставкой
МПа	Мегапаскаль (10 ⁶ паскалей)
тыс. т	тысяч тонн
CO ₂	диоксид углерода
CH ₄	метан
м	метр
т/ч	тонна в час
км	километр
мм	миллиметр
млн т/год	миллион тонн в год
руб./€	курс рубля к Евро
Эи	интегральный эффект

1. Развитие водородной инфраструктуры

На сегодняшний день сложилась технологическая основа для построения водородной энергетики любого масштаба. Как пример, можно привести проект создания комплекса с высокой эффективно-

стью применения водорода, предусматривающий его получение, хранение, а также использование в промышленных процессах и в качестве горючего, и интеграция технологических объектов, использующих водород с минимизацией выбросов в атмосферу при транспортировке и потреблении газа [3].

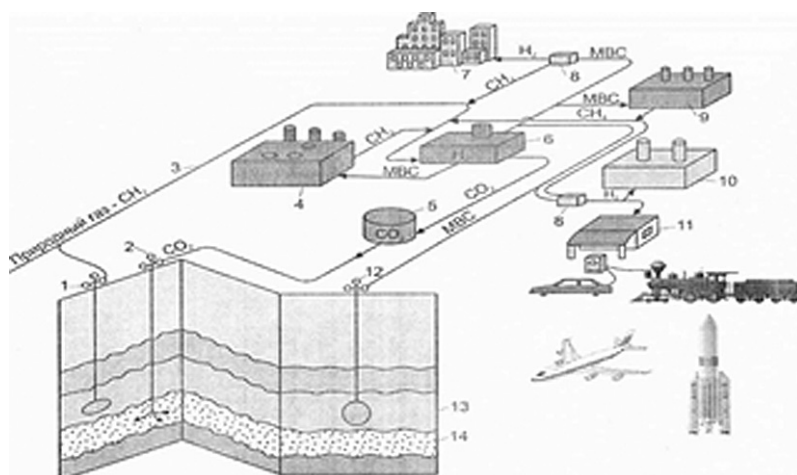


Рис. 1. Основные элементы водородного комплекса [3]
Fig. 1. Basic elements of the hydrogen complex [3]

В соответствии с проектом на месте сооружения и эксплуатации подземного хранилища газа создается комплекс по производству, хранению и распределению водорода. Структура предлагаемого комплекса показана на рис. 1, на котором представлена общая структура комплекса. Комплекс включает в себя, по меньшей мере, одно подземное хранилище газа, сегмент производства метано-водородной смеси, сегмент водород потребляющих предприятий и сегмент захоронения углекислого газа, при этом сегмент производства метано-водородной смеси трубопроводами соединен с подземным хранилищем газа, сегментом водород потребляющих предприятий и сегментом захоронения углекислого газа.

Количество подземных резервуаров в хранилище зависит от объема хранимого природного газа. Хранилище также может состоять из нескольких подземных резервуаров. Подземные резервуары строятся методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины. Образованный строительный рассол подлежит утилизации или захоронению. Для создания подземного хранилища необходимо, чтобы выбранная строительная площадка имела возможность по обеспечению необходимым количеством растворителя и способность утилизации или захоронения строительного рассола.

Объем хранимого природного газа определяется путем сложения, в основном, трех типов резерва природного газа. Первый – это нехватка природного газа при авариях на газопроводе. Резерв хранимого газа при авариях на газопроводе составляет максимум один раз в год в размере трехдневного объема потребления. Второй тип резерва – это объем природного газа для обеспечения сезонной неравномерности газопотребления. Величина сезонной неравномерности газопотребления составляет около 15 % от общего объема потребляемого газа за год. И третий тип резерва – это объем природного газа для регулирования пиковой неравномерности газопотребления данного района. Этот резерв природного газа составляет 3-5 % от общего объема потребления газа.

В состав подземного хранилища входят следующие объекты: подземные резервуары, компрессорная станция и наземная система подготовки газа к транспортировке. Компрессорная станция работает только во время закачки природного газа в подземное хранилище. Отбор газа из хранилища осуществляется за счет энергии сжатого газа. Система подготовки газа к транспортировке состоит из системы дросселирования, осушки, подогрева и измерения газа, отправленного на станцию по производству метано-водородной смеси.

Станция 6 по производству метано-водородной смеси является главным модулем комплекса по производству, хранению и распределению водорода и состоит из двух технологических комплексов. Первый технологический комплекс – это высокотемпературный газоохлаждаемый ядерный реактор, который предназначен для выработки тепловой энергии с це-

лью подогрева природного газа и подготовки водяного пара.

Второй технологический комплекс, который предназначен для производства метано-водородной смеси (МВС), состоит из трех самостоятельных взаимосвязанных технологических блоков:

- конвертор по производству метано-водородной смеси;
- конденсатор для выделения водяного пара из метано-водородной смеси;
- разделительный блок по выделению CO_2 из метано-водородной смеси

Конвертор по производству метано-водородной смеси является главным технологическим блоком во втором технологическом комплексе станции по производству метано-водородной смеси. Способ производства водорода в конверторе – паровая адиабатическая конверсия метана (АКМ).

Конвертор изготавливается из обычной стали, т.к. процессы, проходящие в нем, не превышают по температуре 700°C . Форма конвертора – цилиндрическая, высотой 7-10 м. Внутри реактора расположены катализаторы.

Сверху подается нагретый метан (природный газ) и водяной пар, снизу выходит метано-водородная смесь совместно с водяными парами и углекислым газом.

Конденсатор водяных паров является технологическим блоком стандартной конструкции. Его изготавливают и устанавливают для каждого конвертора индивидуально или его устанавливают для обслуживания группы конверторов. Данный вопрос решается в процессе проектирования станции по производству метано-водородной смеси.

Во втором технологическом комплексе станции по производству метано-водородной смеси самым сложным модулем является разделительный блок по выделению CO_2 из метано-водородной смеси.

В настоящее время существуют хорошо разработанные способы выделения CO_2 из сложных по составу смесей: а) абсорбционный метод, который широко применяется в промышленности; б) адсорбционный метод, а также: в) мембранная технология выделения CO_2 из метано-водородной смеси.

Устройство по выделению CO_2 из метано-водородной смеси расположено на территории станции 6 по производству метано-водородной смеси. Количество таких устройств не зависит от способа выделения CO_2 из метано-водородной смеси.

Количество устройств по выделению CO_2 зависит от обоснования технико-экономической целесообразности всего модуля – конвертора совместно с устройством по выделению CO_2 и конденсатора для выделения водяного пара.

Такие устройства по выделению CO_2 можно установить для каждого конвертора по производству метано-водородной смеси индивидуально. Можно установить для группы конверторов одно устройство.

Использование МВС в качестве топливного газа

позволяет уменьшить выбросы CO_2 и CO в полтора раза. Это связано с тем, что часть водорода, содержащегося в МВС, получается из воды, а также уменьшается на 30-40 % количество используемого топливного газа.

Сегмент водород потребляющих предприятий содержит по меньшей мере один модуль 8 по разделению метано-водородной смеси на водород и метан. Данный модуль устанавливается у потребителя. Такое решение позволяет использовать существующий фонд газопроводов без изменения их конструкции, поскольку использовать существующую сеть газопроводов без существенных изменений конструкции соединения труб, оборудования, компрессора и других элементов управления эксплуатации газопроводов возможно, если содержание водорода в метано-водородной смеси не превышает 40 % по объему.

Выделившийся в модуле разделения водород направляется потребителю (различные объекты, потребляющие водород), который принимает и использует его по назначению. Вторая часть метано-водородной смеси, которая составляет 60 %, является метаном (природным газом). Он по трубопроводу возвращается обратно в сегмент 6 по производству МВС или потребляется на месте.

В настоящее время модули разделения (мембранные и адсорбционные) позволяют получить водород из метано-водородной смеси чистотой до 99,9 %. В этом случае стоимость водорода с указанной чистотой составит всего на 15-20 % выше по сравнению со стоимостью метано-водородной смеси с содержанием 40 % водорода и 60 % метана, полученной непосредственно методом адиабатической конверсии метана.

На рис. 1 комплекса по производству, хранению и распределению водорода указаны некоторые возможные объекты, где используется водород. В частности, населенный пункт 7, промышленное предприятие 9, газотурбинная установка 10 для выработки электроэнергии, теплоэлектростанция 4, заправочная станция 11.

В указанных предприятиях, помимо прямого использования водорода в качестве горючего, его используют также в нижеследующих процессах:

- синтез аммиака и метанола;
- синтез газообразных и жидких углеводородов;
- гидрогазификация твердых горючих;
- гидропереработка и очистка жидких горючих;
- прямое восстановление руд черных и цветных металлов;
- получение чистых и сверхчистых металлов;
- спекание металлических порошков;
- производство авиационного, автомобильного и ракетного горючего, горючего для газовых турбин и МГД-генераторов;
- водород в химической и нефтехимической промышленности, в производстве минеральных удобрений, в промышленности добычи и транспортировки газа;
- водород и его изотопы в атомной промышленности;

- атомная и тепловая энергетика;
- в космической технике;
- в электрохимическом производстве;
- в пищевой и фармацевтической промышленности;
- изотопы водорода и управляемый термоядерный синтез.

Для регулирования неравномерности потребления водорода в комплексе по производству, хранению и распределению водорода предусмотрена скважина 12 для подземного хранения метано-водородной смеси или водорода.

В настоящее время, в основном, рассматриваются следующие способы хранения водорода:

- в газообразном состоянии под давлением в подземных хранилищах, газгольдерах и баллонах различного типа;
- в жидком состоянии в криогенных емкостях;
- в твердофазном связанном состоянии в гидридах металла;
- в химически связанном состоянии в жидких средах;
- в инкапсулированном газообразном состоянии в стеклянных микросферах, пенометаллах и цеолитах.

Обычно жидкий водород хранится в космических центрах, химических заводах и других объектах, где для технологии его использования необходимо иметь водород в жидком состоянии. На указанных объектах жидкий водород хранится в металлических резервуарах с экранно-вакуумной изоляцией.

В такой инфраструктуре предусмотрено подземное хранение чистого водорода и/или метано-водородной смеси с содержанием водорода до 40 % по объему.

Подземные резервуары хранилища метано-водородной смеси создаются в отложениях каменной соли методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины.

Количество подземных хранилищ зависит от объема хранимой метано-водородной смеси. Однако, как показывает анализ, количество подземных хранилищ должно быть не менее двух единиц. Оптимальная глубина размещения подземных хранилищ составляет от 800 до 1200 м. Геометрический объем единичного хранилища зависит от горно-геологических характеристик залежи каменной соли. Сооружаются подземные хранилища в залежах каменной соли всех морфологических типов – пластовых, пластово-линзообразных, линзообразных, куполах и штоках.

В предлагаемой технологической схеме комплекса по производству, хранению и распределению водорода предусмотрена технология захоронения углекислого газа, выделившегося из метано-водородной смеси непосредственно в сегменте 6 по производству метано-водородной смеси.

При производстве водорода (метано-водородной смеси) из природного газа методом адиабатической конверсии метана получается в виде балласта углекислый газ. Количество углекислого газа в метано-

водородной смеси составляет около 12 % по объему.

Проблема глобального потепления Земли в результате антропогенных воздействий углекислого и других газов, поглощающих излучение в инфракрасном диапазоне в атмосфере, постепенно возрастает. Вследствие чего растет средняя температура Земли. Следовательно, для соблюдения экологических норм, утвержденных международными соглашениями, углекислый газ, находящийся в метано-водородной смеси, необходимо выделить и отправить в систему для захоронения.

В настоящее время существует три способа захоронения углекислого газа – геологическое захоронение, захоронение на дне океана и карбонизация минералов. Из перечисленных способов два последних на сегодняшний день находятся на исследовательском этапе. Поэтому для захоронения углекислого газа в комплексе также рассматриваем вариант геологического захоронения.

Углекислый газ можно также захоронить в глубоководных пористых пластах – водоносных, газовых и нефтяных месторождениях.

При выборе района строительства комплекса по производству, хранению и распределению водорода при учете других требований (уровень и разновидность промышленности, численность населения, развитая сеть газопроводов и др.) необходимо учитывать и требования по возможности геологического способа захоронения углекислого газа. Сегмент захоронения углекислого газа состоит из компрессорной станции 5, скважины 2 для закачки углекислого газа и пласта 14 для закачки углекислого газа, который располагается под пластом 13 каменной соли. Углекислый газ в пористом пласте (водоносном, газовом, нефтяном) может находиться как в газообразном, так и в жидком состоянии. Агрегатное состояние углекислого газа зависит от параметров его состояния (давления и температуры).

Известно, что при нормальной температуре и при давлении 7,5 МПа углекислый газ переходит в жидкое состояние. Поэтому глубину пласта закачки углекислого газа необходимо выбирать так, чтобы он в данных условиях находился в жидком состоянии. Тогда его объем значительно уменьшится и, следовательно, уменьшится занимаемая площадь.

В территориальном расположении комплекса по производству, хранению и распределению водорода существуют многочисленные и многообразные трубопроводные системы по транспортировке природного газа, метано-водородной смеси и чистого водорода.

В настоящее время не существует широкого применения водорода, и поэтому нет системы его трубопроводного транспорта. Пока, в основном, рассматриваются следующие системы транспортировки водорода:

- в газообразном состоянии под давлением по трубопроводам, в газгольдерах и баллонах различного типа;
- в жидком состоянии в криогенных емкостях;

- в твердофазном связанном состоянии в гидридах металла;
- в химически связанном состоянии в жидких средах;
- в инкапсулированном газообразном состоянии в стеклянных микросферах, пенометаллах и цеолитах.

В мире существуют несколько примеров по трубопроводному транспорту водорода, как в чистом виде, так и в смеси с углеводородами.

В настоящее время эксплуатируется подземный трубопровод водорода (г. Рур), производительностью 18 т/ч с чистотой 95 % под давлением от 1,5 до 4 МПа, общей длиной 210 км при диаметре труб от 150 до 300 мм.

В США компания AirProducts с конца 70-х годов прошлого века эксплуатирует водородный трубопровод протяженностью 200 км между штатами Техас и Луизиана.

В ЮАР, в районе г. Иоганесбурга, эксплуатируется трубопровод длиной 80 км, по которому транспортируется смесь углеводородных газов с 50 % водорода.

В Тисайде (Англия) водород чистотой 95 % в количестве 80 тыс.т в год транспортируется потребителям по наземным трубопроводам длиной 16 км под давлением 5 МПа.

Трубопроводный транспорт жидкого водорода на большие расстояния невыгоден из-за очень высокой стоимости труб.

В предлагаемом комплексе по производству, хранению и распространению водорода, в основном, по трубопроводной сети транспортируется метано-водородная смесь и очень малое количество чистого водорода.

Проведенные исследования показали, что при объемном содержании водорода до 40 % в смеси с природным газом, существующие системы трубопроводного транспорта такого газа, практически не требуют модернизации.

Природный газ (CH₄) по магистральному газопроводу 3 из подземного хранилища 1 подается в станцию 6 по производству метано-водородной смеси. Станция 6 включает в себя высокотемпературный газоохлаждаемый ядерный реактор для выработки тепловой энергии и технологический комплекс по производству метано-водородной смеси. Технологический комплекс состоит из конвертора, конденсатора для конденсации водяного пара, находящегося в метано-водородной смеси и разделительного блока для выделения из метано-водородной смеси CO₂.

Для обеспечения бесперебойной подачи природного газа в станцию 6 по производству метано-водородной смеси предусмотрено подземное хранилище природного газа 1.

Из сегмента 6 по производству метано-водородной смеси выходят два потока. Один поток – основной – представляет собой метано-водородную смесь, которая направляется в сегмент водород потребляющих предприятий (потребителям), а второй поток

представляет собой углекислый газ (CO_2), который направляется в компрессорную станцию 5 для закачки в поглощающий пласт 14 через скважину 2.

Очищенная от водяного пара и углекислого газа метано-водородная смесь (содержание водорода в смеси до 40 %) направляется в сегмент водород потребляющих предприятий.

Перед потреблением метано-водородная смесь с помощью модулей 8 разделяется на чистый водород (H_2) и метан (CH_4). Метан (природный газ) возвращается по трубопроводу на вход станции 6 по производству метано-водородной смеси. Чистый водород (H_2) направляется к потребителю.

В частности, потребителями являются: населенный пункт (город, поселок) 7, промышленное предприятие 9, газотурбинная установка, работающая на водороде 10 или большая ТЭЦ 4, заправочная станция 11.

Для обеспечения бесперебойной подачи водорода потребителю в схеме предусмотрено подземное хранилище 12 водорода и/или метано-водородной смеси. Можно хранить и чистый водород. Для строительства подземных хранилищ МВС и H_2 предпочтение отдается непроницаемым, устойчивым горным породам, какими являются отложения каменной соли.

Метод получения МВС – адиабатическая конверсия метана.

Для подогрева природного газа до температуры 750°C и подготовки водяного пара необходимых параметров, используется высокотемпературный ядерный реактор, который находится в сегменте 6 по производству метано-водородной смеси.

Радиус влияния комплекса составляет от 200 до 500 км. Радиус влияния зависит от объема потребления водорода в районе размещения комплекса. Чем больше потребление водорода районом, тем больше производительность по водороду, следовательно, тем меньше будет радиус влияния. Таким образом, если район размещения малонаселенный, не имеет разви-

той промышленности, тогда радиус влияния комплекса должен быть не менее 500 км. Если район размещения комплекса является промышленно развитым, много потребителей водорода, тогда радиус влияния комплекса можно уменьшить до 200 км.

В представленной схеме комплекса по производству, хранению и распределению водорода указаны все возможные объекты, где используется водород. В частности: населенный пункт, промышленное предприятие, газотурбинная установка для выработки электроэнергии, ТЭС, заправочная станция.

В указанных предприятиях, помимо прямого использования водорода в качестве горючего, его используют также и в других процессах, см. выше.

В рамках концепции рассматриваемого комплекса реализована отдельная технологическая платформа централизованного производства газового топлива не только для локальных и региональных сфер его применения, но и для поставок по отдельным энергетическим коридорам в транснациональные газотранспортные сети и создания запасов этого топлива в подземных газохранилищах.

Таким образом, технологические предпосылки для перехода к водородной экономике уже созданы.

Препятствуют такому переходу экономические барьеры и, в первую очередь, высокие цены на водород и основные технологии его применения. Как показал анализ, несмотря на определённые успехи в развитии электрохимических технологий на сегодняшний день и ближайшую перспективу, водородный рынок будет нуждаться в мощной государственной поддержке [4, 5]. В частности, переход на водородное топливо в отрасли грузовых автоперевозок в условиях Европы будет требовать государственных субсидий и бюджетных ассигнований значительного масштаба.

Преодоление экономического барьера требует применения технологии получения водорода с низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

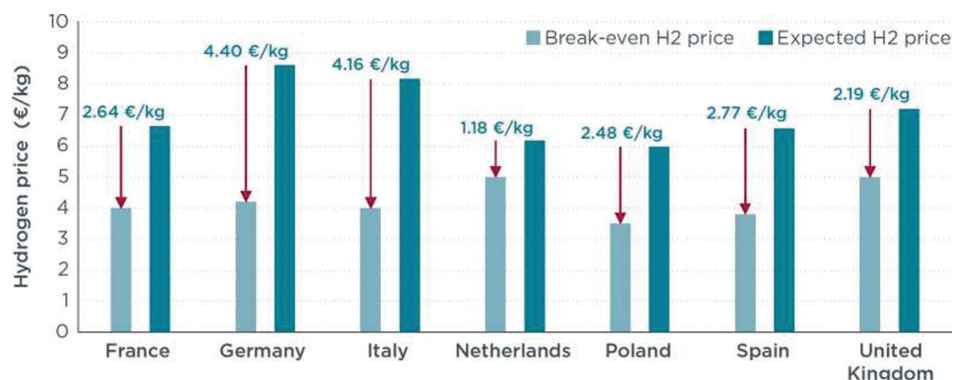


Рис. 2. Размер требуемых государственных субсидий для выравнивания стоимости топлива в водородных и дизельных грузовых автомобилях. 2030 г., 4x2 тип трейлера, 350 кВт, 25-27 т полезной загрузки [5]

Fig. 2. The amount of required government subsidies to equalize the cost of fuel in hydrogen and diesel trucks. 2030, 4x2 trailer type, 350 kW, 25-27 tons of payload [5]

2. Адиабатическая конверсия метана

Разработана и прошла опытно-промышленную апробацию технология получения метано-водородных смесей (МВС), производимых в процессах адиабатической конверсии метана (АКМ). Технология создавалась первоначально применительно к нагреву от высокотемпературного газоохлаждаемого ядерного реактора (ВТГР) [6, 10]. В последующем была освоена технология АКМ для энерготехнологий переработки природного газа в высокоэффективные энергоносители: водород, метано-водородные смеси (МВС), для применения метано-водородного топлива в газовой промышленности, на транспорте и в энергетике [7-9].



Рис. 3. Общий вид блока по производству метано-водородного топлива производительностью 1000 м³/ч

Fig. 3. General view of the unit for the production of methane-hydrogen fuel with a capacity of 1000 m³/h

В 2020 г. завершены испытания блока адиабатической конверсии метана (АКМ), рис. 3, производящего 1000 м³/ч метано-водородной смеси (МВС), в составе комплекса с натурным отсеком камеры сгорания газотурбинного двигателя НК-16СТ, использующим МВС в качестве топлива. Подтверждены все проектные характеристики блока, его высокая эффективность. Выпущены акты приёмочных испытаний от 10.07.2020 и 19.08.2020 г. и отчёты об испытаниях. Блок МВС-1000 и комплекс с ГТД НК-16СТ обеспечивают требуемые показатели, в том числе снижение эмиссии CO на 50 %. Топливная экономичность (расход природного газа на единицу выдаваемой мощности) улучшается на 12 %. Определён проектный облик и технические решения по серийным блокам производства МВС. Выход водорода на один объём природного газа пре-

вышает в два раза производительность технологии пиролиза метана. Показана возможность кратного повышения удельной производительности технологии АКМ при увеличении давления.

Назначение и область применения технологии АКМ

Технология адиабатической конверсии метана (АКМ) предназначена для получения водорода и метано-водородных смесей (МВС). По технологии АКМ половина производимого водорода образуется из водяного пара, что позволяет относить эту технологию к низкоуглеродным.

Во всех развитых странах концепция Водородной энергетики стала основной на ближайшую перспективу.

Развитие Водородной энергетики сталкивается с двумя главными проблемами: отсутствие инфраструктуры распределения водорода и его относительно высокая стоимость при электролизе воды.

Решением этих проблем становится перевод энергопотребления на метано-водородные смеси (МВС), производимые путём адиабатической конверсии метана (АКМ).

Процесс АКМ был разработан в нашей стране применительно к высокотемпературным атомным реакторам ещё в прошлом веке, но в последние годы всё чаще рассматривается в сочетании с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

При сочетании с ВИЭ, технология получения МВС строится на использовании избыточной энергии, превышающей нагрузку электросетей, подключённых к ВИЭ.

В этом случае производство МВС из природного газа и воды включает в себя получение и перегрев водяного пара с помощью электроэнергии, вырабатываемой ВИЭ. Таким образом, в МВС накапливается избыточная энергия ВИЭ и технология становится аккумулярующей. В отличие от электролиза воды капитальные затраты и эксплуатационные расходы на получение водорода уменьшаются многократно, что упрощает переход на данную технологию.

МВС могут поступать на хранение в газохранилище или непосредственно в газотранспортные сети. МВС, таким образом, становится новым типом энергоносителя с высоким (до 50 %) содержанием водорода, который легко отделяется в установках мембранного разделения.

Переход на метано-водородное топливо признан в ЕС основным направлением перехода к Водородной энергетике.

Избыточная энергия может отбираться и от других безуглеродных энергоисточников, в частности, от АЭС.

В нашей стране работа по освоению технологии АКМ применительно к получению МВС велась в по-

следние годы в соответствии с соглашением между ПАО «Газпром» и ОДК Ростехнологий. В соответствии с этим соглашением, в Самарской области на площадке ПАО «Кузнецов» была реализована разработка ООО «Центр КОРТЭС» при участии ряда предприятий г. Москвы, в короткие сроки создана установка МВС-1000 производительностью 1000 нм³/ч. В 2019 г. установка успешно прошла испытания с получением МВС при концентрации водорода до

50 %. В июле 2020 г. установка была подключена к газотурбинному двигателю (ГТД) НК-16 мощностью 16 МВт и прошла испытания на многогорелочном отсеке серийной камеры сгорания (КС) с целью отработки режима сжигания топливного газа с высоким содержанием водорода. Перевод ГТД НК-16 на работу с МВС позволил по результатам испытаний снизить эмиссию оксида углерода в 2 раза и выполнить нормы по оксидам азота.

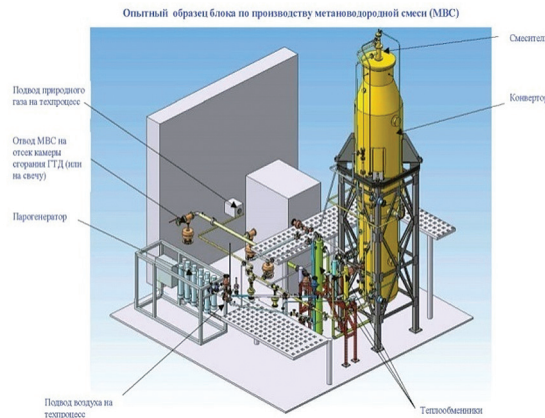


Рис. 4. Компонновка установки МВС-1000 для производства метано-водородного топлива по технологии АКМ
Fig. 4. Layout of the MVS-1000 installation for the production of methane-hydrogen fuel using ACM technology

Технология АКМ основана на объёмной реакции паровой конверсии метана с помощью отечественных катализаторов. Переход на получение МВС с более высокой (в 2-4 раза) производительностью не требует увеличения массогабаритных характеристик,

что даёт минимальные затраты на получение МВС. По технологии АКМ из одного объёма метана производится в 2 раза больше водорода, чем при пиролизе метана.

Преимущества технологии АКМ-ЭПП в сравнении с P2G

- ✓ **повышенный выход водорода на 1 кВт.ч (в 4-5 раз)**
- ✓ **уменьшенные массогабаритные характеристики установки (50 - 100%)**
- ✓ **уменьшенные капитальные затраты (50-70%)**
- ✓ **меньшая себестоимость производства водорода (50-70%)**
- ✓ **меньшие потери энергии**
- ✓ **применение отработанных катализаторов**
- ✓ **меньшие затраты электроэнергии**
- ✓ **гибкость по источникам энергии и сырья**

Рис. 5. Основные отличия производства метано-водородного топлива по технологии АКМ в сравнении с технологией Power-to-Gas (P2G)

Установки АКМ могут служить для создания комплексов получения водорода и МВС самой широкой производительности и дать в сочетании с ВИЭ новое качество: аккумулялирование энергии в больших масштабах при невысоких затратах. В частности, 20 % водорода в МВС – это 8 % от энергосодержания

того же объёма метана. Потребление метана в Европе составляет 500 млрд м³. Таким образом, производство МВС с 20 % водорода – это 100 млрд м³ водорода в год, т.е. почти 10 млн т, что превышает как текущее потребление водорода, так и целевые показатели ЕС на 2030 г. Важно отметить, что при технологии АКМ



получение МВС выгоднее производить в узлах потребления МВС и водорода, что снижает затраты на трубопроводный транспорт МВС и не требует перехода на трубы, устойчивые к водородному охрупчиванию.

Цель создания технологии состоит в том, чтобы повысить производительность и эффективность конверсии метана и термодинамическую эффективность процесса, снизить капитальные затраты и металлоёмкость, уменьшить содержание балластных газов (азот, аргон) в продуцируемом газе (водород, МВС) и повысить содержание водорода, повысить пожаровзрывобезопасность технологии, снизить выбросы CO_2 в процессе.

Краткое описание АКМ и основных преимуществ перед используемыми технологиями

По технологии АКМ получают метано-водородную смесь, используя в качестве источника сырья природный газ, проводят его каталитическую конверсию в адиабатическом реакторе с подводом в него водяного пара, предварительно перегретого электрическим нагревателем, поддерживая температуру на выходе из реактора АКМ на уровне не выше 700 °С.

В реакцию, в зависимости от условий ее протекания, вступает 45-55 % поступившего метана и практически полностью поступившие в составе природного газа его гомологи.

Такое построение технологии позволяет повысить эффективность конверсии метана при использовании отработанных катализаторов, снизить капитальные затраты и металлоёмкость за счёт высокой объёмной производительности реактора АКМ, уменьшить содержание балластных газов (азот, аргон) в продуцируемом газе (водород, МВС) и повысить содержание водорода (до 50-55 % в продуцируемой МВС), повысить пожаровзрывобезопасность технологии, в которой отсутствуют огневые процессы, высокие температуры и взрывоопасные смеси.

В технологии выбросы дымовых газов и CO_2 отсутствуют.

Перечисленные выше преимущества технологии АКМ по сравнению с аналогами позволяют легко масштабировать технологию по производительности (от 100 до 10000 $\text{nm}^3/\text{ч}$) при сохранении высоких технико-экономических показателей по затратам на получение водорода и МВС.

Выполнены разработки проекта по блоку АКМ для производства МВС объёмом 1000 $\text{nm}^3/\text{ч}$ с содержанием водорода 55 % или установки получения водорода производительностью не менее 500 $\text{nm}^3/\text{ч}$.

Имеющаяся документация и наработанная референтность позволяют начать проектные работы по головной установке сразу после утверждения решения о финансировании проекта (время Т).

С учётом времени на разработку документации, включая её экспертизу и согласование, а также прове-

дение тендеров по закупке оборудования и подготовительных работ на площадке строительства, начало работ по СМР может оцениваться в период Т+18 месяцев. Пуск установки отнесён на период Т+24 месяца.

В России сводный парк газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на основе ГТД НК-16СТ превышает 1100 агрегатов.

Расчеты денежных потоков и показателей экономической эффективности при 12 % экономии природного газа соответственно определили интегральный эффект Эи в размере 30,44 млн руб. с индексом эффективности Иэр равен:

$$\text{Иэр} = [30,44 \text{ млн руб.} : (34,833 \text{ млн руб.} \times 1 + 59,991 \text{ млн руб.} \times 0,8929 + 43,403 \times 0,7972)] + 1 = 1,25$$

Ниже приведено сравнение блока АКМ по получению жидкого водорода с электролизным вариантом.

Результаты предварительной оценки структуры цены на водород при его производстве в Мурманской области на базе технологии высокотемпературного электролиза под давлением:

Цена 1 т продукта, тыс. руб., без НДС, базис поставки ExW, при условиях: производительность по продукту – 1 т/час, 7000 т в год, объем и стоимость привлеченных инвестиций – 80 % капитальных затрат под 5 % годовых, срок возврата привлеченных инвестиций – 10 лет.

Предполагаемый способ транспортировки продуктов западноевропейским потребителям (наиболее вероятны поставки в Германию): смешанная перевозка (автотранспорт + морская перевозка) в специализированных ISO контейнерах.

Предварительная оценка структуры цены на водород при его производстве на базе технологии АКМ, с переработкой ПГ, приобретаемого по цене 13320 руб./т (\$180/т), без НДС, без стоимости доставки:

Цена 1 т продукта (технология АКМ), тыс. руб., без НДС, базис поставки ExW, при условиях: производительность по товарному продукту – 1 т/час, 7000 т в год, привлечение инвестиций в объеме 80 % капитальных затрат под 5% годовых, срок возврата привлеченных инвестиций – 10 лет.

Цены на водород (технология АКМ), €/т, на условиях CIF, балтийский порт, Германия, при курсе 88,2 руб./€:

Цены, при выборе источника питания ВЭС:

Газообразный водород, 99,9 %	
Цена ExW	1646
Провозная плата	1200
Аренда контейнера	450
Прочие затраты	150
Цена CIF	3446

Жидкий водород	
Цена ExW	2836
Провозная плата	650
Аренда контейнера	500

Прочие затраты	80
Цена CIF	4066

Таким образом, по предварительной оценке, цены на водород при его производстве по технологии АКМ ниже в 1,5-2,0 раза, чем в случае применения технологии электролиза под давлением при всех возможных вариантах его реализации.

В случае реализации сопутствующих продуктов (жидкая углекислота, сухой лед) со значительной скидкой (25-35 % относительно текущих оптовых рыночных цен), цены на водород, получаемый по технологии АКМ (на условиях ExW), по предварительной оценке, могут быть снижены:

- на газообразный водород – в 2,0 раза,
- на жидкий водород – в 1,4 раза.

К 2035 г. Россия должна выйти на 2 млн т/год экспортных поставок водорода, который может использоваться в сферах ЖКХ, в качестве топлива для автотранспорта, поездов, морских судов.

Рынок водорода ещё формируется, но его перспективные масштабы требуют быть готовыми к его освоению.

В частности, Япония в своей стратегии энергетического развития до 2040 г. заявила о планах импорта водорода в объеме 8 млн т/год, Южная Корея – 5,2 млн т/год, Малайзия – 1,6 млн т/год.

В денежном выражении объем рынка оценивается в 40 млрд долл. США/год и выше.

МВС с высоким содержанием водорода станут эффективным топливом для установок прямого электрохимического получения энергии в высокотемпературных твердооксидных топливных элементах – ТОТЭ (SOFC) с КПД до 60 % в режиме электрогенерации и КПД до 80 % в режиме когенерации тепла и электроэнергии. Такая технология создает переход к дальнейшим секторам Водородной экономики, в том числе – автотранспорту с практически нулевыми выбросами.

Опытная эксплуатация автомобилей на МВС, осуществляемая в стране и за рубежом, показала перспективность перевода автомобилей на МВС с содержанием водорода от 5 % до 10 % по весу (20÷40 % по объему). При этом в 2÷4 раза снижается токсичность выбросов по сравнению с природным газом, эксплуатационный расход снижается на 35÷40 %, а эксплуатационная экономичность повышается на 20÷25 %.

Диоксид углерода (CO₂) в технологии АКМ легко извлекается из метано-водородной смеси при высоком давлении, поэтому можно ожидать также эффективную поддержку механизмов и технологий CCS (система секвестрирования углерода), инструментов ETS (системы торговли выбросами (эмиссией)).

Метано-водородное топливо может быть преобразовано в процессах крупно-тоннажной химии в синтез-газ для применения в отраслях газохимии

(GTL), либо из него может быть выделен водород как целевой продукт для различных отраслей с помощью методов PSA (краткоциклового адсорбции) или мембранных крупнотоннажных технологий, освоенных в мировой практике.

Выводы

В настоящее время по программе ПАО «Газпром» на площадке ПАО «ОДК-Кузнецов» (г. Самара, пос. Винтай) создана опытная установка по получению МВС производительностью 1000 нм³/ч, в которой температура реакции не превышает 700 °С, что позволяет получать МВС с высоким содержанием водорода в простом аппаратном оформлении.

Технология превосходит мировые аналоги по всем основным показателям (производительность, содержание водорода в смеси, удельный расход энергоресурсов, количество вредных выбросов), позволяет повысить степень конверсии метана, уменьшить тепловые затраты, продлить срок использования катализатора адиабатического реактора.

Повышение содержания водорода в МВС позволяет при относительно небольшом снижении индекса Воббе существенно уменьшить эмиссию CO₂ за счет вывода углекислоты в процессе АКМ.

Более того, состав МВС с высоким содержанием водорода позволяет применять ее как эффективное топливо для установок прямого электрохимического получения энергии в высокотемпературных твердооксидных топливных элементах – ТОТЭ (SOFC) с КПД до 60 % в режиме электрогенерации и КПД до 80 % в режиме когенерации тепла и электроэнергии. Такая технология создает переход к дальнейшим секторам, так называемой Водородной экономики, в том числе – автотранспорту с практически нулевыми выбросами.

Получение МВС может стать технологией, позволяющей эффективно аккумулировать избыточную энергию ВИЭ и АЭС.

Метано-водородное топливо может быть преобразовано в синтез-газ для применения в процессах газохимии (GTL), либо из него может быть выделен водород как целевой продукт для различных отраслей с помощью методов PSA (краткоциклового адсорбции) или мембранных крупнотоннажных технологий, освоенных в мировой практике.

Такие широкие возможности применения МВС как альтернативного газового топлива, состоящего из метана и водорода, позволяют рассматривать эти технологии как отдельную технологическую платформу централизованного производства газового топлива не только для локальных и региональных сфер его применения, но и для поставок по отдельным энергетическим коридорам в транснациональные газотранспортные сети и создания запасов этого топлива в подземных газохранилищах (ПГХ).



Список литературы

- [1]. Veziroğlu TN, Basar O. Dynamics of a universal hydrogen fuel system. Hydrogenenergy. PartB. PlenumPress; 1974.
- [2]. Сборник российских компетенций водородной промышленности: http://sk-group-c.com/files/katalog_minpromtorg.pdf?ysclid=lqtkjpl7t611482123
- [3]. Комплекс по производству, хранению и распределению водорода. Патент RU № 2713349, Приор. 28.02.2019
- [4]. U.S. Department of Energy Hydrogen Activities and Hydrogen Shot Overview, March 2022: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-04/fc-expo-2022-doe-h2-overview-h2-shot-update.pdf>
- [5]. FUEL-CELL HYDROGEN LONG-HAUL TRUCKS IN EUROPE: A TOTAL COST OF OWNERSHIP ANALYSIS. THEINTERNATIONALCOUNCILONCLEANTRANSPORTATION. 2022.
- [6]. Столяревский А. Я. Ядерно-технологические комплексы на основе высокотемпературных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 123 с.
- [7]. Столяревский А. Я. Метано-водородное топливо // Энергия: экономика, техника, экология. – 2015. – № 3. – С. 16-23.
- [8]. Казарян В. А., Цыбульский П. Г., Пономарев-Степной Н. Н., Столяревский А. Я. Технология адиабатической конверсии углеводородов для производства энергоносителей. В сб. докладов на XIX Международном конгрессе «Новые технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи», Уфа-2009. Академия технологических наук. 2010.
- [9]. Столяревский А. Я. Технология производства водородо-метановой смеси для автотранспорта // Наука и техника в газовой промышленности. № 3, 2008. – С. 73-80.
- [10]. Пономарев-Степной Н. Н., Столяревский А. Я. Основные аспекты стратегии развития водородной энергетики, основанной на ядерных энергоисточниках. Доклад на Международной конференции МАГАТЭ «50 лет ядерной энергетики – следующие 50 лет». Москва-Обнинск, 27 июня – 2 июля 2004 г.
- [11]. N. Z. Muradov and T. N. Veziroğlu, «From hydrocarbon to hydrogen-carbon to hydrogen economy». International Journal of Hydrogen Energy, vol. 30, no. 3, pp. 225-237, 2005.
- [12]. J. D. Holladay, J. Hu, D. L. King, and Y. Wang, «An overview of hydrogen production technologies». Catalysis Today, vol. 139, no. 4, pp. 244-260, 2009.
- [13]. J. M. Ogden, M. M. Steinbugler, and T. G. Kreutz «Comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicles: implications for vehicle design and infrastructure development». Journal of Power Sources, vol. 79, no. 2, pp. 143-168, 1999.
- [14]. M. Onozaki, K. Watanabe, T. Hashimoto, H. Saegusa, and Y. Katayama. «Hydrogen production by the partial oxidation and steam reforming of tar from hot coke oven gas». Fuel, vol. 85, no. 2, pp. 143-149, 2006.
- [15]. Blue Hydrogen Production and Markets 2023-2033: Technologies, Forecasts, Players. ChingisIdrissov. IDTechEx. <https://www.idtechex.com/en/research-report/blue-hydrogen-production-and-markets-2023-2033-technologies-forecasts-players/922>.
- [16]. J. R. Rostrup-Nielsen. «Conversion of hydrocarbons and alcohols for fuel cells». Physical Chemistry Chemical Physics, vol. 3, no. 3, pp. 283-288, 2001.
- [17]. H. Song, L. Zhang, R. B. Watson, D. Braden, and U. S. Ozkan. «Investigation of bio-ethanol steam reforming over cobalt-based catalysts». Catalysis Today, vol. 129, no. 3-4, pp. 346-354, 2007.
- [18]. R. Farrauto, S. Hwang, L. Shore et al. «New material needs for hydrocarbon fuel processing: generating hydrogen for the PEM fuel cell». Annual Review of Materials Research, vol. 33, pp. 1-27, 2003.
- [19]. C. Song. «Fuel processing for low-temperature and high-temperature fuel cells: challenges, and opportunities for sustainable development in the 21st century». Catalysis Today, vol. 77, no. 1-2, pp. 17-49, 2002.
- [20]. J. Rostrup-Nielsen. «Hydrogen generation by catalysis» in Encyclopedia of Catalysis, I. T. Horvath, Ed., Wiley Interscience, 2003.
- [21]. Y. Shirasaki, T. Tsuneki, Y. Ota et al. «Development of membrane reformer system for highly efficient hydrogen production from natural gas». International Journal of Hydrogen Energy, vol. 34, no. 10, pp. 4482-4487, 2009.
- [22]. B. Sorensen, Hydrogen and Fuel Cells, Academic Press, 2011.
- [23]. K. L. Hohn and L. D. Schmidt. «Partial oxidation of methane to syngas at high space velocities over Rh-coated spheres». Applied Catalysis A, vol. 211, no. 1, pp. 53-68, 2001.
- [24]. J. J. Krummenacher, K. N. West, and L. D. Schmidt. «Catalytic partial oxidation of higher hydrocarbons at millisecond contact times: decane, hexadecane, and diesel fuel». Journal of Catalysis, vol. 215, no. 2, pp. 332-343, 2003.
- [25]. K. Aasberg-Petersen, J. H. Bak Hansen, T. S. Christensen et al. «Technologies for large-scale gas conversion». Applied Catalysis A, vol. 221, no. 1-2, pp. 379-387, 2001.
- [26]. L. Pino, V. Recupero, S. Beninati, A. K. Shukla, M. S. Hegde, and P. Bera. «Catalytic partial-oxidation of methane on a ceria-supported platinum catalyst for application in fuel cell electric vehicles». Applied Catalysis A, vol. 225, no. 1-2, pp. 63-75, 2002.
- [27]. Hydrogen Insights 2023. An update on the state of the global hydrogen economy, with a deep dive into North America. May 2023. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf>.
- [28]. J. D. Holladay, Y. Wang, and E. Jones, «Review

of developments in portable hydrogen production using microreactor technology». *Chemical Reviews*, vol. 104, no. 10, pp. 4767-4790, 2004.

[29]. T. A. Semelsberger, L. F. Brown, R. L. Borup, and M. A. Inbody. «Equilibrium products from autothermal processes for generating hydrogen-rich fuel-cell feeds». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 29, no. 10, pp. 1047-1064, 2004.

[30]. F. Joensen and J. R. Rostrup-Nielsen, «Conversion of hydrocarbons and alcohols for fuel cells». *Journal of Power Sources*, vol. 105, no. 2, pp. 195-201, 2002.

[31]. D. J. Wilhelm, D. R. Simbeck, A. D. Karp, and R. L. Dickenson. «Syngas production for gas-to-liquids applications: technologies, issues and outlook». *Fuel Processing Technology*, vol. 71, no. 1-3, pp. 139-148, 2001.

[32]. S. Ayabe, H. Omoto, T. Utaka et al. «Catalytic autothermal reforming of methane and propane over supported metal catalysts». *Applied Catalysis A*, vol. 241, no. 1-2, pp. 261-269, 2003.

[33]. C. Rhodes, B. P. Williams, F. King, and G. J. Hutchings. «Promotion of Fe₃O₄/Cr₂O₃ high temperature water gas shift catalyst». *Catalysis Communications*, vol. 3, no. 8, pp. 381-384, 2002.

[34]. *Global Hydrogen Review 2023*. September 2023. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.

[35]. P. Pietrogrande and M. Bezzeccheri. «Fuel processing» in *Fuel Cell Systems*, L. J. M. J. Blomen and M. N. Mugerwa, Eds., pp. 121-156, Plenum Press, New York, NY, USA, 1993.

[36]. M. W. Twigg, *Catalyst Handbook*, Wolfe Publishing, London, UK, 1989.

[37]. Basma, H., & Rodríguez, F. (2021). Race to zero: How manufacturers are positioned for zeroemission commercial trucks and buses in Europe. *International Council on Clean Transportation*. <https://theicct.org/publications/race-to-zero-ze-hdv-eu-dec21>

[38]. L. Bromberg, D. R. Cohn, and A. Rabinovich. «Plasma reformer-fuel cell system for decentralized power applications». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 22, no. 1, pp. 83-94, 1997.

[39]. L. Bromberg, D. R. Cohn, A. Rabinovich, and N. Alexeev. «Plasma catalytic reforming of methane». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 24, no. 12, pp. 1131-1137, 1999.

[40]. T. Hammer, T. Kappes, and M. Baldauf. «Plasma catalytic hybrid processes: gas discharge initiation and plasma activation of catalytic processes». *Catalysis Today*, vol. 89, no. 1-2, pp. 5-14, 2004.

[41]. T. Paulmier and L. Fulcheri. «Use of non-thermal plasma for hydrocarbon reforming». *Chemical Engineering Journal*, vol. 106, no. 1, pp. 59-71, 2005.

[42]. L. Bromberg, D. R. Cohn, A. Rabinovich, C. O'Brien, and S. Hochgreb. «Plasma reforming of

methane». *Energy and Fuels*, vol. 12, no. 1, pp. 11-18, 1998.

[43]. M. F. Demirbas. «Hydrogen from various biomass species via pyrolysis and steam gasification processes». *Energy Sources A*, vol. 28, no. 3, pp. 245-252, 2006.

[44]. M. Asadullah, S. I. Ito, K. Kunimori, M. Yamada, and K. Tomishige. «Energy efficient production of hydrogen and syngas from biomass: development of low-temperature catalytic process for cellulose gasification». *Environmental Science and Technology*, vol. 36, no. 20, pp. 4476-4481, 2002.

[45]. G. Weber, Q. Fu, and H. Wu. «Energy efficiency of an integrated process based on gasification for hydrogen production from biomass». *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, vol. 14, no. 1-2, pp. 33-49, 2006.

[46]. M. Ni, D. Y. C. Leung, M. K. H. Leung, and K. Sumathy. «An overview of hydrogen production from biomass». *Fuel Processing Technology*, vol. 87, no. 5, pp. 461-472, 2006.

[47]. N. Muradov. «Emission-free fuel reformers for mobile and portable fuel cell applications». *Journal of Power Sources*, vol. 118, no. 1-2, pp. 320-324, 2003.

[48]. Meszler, D., Delgado, O., Rodriguez, F., & Muncrief, R. (2018). European Heavy-Duty Vehicles – Cost effectiveness of fuel efficiency technologies for long-haul tractor-trailers in the 2025-2030 timeframe. *International Council on Clean Transportation*. <http://theicct.org/publications/cost-effectiveness-of-fuel-efficiency-tech-tractor-trailers>.

[49]. F. G. Zhagfarov, N. A. Grigor'Eva, and A. L. Lapidus. «New catalysts of hydrocarbon pyrolysis». *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, vol. 41, no. 2, pp. 141-145, 2005.

[50]. J. Turner, G. Sverdrup, M. K. Mann et al. «Renewable hydrogen production». *International Journal of Energy Research*, vol. 32, no. 5, pp. 379-407, 2008.

[51]. S. A. Grigoriev, V. I. Poremsky, and V. N. Fateev. «Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 171-175, 2006.

[52]. Ogden J., Dennis E., Steinbugler M., Strohhenn J. *Hydrogen Energy Systems Studies. Final Report*. Princeton University. 1995.

[53]. J. E. Funk. «Thermochemical hydrogen production: past and present». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 26, no. 3, pp. 185-190, 2001.

[54]. M. A. Lewis, M. Serban, and J. K. Basco. «Hydrogen production at < 550 °C using a low temperature thermochemical cycle» in *Proceedings of the Atoms for Prosperity: Updating Eisenhower's Global Vision for Nuclear Energy (Global '03)*, pp. 1492-1498, Chicago, III, USA, November 2003.



References

- [1]. Veziroğlu TN, Basar O. Dynamics of a universal hydrogen fuel system. Hydrogenenergy. PartB. PlenumPress; 1974.
- [2]. Collection of Russian competencies of the hydrogen industry: http://sk-group-c.com/files/katalog_minpromtorg.pdf?ysclid=lqktkjp17t611482123
- [3]. Complex for the production, storage and distribution of hydrogen. Patent RU No. 2713349, Prior. 02/28/2019
- [4]. U.S. Department of Energy Hydrogen Activities and Hydrogen Shot Overview, March 2022: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-04/fc-expo-2022-doe-h2-overview-h2-shot-update.pdf>
- [5]. FUEL-CELL HYDROGEN LONG-HAUL TRUCKS IN EUROPE: A TOTAL COST OF OWNERSHIP ANALYSIS. THEINTERNATIONALCO UNCILONCLEANTRANSPORTATION. 2022.
- [6]. Stolyarevsky A. Ya. Nuclear technological complexes based on high-temperature reactors. – M.: Ergoatomizdat, 1988. – 123 p.
- [7]. Stolyarevsky A. Ya. Methane-hydrogen fuel // Energy: economics, technology, ecology. – 2015. – No. 3. – P. 16-23.
- [8]. Kazaryan V. A., Tsybulsky P. G., Ponomarev-Stepnoy N. N., Stolyarevsky A. Ya. Technology of adiabatic conversion of hydrocarbons for the production of energy resources. On Sat. reports at the XIX International Congress «New technologies of the gas, oil industry, energy and communications», Ufa-2009. Academy of Technological Sciences. 2010.
- [9]. Stolyarevsky A. Ya. Technology of production of hydrogen-methane mixture for motor vehicles // Science and technology in the gas industry. No. 3, 2008. – P. 73-80.
- [10]. Ponomarev-Stepnoy N. N., Stolyarevsky A. Ya. Main aspects of the strategy for the development of hydrogen energy based on nuclear energy sources. Report at the IAEA International Conference «50 Years of Nuclear Energy – the Next 50 Years». Moscow-Obninsk, June 27 – July 2, 2004
- [eleven]. N. Z. Muradov and T. N. Veziroğlu, «From hydrocarbon to hydrogen-carbon to hydrogen economy». International Journal of Hydrogen Energy, vol. 30, no. 3, pp. 225-237, 2005.
- [12]. J. D. Holladay, J. Hu, D. L. King, and Y. Wang, «An overview of hydrogen production technologies». Catalysis Today, vol. 139, no. 4, pp. 244-260, 2009.
- [13]. J. M. Ogden, M. M. Steinbugler, and T. G. Kreutz «Comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicles: implications for vehicle design and infrastructure development». Journal of Power Sources, vol. 79, no. 2, pp. 143-168, 1999.
- [14]. M. Onozaki, K. Watanabe, T. Hashimoto, H. Saegusa, and Y. Katayama. «Hydrogen production by the partial oxidation and steam re-forming of tar from hot coke oven gas». Fuel, vol. 85, no. 2, pp. 143-149, 2006.
- [15]. Blue Hydrogen Production and Markets 2023-2033: Technologies, Forecasts, Players. ChingisIdrissov. IDTechEx. <https://www.idtechex.com/en/research-report/blue-hydrogen-production-and-markets-2023-2033-technologies-forecasts-players/922>.
- [16]. J. R. Rostrup-Nielsen. «Conversion of hydrocarbons and alcohols for fuel cells». Physico-chemical Chemistry Chemical Physics, vol. 3, no. 3, pp. 283-288, 2001.
- [17]. H. Song, L. Zhang, R. B. Watson, D. Braden, and U. S. Ozkan. «Investigation of bio-ethanol steam reforming over cobalt-based catalysts». Catalysis Today, vol. 129, no. 3-4, pp. 346-354, 2007.
- [18]. R. Farrauto, S. Hwang, L. Shore et al. «New material needs for hydrocarbon fuel processing: generating hydrogen for the PEM fuel cell». Annual Review of Materials Research, vol. 33, pp. 1-27, 2003.
- [19]. C. Song. «Fuel processing for low-temperature and high-temperature fuel cells: challenges, and opportunities for sustainable development in the 21st century». Catalysis Today, vol. 77, no. 1-2, pp. 17-49, 2002.
- [20]. J. Rostrup-Nielsen. «Hydrogen generation by catalysis» in Encyclopedia of Catalysis, I. T. Horvath, Ed., Wiley Interscience, 2003.
- [21]. Y. Shirasaki, T. Tsuneki, Y. Ota et al. «Development of membrane reformer system for highly efficient hydrogen production from natural gas». International Journal of Hydrogen Energy, vol. 34, no. 10, pp. 4482-4487, 2009.
- [22]. B. Sorensen, Hydrogen and Fuel Cells, Academic Press, 2011.
- [23]. K. L. Hohn and L. D. Schmidt. «Partial oxidation of methane to syngas at high space velocities over Rh-coated spheres». Applied Catalysis A, vol. 211, no. 1, pp. 53-68, 2001.
- [24]. J. J. Krummenacher, K. N. West, and L. D. Schmidt. «Catalytic partial oxidation of higher hydrocarbons at millisecond contact times: decane, hexadecane, and diesel fuel». Journal of Catalysis, vol. 215, no. 2, pp. 332-343, 2003.
- [25]. K. Aasberg-Petersen, J. H. Bak Hansen, T. S. Christensen et al. «Technologies for large-scale gas conversion». Applied Catalysis A, vol. 221, no. 1-2, pp. 379-387, 2001.
- [26]. L. Pino, V. Recupero, S. Beninati, A. K. Shukla, M. S. Hegde, and P. Bera. «Catalytic partial-oxidation of methane on a ceria-supported platinum catalyst for application in fuel cell electric vehicles». Applied Catalysis A, vol. 225, no. 1-2, pp. 63-75, 2002.
- [27]. Hydrogen Insights 2023. An update on the state of the global hydrogen economy, with a deep dive into North America. May 2023. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf>.
- [28]. J. D. Holladay, Y. Wang, and E. Jones, «Review

of developments in portable hydrogen production using microreactor technology». *Chemical Reviews*, vol. 104, no. 10, pp. 4767-4790, 2004.

[29]. T. A. Semelsberger, L. F. Brown, R. L. Borup, and M. A. Inbody. «Equilibrium products from autothermal processes for generating hydrogen-rich fuel-cell feeds». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 29, no. 10, pp. 1047-1064, 2004.

[30]. F. Joensen and J. R. Rostrup-Nielsen, «Conversion of hydrocarbons and alcohols for fuel cells». *Journal of Power Sources*, vol. 105, no. 2, pp. 195-201, 2002.

[31]. D. J. Wilhelm, D. R. Simbeck, A. D. Karp, and R. L. Dickenson. «Syngas production for gas-to-liquids applications: technologies, issues and outlook». *Fuel Processing Technology*, vol. 71, no. 1-3, pp. 139-148, 2001.

[32]. S. Ayabe, H. Omoto, T. Utaka et al. «Catalytic autothermal reforming of methane and propane over supported metal catalysts». *Applied Catalysis A*, vol. 241, no. 1-2, pp. 261-269, 2003.

[33]. C. Rhodes, B. P. Williams, F. King, and G. J. Hutchings. «Promotion of Fe₃O₄/Cr₂O₃ high temperature water gas shift catalyst». *Catalysis Communications*, vol. 3, no. 8, pp. 381-384, 2002.

[34]. *Global Hydrogen Review 2023*. September 2023. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.

[35]. P. Pietrogrande and M. Bezzeccheri. «Fuel processing» in *Fuel Cell Systems*, L. J. M. J. Blomen and M. N. Mugerwa, Eds., pp. 121-156, Plenum Press, New York, NY, USA, 1993.

[36]. M. W. Twigg, *Catalyst Handbook*, Wolfe Publishing, London, UK, 1989.

[37]. Basma, H., & Rodriguez, F. (2021). Race to zero: How manufacturers are positioned for zeroemission commercial trucks and buses in Europe. *International Council on Clean Transportation*. <https://theicct.org/publications/race-to-zero-ze-hdv-eu-dec21>

[38]. L. Bromberg, D. R. Cohn, and A. Rabinovich. «Plasma reformer-fuel cell system for decentralized power applications». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 22, no. 1, pp. 83-94, 1997.

[39]. L. Bromberg, D. R. Cohn, A. Rabinovich, and N. Alexeev. «Plasma catalytic reforming of methane». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 24, no. 12, pp. 1131-1137, 1999.

[40]. T. Hammer, T. Kappes, and M. Baldauf. «Plasma catalytic hybrid processes: gas discharge initiation and plasma activation of catalytic processes». *Catalysis Today*, vol. 89, no. 1-2, pp. 5-14, 2004.

[41]. T. Paulmier and L. Fulcheri. «Use of non-thermal plasma for hydrocarbon reforming». *Chemical Engineering Journal*, vol. 106, no. 1, pp. 59-71, 2005.

[42]. L. Bromberg, D. R. Cohn, A. Rabinovich,

C. O'Brien, and S. Hochgreb. «Plasma reforming of methane». *Energy and Fuels*, vol. 12, no. 1, pp. 11-18, 1998.

[43]. M. F. Demirbas. «Hydrogen from various biomass species via pyrolysis and steam gasification processes». *Energy Sources A*, vol. 28, no. 3, pp. 245-252, 2006.

[44]. M. Asadullah, S. I. Ito, K. Kunimori, M. Yamada, and K. Tomishige. «Energy efficient production of hydrogen and syngas from bio-mass: development of low-temperature catalytic process for cellulose gasification». *Environmental Science and Technology*, vol. 36, no. 20, pp. 4476-4481, 2002.

[45]. G. Weber, Q. Fu, and H. Wu. «Energy efficiency of an integrated process based on gasification for hydrogen production from bio-mass». *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, vol. 14, no. 1-2, pp. 33-49, 2006.

[46]. M. Ni, D. Y. C. Leung, M. K. H. Leung, and K. Sumathy. «An overview of hydrogen production from biomass». *Fuel Processing Technology*, vol. 87, no. 5, pp. 461-472, 2006.

[47]. N. Muradov. «Emission-free fuel reformers for mobile and portable fuel cell applications». *Journal of Power Sources*, vol. 118, no. 1-2, pp. 320-324, 2003.

[48]. Meszler, D., Delgado, O., Rodriguez, F., & Muncrief, R. (2018). *European Heavy-Duty Vehicles – Cost effectiveness of fuel efficiency technologies for long-haul tractor-trailers in the 2025-2030 timeframe*. *International Council on Clean Transportation*. <http://theicct.org/publications/cost-effectiveness-of-fuel-efficiency-tech-tractor-trailers>.

[49]. F. G. Zhagfarov, N. A. Grigor'Eva, and A. L. Lapidus. «New catalysts of hydrocarbon pyrolysis». *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, vol. 41, no. 2, pp. 141-145, 2005.

[50]. J. Turner, G. Sverdrup, M. K. Mann et al. «Renewable hydrogen production». *International Journal of Energy Research*, vol. 32, no. 5, pp. 379-407, 2008.

[51]. S. A. Grigoriev, V. I. Poremsky, and V. N. Fateev. «Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 171-175, 2006.

[52]. Ogden J., Dennis E., Steinbugler M., Strohbahn J. *Hydrogen Energy Systems Studies. Final Report*. Princeton University. 1995.

[53]. J. E. Funk. «Thermochemical hydrogen production: past and present». *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 26, no. 3, pp. 185-190, 2001.

[54]. M. A. Lewis, M. Serban, and J. K. Basco. «Hydrogen production at < 550 °C using a low temperature thermochemical cycle» in *Proceedings of the Atoms for Prosperity: Updating Eisenhower's Global Vision for Nuclear Energy (Global '03)*, pp. 1492-1498, Chicago, III, USA, November 2003.

Транслитерация по BSI





АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC ENERGY

АТОМНО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ATOMIC AND HYDROGEN ENERGY

Статья поступила в редакцию 04.01.24 Ред. Пер. № 288-001-24
УДК 621.039:62-622

The article has entered in publishing office 04.01.24 Ed. Reg. No. 288-001-24

ОЦЕНКА РАБОЧЕГО РЕСУРСА ЛОПАТОК И ДИСКОВ ТУРБИНЫ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ВОДОРОДНОМ ПЕРЕГРЕВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ПАРОТУРБИННОМ ЦИКЛЕ АЭС

Байрамов А. Н.

ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр РАН»,
Отдел энергетических проблем СНЦ РАН
Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77
тел.: +7(8452)56-91-95; e-mail: art2198@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.102-118

Заключение совета рецензентов: 19.01.24

Заключение совета экспертов: 24.01.24

Принято к публикации: 30.01.24

Целью статьи является обоснование эффективности участия АЭС в комбинировании с водородным комплексом в покрытии пиков электрической нагрузки в энергосистеме по критерию скорости отпуска пиковой мощности с учетом рабочего ресурса наиболее важных составляющих ротора турбоагрегата – рабочих лопаток и дисков.

Современные условия развития атомной энергетики в России предъявляют к атомным станциям требования маневренности. В частности, это продиктовано энергетической стратегией развития России на перспективу до 2035 г., в которой поставлена задача о привлечении АЭС к участию в регулировании суточной неравномерности электрической нагрузки в диапазоне до 50 % от номинальной мощности. Кроме этого, атомные станции будут привлекаться к участию в первичном регулировании частоты, что будет обязывать их нести разгрузочный режим работы в течение суток. Поскольку АЭС в энергосистеме всегда несут базисную нагрузку, то все эти обстоятельства вынуждают искать способы обеспечения базисной нагрузкой. Традиционным решением являлось использование гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Но из-за специфики их сооружения связка АЭС+ГАЭС не эффективна. Более эффективно использование водородного комплекса на основе электролизного получения водорода и кислорода с целью их использования для перегрева рабочего тела в паротурбинном цикле АЭС в пиковые периоды электрической нагрузки в энергосистеме. При этом критически важным является оценка скорости отпуска пиковой мощности по критерию рабочего ресурса наиболее важных составляющих ротора турбоагрегата – рабочих лопаток и дисков. В статье на основе известных методик и моделей по усталостному износу выполнена оценка рабочего ресурса рабочих лопаток и дисков первой ступени ротора ЦВД, как наиболее

Байрамов А. Н. Оценка рабочего ресурса лопаток и дисков турбины в условиях циклических нагрузок при водородном перегреве рабочего тела в паротурбинном цикле АЭС // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 102-118

Bayramov A. N. Working life assessment of turbine blades and disks under cyclic loads conditions with hydrogen overheating of the working fluid in the steam turbine cycle of NPP // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 102-118



подверженных циклическому износу на примере турбины К-1000-60/1500 в условиях использования паро-водородного перегрева свежего пара.

Ключевые слова: атомная электростанция, водородный комплекс, безопасность, усталостный износ, рабочий ресурс.

WORKING LIFE ASSESSMENT OF TURBINE BLADES AND DISKS UNDER CYCLIC LOADS CONDITIONS WITH HYDROGEN OVERHEATING OF THE WORKING FLUID IN THE STEAM TURBINE CYCLE OF NPP

Bairamov A. N.

Federal State Budgetary Institution Federal Research Center «Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Department of Energy problems of SSC RAS

Russia, 410054, Saratov, st. Politekhnikeskaya, 77
tel.: +7(8452)56-91-95; e-mail: art2198@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.102-118

Referred: 19.01.24

Received in revised form: 24.01.24

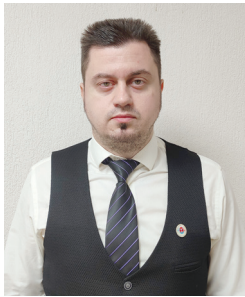
Accepted: 30.01.24

The purpose of the article is to substantiate the effectiveness of the participation of nuclear power plants in combination with a hydrogen complex in covering peaks of electrical load in the power system according to the criterion of the rate of release of peak power, taking into account the working life of the most important components of the turbine unit rotor-rotor blades and disks.

Modern conditions for the development of nuclear energy in Russia impose maneuverability requirements on nuclear power plants. In particular, this is dictated by the energy development strategy of Russia for the period up to 2035, which sets the task of attracting nuclear power plants to participate in regulating daily unevenness of electrical load in the range of up to 50% of the rated power. In addition, nuclear power plants will be involved in the primary frequency regulation, which will oblige them to carry out unloading operation during the day. Since nuclear power plants in the power system always carry a base load, all these circumstances force us to look for ways to provide a base load. The traditional solution has been the use of pumped storage power plants (PSPP). But due to the specifics of their construction, the combination of nuclear power plants + pumped storage power plants is not effective. It is more effective to use a hydrogen complex based on the electrolysis of hydrogen and oxygen for the purpose of using them to overheat the working fluid in the steam turbine cycle of nuclear power plants during peak periods of electrical load in the power system. In this case, it is critically important to assess the rate of peak power release based on the criterion of the working life of the most important components of the turbine unit rotor-rotor blades and disks. In the article, based on well-known methods and models for fatigue wear, the working life of the working blades and disks of the first stage of the HPC rotor, as the most susceptible to cyclic wear, is assessed using the example of the C-1000-60/1500 turbine under conditions of using steam-hydrogen superheating of fresh steam.

Keywords: nuclear power plant, hydrogen complex, safety, fatigue wear, working life.





Байрамов
Артем Николаевич

*Bairamov
Artem Nicolaevich*

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр РАН», Отдел энергетических проблем СНЦ РАН.

Должность: старший научный сотрудник.

Образование: Саратовский государственный технический университет, 2007 г.

Ученая степень: доктор технических наук.

Основной круг научных интересов: водородная энергетика, проблемы создания энергетического оборудования, энерго- и ресурсосберегающие, экологически чистые химико-технологические процессы, моделирование технических систем, термодинамические процессы в технических системах, возобновляемые источники и системы прямого преобразования энергии.

Количество публикаций: 74

h-index: 14

SPIN-код: 1620-2441

ORCID: 0000-0003-1573-0578

Scopus Author ID: 35224451800

Research ID: P-6565-2017

Place of work: Federal research center Federal State Budgetary Institution of Science Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Department of Energy Problems of SSC RAS.

Post: senior researcher.

Education: Saratov State Technical University, 2007 year.

Academic degree: doctor of technical science.

Principal reach of scientific knowledges: hydrogen energy, problems building of energy equipments, energy resources savings, ecological clean and chemical-technological processes, modeling of technical systems, thermodynamics processes in technical systems, renewable and systems of direct transform energy.

Quantity of publications: 74

h-index: 14

SPIN-код: 1620-2441

ORCID: 0000-0003-1573-0578

Scopus Author ID: 35224451800

Research ID: P-6565-2017

Таблица сокращений

Буквы латинского алфавита	
H_2	Водород
O_2	Кислород
N	Электрическая мощность; число циклов нагружения; ньютон
t_{np}	Температура перегретого пара
l	Длина усталостной трещины
l_0	Исходная длина усталостной трещины
dl	Прирост длины усталостной трещины
dN	Прирост числа циклических нагружений
ΔK	Размах коэффициента интенсивности напряжений
C	Характеристики циклической трещиностойкости стали
n	
$N_{дон}$	Допустимое число циклов нагружения
N_z	Годовое число циклов
K_{max}	Максимальный коэффициент интенсивности циклического нагружения
K_{min}	Минимальный коэффициент интенсивности циклического нагружения
$P_{a_{ном}}$	Осевое усилие в номинальном режиме
$P_{u_{ном}}$	Окружное усилие в номинальном режиме
$P_{рез}$	Результатирующее усилие в номинальном режиме

$P_{a_{перезр}}$	Осевое усилие в режиме с паро-водородным перегревом
$P_{u_{перезр}}$	Окружное усилие в режиме с паро-водородным перегревом
P_0	Результатирующее усилие от воздействия изменения расхода пара в условиях паро-водородного перегрева (без учета термической составляющей напряжений)
P_1	Результатирующее усилие в режиме с паро-водородным перегревом с учётом окружного и осевого термомеханических напряжений
P_2	Результатирующее усилие в режиме с паро-водородным перегревом с учётом продольного термического напряжения
$\Delta P_{рез_{мех}}$	Разность давления на лопатках проточной части турбины (разность результирующего механического усилия)
$\Delta P_{рез_{термомех}}$	Разность результирующего термомеханического усилия
f	Площадь поперечного сечения лопатки
$W_{перезр}$	Скорость перегрева свежего пара
Буквы греческого алфавита	
$\tau_{0,1}$	Время роста усталостной трещины до нижней границы критической длины 0,1 мм
$\eta_{пров}$	Коэффициент полезного преобразования провальной мощности в пиковую



$\eta_{\text{АЭС(бр)}}$	КПД энергоблока АЭС брутто
v	Скорость роста усталостной трещины
σ_{max}	Максимальные напряжения в цикле нагружения
σ_{min}	Минимальные напряжения в цикле нагружения
α	Безразмерный коэффициент, учитывающий геометрические размеры и характер распределения напряжения
π	Число «пи»
$\Delta\sigma_{\text{a_терм}}$	Осевое термическое напряжение
$\Delta\sigma_{\text{u_терм}}$	Окружное термическое напряжение
$\Delta\sigma_{\text{терм_прод}}$	Термические напряжения продольного направления
<i>Буквы русского алфавита</i>	
К-1000-60/1500	Паровая турбина конденсационного типа
$\mathcal{E}_{\text{пров}}$	Провальная электроэнергия
<i>Нижние индексы</i>	
пп	Перегретый пар
пров	Провальная
АЭС	Атомная электрическая станция
бр	Брутто
доп	Допустимое
max	Максимальный
min	Минимальный
г	Годовое
0,1	Нижняя граница критической длины усталостной трещины (в мм)
0	Исходное значение; без учета термической составляющей напряжений
a_ном	Осевое номинальное
u_ном	Окружное номинальное
рез	Результатирующее
a_перегр	Осевое в режиме с перегревом
u_перегр	Окружное в режиме с перегревом
a_терм	Осевое термическое
u_терм	Окружное термическое
прод_терм	Продольное термическое

1	Паро-водородный перегрев с учётом окружного и осевого термомеханических напряжений
2	Паро-водородный перегрев с учётом продольного термического напряжения
рез_mех	Результатирующее механическое
рез_термо-мех	Результатирующее термомеханическое
перегр	перегретый
<i>Аббревиатуры</i>	
АЭС	Атомная электростанция
СПП	Сепаратор-пароперегреватель
ГАЭС	Гидроаккумулирующая электростанция
ЦВД	Цилиндр высокого давления
ЦНД	Цилиндр низкого давления
КПД	Коэффициент полезного действия
ПГУ	Парогазовая установка
ГТУ	Газотурбинная установка
ГЭС	Гидроэлектростанция
ТЭС	Теплоэлектроцентраль
ВВЭР	Водо-водяной энергетический реактор
ОЭС	Объединенная энергосистема
ФГБУН ФИЦ	«Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный Центр Российской Академии Наук»
<i>Размерности</i>	
кВт	Киловатт
МВт	Мегаватт
долл./кВт	Доллар на киловатт
МВт·ч	Мегаватт час
тыс. МВт	Тысячи мегаватт
%	Процент
°С	Градусы Цельсия
мм/цикл	Миллиметры за цикл
МПа·√м	Мегапаскаль метр ^{1/2}
м	метр
ц/год	Циклы в год
Н	Ньютон
м ²	Квадратный метр
МВт/мин	Мегаватт в минуту
°С/мин	Градус Цельсия в минуту

Введение

В соответствии с энергетической стратегией развития России до 2035 г. одной из приоритетных задач в атомной энергетике является обеспечение участия АЭС в регулировании неравномерности суточных графиков нагрузки с диапазоном регулирования до 50 % от номинального уровня мощности [1]. Кроме этого атомные станции будут привлекаться к участию в первичном регулировании частоты, что

предусматривает их работу в режиме разгрузки на 2 % от номинального уровня мощности [2, 3]. Таким образом, очевидно, что сложившиеся условия в атомной энергетике способствуют развитию АЭС в новой концепции, которая предполагает наличие маневренных возможностей, что позволит им адаптироваться к переменным нагрузкам. Очевидно, такая адаптация будет связана с разгрузкой АЭС. Вместе с тем страте-

гией развития атомной энергетики в России до 2050 г. запланировано строительство ряда новых АЭС в различных регионах страны, что в сложившихся условиях потребует от них наличия маневренных возможностей посредством разгрузки. Следует отметить, что современные проекты атомных станций хоть и предусматривают разгрузочные возможности, в том числе и реакторной установки, тем не менее, режим с постоянной нагрузкой более эффективен и предпочтителен. Это связано, прежде всего, со специфическими особенностями работы реакторной установки и, в особенности, с надежностью и безопасностью работы твэлов.

Одним из решений проблемы является поиск таких аккумулирующих энергоустановок, которые бы в связке с атомной станцией служили бы средством обеспечения её базисной электрической нагрузкой в рамках единого энергокомплекса.

Ранее традиционно с этой целью предполагалось использование ГАЭС. Но для их сооружения нужны специальные природные условия, что не позволяет рассматривать связку АЭС+ГАЭС в качестве единого энергокомплекса. При этом режим зарядки ГАЭС будет происходить по тарифу энергосистемы, который в 3-4 раз превосходит себестоимость электроэнергии от АЭС [4]. Кроме этого, удельные капиталовложения в ГАЭС достигают порядка 2000 долл/кВт. Все это снижает перспективы использования ГАЭС в связке с атомной станцией.

В этой связи более эффективным является использование водородного комплекса на основе электролизного получения водорода и кислорода с целью перегрева рабочего тела в паротурбинном цикле АЭС. При этом водородный комплекс в силу своей специфики может быть размещен на небольшом удалении от АЭС. В целях повышения безопасного использования водородного комплекса автором статьи предложена и разработана концепция подземного размещения его основного оборудования. Таким образом, водородный комплекс является средством обеспечения АЭС базисной нагрузкой как единый энергокомплекс с возможностью потребления электроэнергии от АЭС по себестоимости.

Следует отметить, что сегодня в различных институтах и научно-производственных объединениях мира ведутся масштабные работы по совершенствованию технологии электролиза воды [5-13], а также ведутся разработки по поиску эффективной стратегии получения водорода методом электролиза за счет использования внепиковой мощности, в том числе на атомных электростанциях [14-23].

Автором статьи в ряде работ показана эффективность обеспечения базисной электрической нагрузкой АЭС при комбинировании с водородным комплексом. Такая концепция связана с возможностью обеспечения атомной станции маневренных свойств, поскольку создает возможность для участия в покрытии пиковых электрических нагрузок.

Теоретический анализ.

Обоснование исходных данных к оценке скорости отпуска пиковой мощности для АЭС в комбинировании с водородным комплексом

На рисунке 1 на основании патента на изобретения [24] приведена принципиальная схема комбинирования АЭС с водородным комплексом.

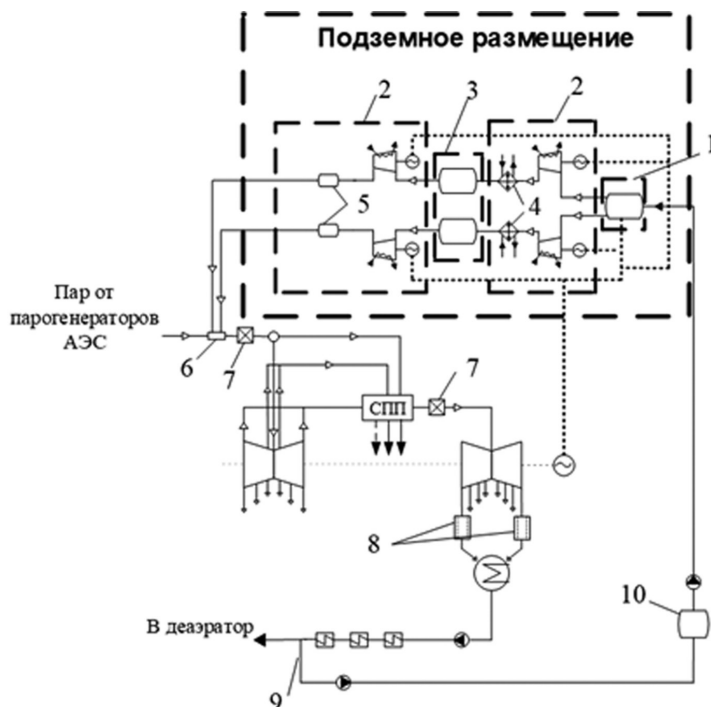


Рис. 1. Принципиальная схемы комбинирования АЭС с водородным комплексом: 1 – система электролиза воды; 2 – система компримирования водорода и кислорода; 3 – система хранения водорода и кислорода на основе ёмкостей; 4 – концевые охлаждающие теплообменники; 5 – промежуточные ёмкости водорода и кислорода; 6 – водород-кислородная камера сгорания для перегрева свежего пара; 7 – каталитический дожигатель (рекомбинатор); 8 – устройство магнитной сепарации непрореагировавшего водорода; 9 – рециркуляция добавленного рабочего тела; 10 – бак-аккумулятор

Fig. 1. Schematic diagram of combining a nuclear power plant with a hydrogen complex: 1 – water electrolysis system; 2 – hydrogen and oxygen compression system; 3 – tank-based hydrogen and oxygen storage system; 4 – end cooling heat exchangers; 5 – intermediate containers of hydrogen and oxygen; 6 – hydrogen-oxygen combustion chamber for overheating fresh steam; 7 – catalytic afterburner (recombiner); 8 – device for magnetic separation of unreacted hydrogen; 9 – recirculation of the added working fluid; 10 – storage tank

Водородный комплекс представляет собой систему электролиза воды для выработки водорода и кислорода, систему компримирования на основе компрессоров поршневого типа и металлических емкостей хранения водорода и кислорода. Все исходные данные и методика вычисления удельных капиталовложений в основное оборудование водородного комплекса приведены в работе [4] и более подробно в работе [25] в разделе 3.3 и в разделе 3.6 для условий подземного размещения. В провальные часы электрической нагрузки в энергосистеме, когда это потребует возможной разгрузки энергоблоков АЭС, либо в часы, когда энергоблоки АЭС вынуждены работать в режиме разгрузки по условию участия в первичном регулировании частоты. Невостребованная электроэнергия потребляется электролизерами с выработкой водорода и кислорода и их аккумулярованием под давлением в системе хранения. В пиковый период электрической нагрузки водород сжигается в среде кислорода с перегревом рабочего тела паротурбинного цикла АЭС с повышением КПД и мощности энергоблока.

Перегрев пара происходит за счет смешения с паром, полученного от сжигания водорода в кислороде первоначально в нестехиометрическом и затем в стехиометрическом соотношении согласно [26]. При этом та часть камеры сгорания, в которой происходит стехиометрическое дожигание, встроена в основной трубопровод перед турбиной и снаружи омывается потоком пара, который перегревается. Выход дожигающей части соединен со специальной пароперегревательной поверхностью с целью увеличения числа рекомбинаций непрореагировавшего водорода в сторону образования пара при плавном снижении температуры пара внутри трубок до недиссоциированного состояния (1250 К). Принципиальная схема водород-кислородной камеры сгорания приведена на рисунке 2.

На рисунке 3 приведена структура покрытия электрической нагрузки на примере ОЭС Центра с учетом участия АЭС в комбинировании с водородным комплексом в покрытии пиковой нагрузки.

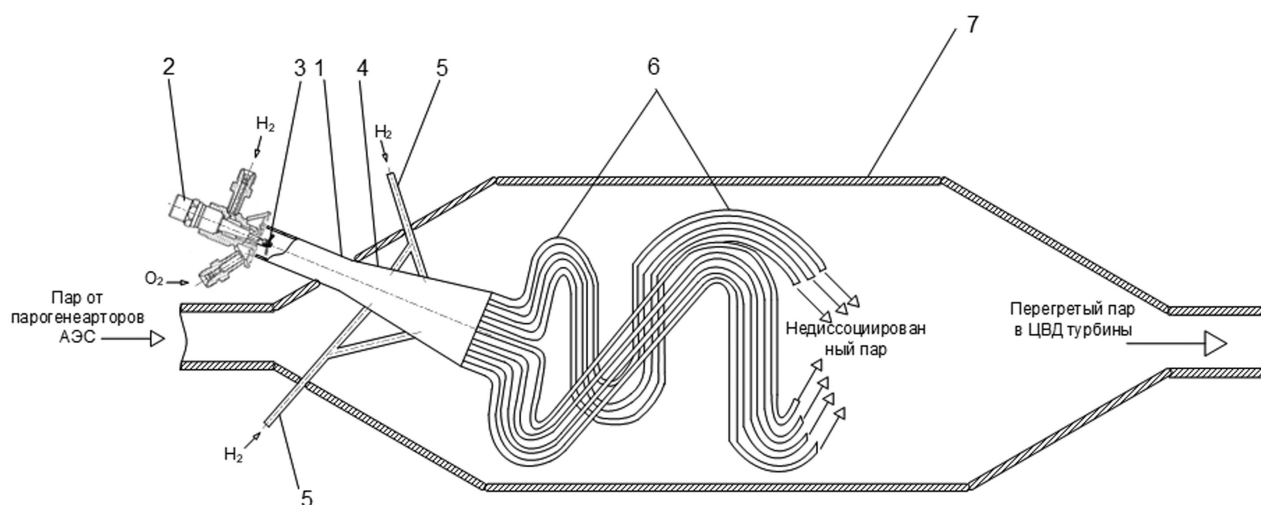


Рис. 2. Система сжигания водорода для перегрева свежего пара в цикле АЭС с лопаточным закручивающим устройством и пароперегревательной теплообменной поверхностью:

1 – водород-кислородная камера сгорания предварительного нестехиометрического окисления; 2 – запальное устройство; 3 – лопаточное закручивающее устройство; 4 – дожигающая водород-кислородная камера сгорания стехиометрического окисления; 5 – подводящие магистрали, осуществляющие подачу водорода в дожигающую водород-кислородную камеру сгорания; 6 – трубный пучок пароперегревателя; 7 – полость смешения высокотемпературного пара со свежим паром

Fig. 2. A hydrogen combustion system for superheating fresh steam in a nuclear power plant cycle with a blade swirling device and a steam-superheating heat exchange surface: 1 – hydrogen-oxygen combustion chamber for preliminary non-stoichiometric oxidation; 2 – ignition device; 3 – blade twisting device; 4 – afterburning hydrogen-oxygen combustion chamber of stoichiometric oxidation; 5 – supply lines supplying hydrogen to the afterburning hydrogen-oxygen combustion chamber; 6 – superheater tube bundle; 7 – cavity for mixing high-temperature steam with fresh steam

Таким образом, комбинирование АЭС с водородным комплексом позволит сохранить нагрузку реактора и паровой турбины на номинальном уровне в течение суток за счет производства водорода электролизом воды. Вместе с тем это позволит снизить глубину разгрузки мощных конденсационных энергоблоков, что позволит снизить степень износа критических элементов генерирующего оборудования.

На рисунке 4 приведены основные показатели эффективности АЭС на примере с реактором ВВЭР-1000 при комбинировании с водородным комплексом, в варианте использования перегрева свежего пара за счет теплоты от сжигания водорода на примере турбины К-1000-60/1500 [27].

В энергосистеме пиковая нагрузка стремительно

нарастает, покрытие которой требует соответствующей скорости отпуска пиковой мощности. В этой связи, в условиях участия АЭС в комбинировании с водородным комплексом в покрытии пиковой нагрузки, необходимо выполнить оценку скорости отпуска пиковой мощности на примере использования перегрева свежего пара теплотой сжигания водорода в кислороде. При этом рассмотрен диапазон перегрева от номинального значения свежего пара перед турбиной 275 °С до 300, 325, 375 и 475 °С.

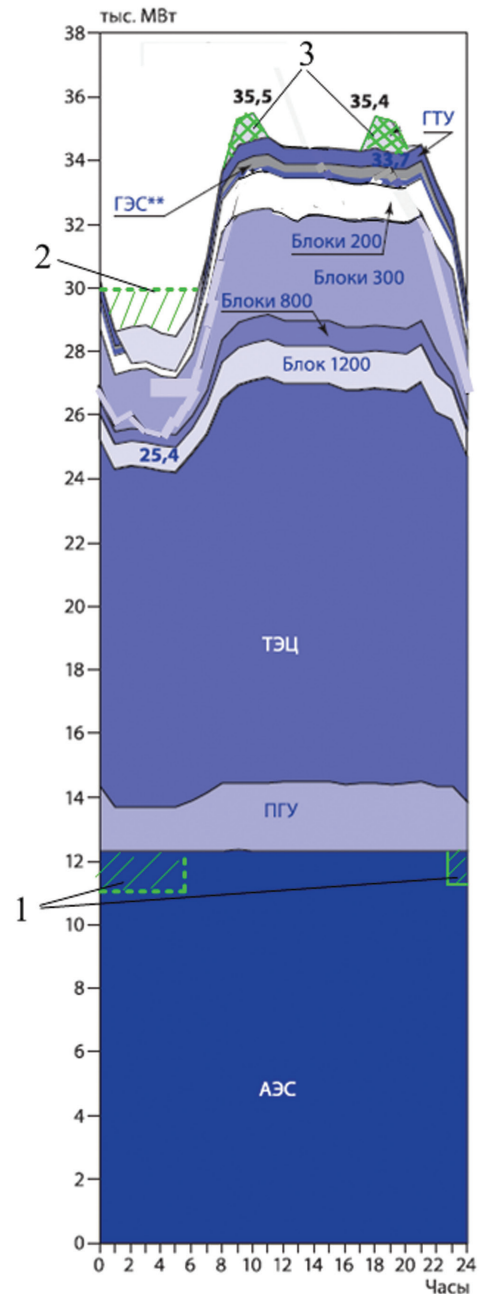


Рис. 3. Структура генерирующих мощностей ОЭС Центра с учетом покрытия пиковой нагрузки АЭС в комбинировании с водородным комплексом:

- 1 – производство водорода электролизом за счет электроэнергии от АЭС;
- 2 – снижение глубины разгрузки конденсационных блоков;
- 3 – покрытие пиковой нагрузки за счет перегрева свежего пара в паротурбинном цикле АЭС

Fig. 3. Structure of the generating capacity of the UES of the Center, taking into account the coverage of the peak load of the NPP in combination with the hydrogen complex:

- 1 – production of hydrogen by electrolysis using electricity from the NPP;
- 2 – reduction in the depth of unloading of condensing units;
- 3 – peak load coverage due to overheating of fresh steam in the steam turbine cycle of the nuclear power plant



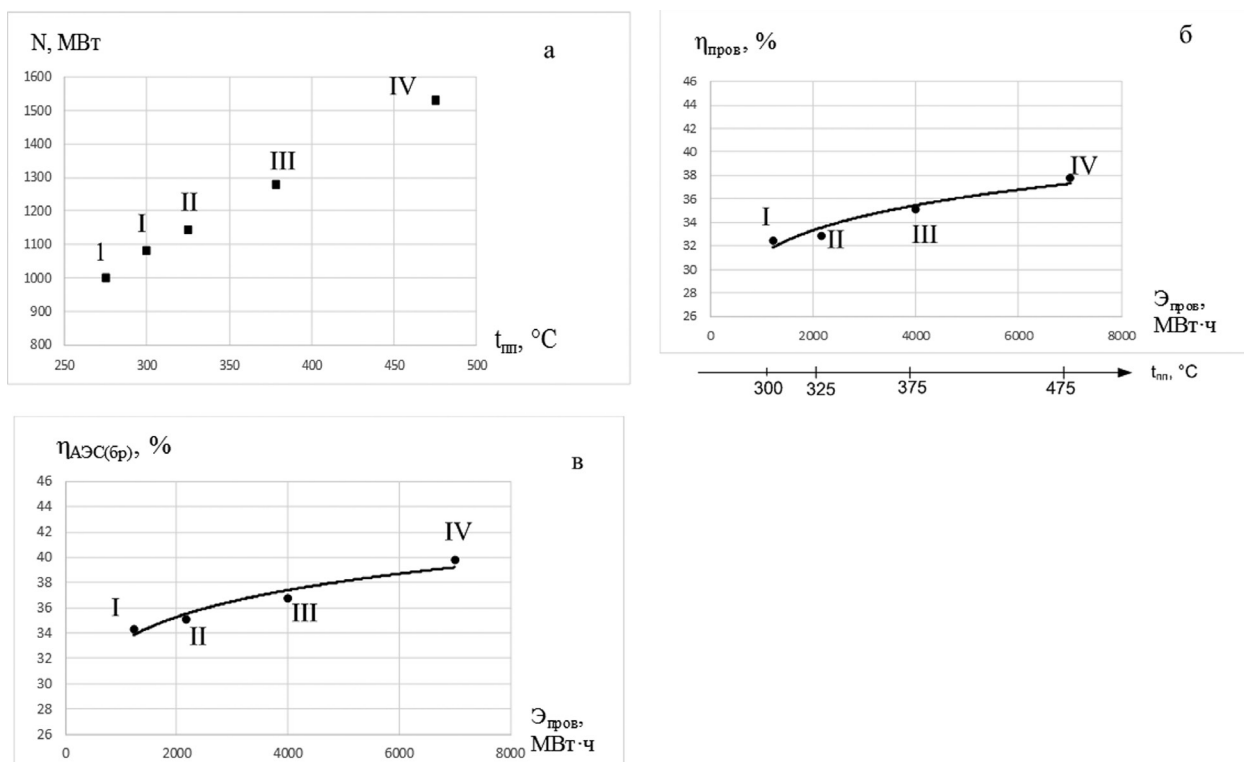


Рис. 4. Основные показатели эффективности АЭС в комбинировании с водородным комплексом при использовании перегрева свежего пара за счет теплоты от сжигания водорода: I — электрическая мощность энергоблока АЭС с водородным перегревом свежего пара в пределах перегрузочной способности турбины при использовании 175 МВт провальной мощности; II–IV — электрическая мощность перспективных паротурбинных установок с водородным перегревом свежего пара при использовании 310, 570, 1000 МВт соответственно провальной мощности; t_{шт} — температура перегретого пара; а — электрическая мощность; б — эффективность преобразования провальной мощности в пиковую; в — КПД брутто АЭС

Fig. 4. Main efficiency indicators of a nuclear power plant in combination with a hydrogen complex when using superheating of fresh steam due to the heat from hydrogen combustion: I — electrical power of a nuclear power plant unit with hydrogen superheating of fresh steam within the overload capacity of the turbine when using 175 MW of failure power; II–IV — electrical power of promising steam turbine plants with hydrogen superheating of fresh steam using 310, 570, 1000 MW, respectively, failure power; t_{шт} — temperature of superheated steam; а — electrical power; б — efficiency of converting dip power into peak power; в — gross efficiency of the nuclear power plant

В таблице 1 приведены данные по скорости нарастания пиковой нагрузки в энергосистеме в соответ-

ствии с рис. 3, которые легли в основу оценки скорости отпуска пиковой мощности.

Скорость нарастания пиковой нагрузки (на примере ОЭС Центра)
Peak load growth rate (using the example of the IPS Center)

Таблица 1
Table 1

	Продолжительность, ч	Скорость прироста мощности в течении первого часа пиковой нагрузки, МВт/мин
Утренний пик	9:00 – 11:00	8,3
Вечерний пик	17:00 – 20:00	6,7

Из представленных данных следует, что для утреннего и вечернего пика в течение первого часа необходимо обеспечить отпуск электрической мощности порядка 500 и 400 МВт соответственно. Из рис. 4 этому соответствует режим с перегревом свежего пара до 475 и до 430 °С соответственно. При этом критически важным будет являться учет скорости перегрева рабочего тела в паротурбинном цикле АЭС,

т.к., это будет определять рабочий ресурс наиболее важных составляющих ротора турбоагрегата – рабочих лопаток и дисков.

Методика оценки рабочего ресурса составляющих ротора турбоагрегата – рабочих лопаток и дисков (на примере К-1000-60/1500)

Специфика комбинирования водородного комплекса с энергоблоками АЭС с целью обеспечения ба-

зисной электрической нагрузкой заключается в том, что в данных условиях неизбежны циклические пуски для выработки и аккумулирования водорода и кислорода и, соответственно, остановки по завершению внепикового и пикового периодов. Циклическое нагружение оборудования обуславливает рост усталостных трещин [28-33]. В этой связи основное оборудование водородного комплекса: электролизные установки; емкости для хранения водорода и кислорода; поршневые компрессорные установки; водород-кислородная камера сгорания для перегрева свежего пара в паротурбинном цикле АЭС подвергается циклическим термомеханическим нагрузкам, связанным с пуском и последующим остановом. Вместе с тем переменное термомеханическое нагружение испытывают рабочие лопатки и диски ротора турбины вследствие изменения температуры расширяющегося пара при каждом новом использовании паро-водородного перегрева. Таким образом, скорость отпуска пиковой мощности будет определяться в первую очередь рабочим ресурсом составляющих ротора паровой турбины АЭС: рабочих лопаток и дисков.

В основу оценки рабочего ресурса основного оборудования водородного комплекса положена модель сосуда с внутренним давлением [28]. На основании анализа теории по усталостному разрушению [29-32] и в работах автора статьи [34-36] приводится подробная методика и результаты расчета рабочего ресурса основного оборудования водородного комплекса.

В основу оценки рабочего ресурса рабочих лопаток на примере турбины К-1000-60/1500 положена модель плоского тела конечных размеров на основании методики [33], к которой приложены растягивающие напряжения. В основу оценки ресурсных издержек дисков ротора положена модель растяжения массивной детали на основании методики [37] с учетом неравномерности прогрева тела диска согласно методике [38].

Оценка скорости роста усталостной трещины рабочих лопаток и дисков выполнялась с использованием уравнения Пэриса, мм/цикл:

$$v = \frac{dl}{dN} = C(\Delta K)^n,$$

где ΔK – размах коэффициента интенсивности напряжений, МПа $\sqrt{м}$; C и n – характеристики циклической трещиностойкости стали.

Предельное число циклов нагружений определялось из расчета достижения длины усталостной трещины критического значения по выражению вида, мм:

$$l = l_0 + vN_{\text{доп}} \leq 0,1 \dots 1, \quad (1)$$

l_0 – исходная и фактическая длина усталостной

трещины соответственно, мм; $N_{\text{доп}}$ – допустимое число циклов нагружения; 0,1-1 – критическое значение длины усталостной трещины для материалов с пределом прочности до 1500 МПа.

Исходная длина усталостной трещины принята равной 0,02 мм [29].

Для определения ΔK определялись максимальные термомеханические напряжения, действующие на лопатки и диски в циклическом режиме в режиме с использованием паро-водородного перегрева и минимальные напряжения в номинальном режиме с целью определения наиболее циклически нагруженных составляющих ротора турбины.

Размах коэффициента интенсивности напряжений согласно выражению, МПа $\sqrt{м}$ [28-33]

$$\Delta K = K_{\text{max}} - K_{\text{min}},$$

где K_{max} , K_{min} – максимальный и минимальный коэффициент интенсивности циклического нагружения, МПа $\sqrt{м}$.

K_{max} и K_{min} находятся при соответствующих максимальном и минимальном напряжении (σ_{max} и σ_{min}).

Значение коэффициента интенсивности нагружения определялось по выражению, МПа $\sqrt{м}$ [28]:

$$K = \sigma \alpha \sqrt{\pi l_0}, \quad (2)$$

где σ – напряжение в цикле нагружения, МПа; α – безразмерный коэффициент, учитывающий геометрические размеры и характер распределения напряжений.

Оценка рабочего ресурса определялась на основе времени роста усталостной трещины до нижней границы критической длины, равной 0,1 мм, лет:

$$\tau_{0,1} = \frac{N_{\text{доп}}}{N_r}, \quad (3)$$

где N_r – годовое число циклов нагружений, ц/год.

Число рабочих суток в году принято равным 335 (за вычетом ремонтного периода энергоблока АЭС равного 30 сут.).

Дополнительному увеличению напряжений будут способствовать термические напряжения рабочих лопаток и дисков, что учитывалось термической составляющей напряжений в формуле (2).

На рис. 5 представлена схема воздействия механических (рис. 5а) и термомеханических (рис. 5б) усилий для условий номинальной работы и в режиме с перегревом соответственно [39]. Моделирование воздействия термических напряжений проводилось с помощью программы Ansys.

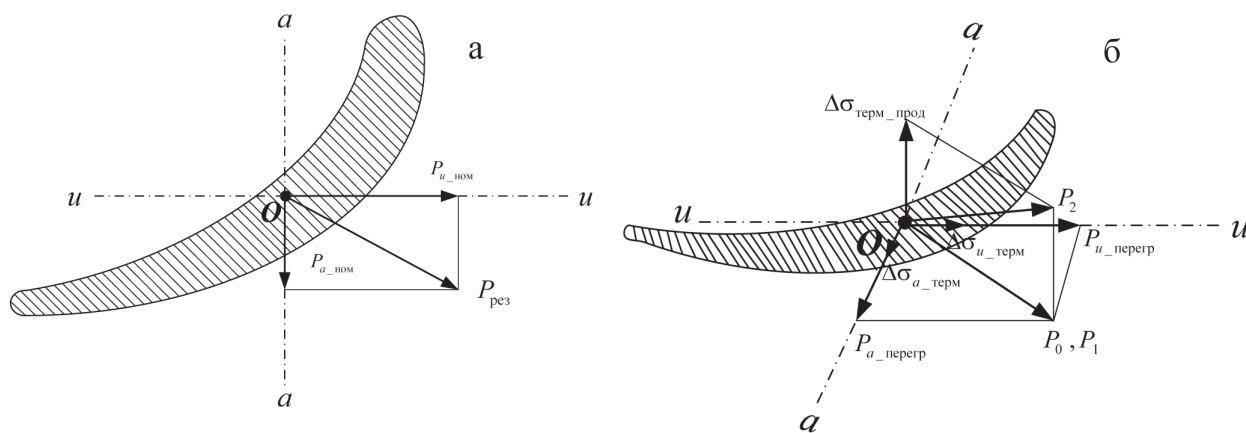


Рис. 5. Действующие силы на лопатку:

$P_{a_ном}, P_{u_ном}, P_{рез}$ – осевое, окружное и результирующее усилие, соответственно, в номинальном режиме, Н;
 $P_{a_перегр}, P_{u_перегр}$ – осевое и окружное усилие, соответственно, в режиме с паро-водородным перегревом, Н;
 P_0 – результирующее усилие от воздействия изменения расхода пара в условиях паро-водородного перегрева, (без учета термической составляющей напряжений), Н; P_1 – результирующее усилие в режиме с паро-водородным перегревом с учётом окружного и осевого термомеханических напряжений, Н; $\Delta\sigma_{a_терм}, \Delta\sigma_{u_терм}, \Delta\sigma_{терм_прод}$ – осевые, окружные и продольного направления термические напряжения, соответственно, Н;
 P_2 – результирующее термомеханическое усилие в режиме с паро-водородным перегревом с учётом осевого, окружного и продольного термических напряжений; а – номинальный режим;
 б – режим с циклической нагрузкой при перегреве рабочего тела

Fig. 5. Acting forces on the blade:

$P_{a_ном}, P_{u_ном}, P_{рез}$ – axial, circumferential and resulting force, respectively, in nominal mode, N;
 $P_{a_overgr}, P_{u_overgr}$ – axial and circumferential force, respectively, in the mode with steam-hydrogen overheating, N;
 P_0 – the resulting force from the impact of changes in steam flow under conditions of steam-hydrogen overheating, (without taking into account the thermal component of stress), N; P_1 – resultant force in the mode with steam-hydrogen overheating, taking into account circumferential and axial thermomechanical stresses, N;
 $\Delta\sigma_{a_term}, \Delta\sigma_{u_term}, \Delta\sigma_{term_prod}$ – axial, circumferential and longitudinal thermal stresses, respectively, N;
 P_2 is the resulting thermomechanical force in the mode with steam-hydrogen overheating, taking into account axial, circumferential and longitudinal thermal stresses; а – nominal mode;
 б – mode with cyclic loading when the working fluid overheats

При этом температура перегретого пара рассмотрена в диапазоне от 275 °С (номинальная температура рабочего тела перед турбиной) до 300; 325; 375; 475 °С в соответствии с рис. 4 при скорости повышения температуры 5, 20, 40, 60 °С/мин.

В условиях паро-водородного перегрева изменение расхода пара будет приводить к появлению разности давления на лопатках проточной части турбины (разность результирующего механическое усилия), которое оценивалось по выражению, Па:

$$\Delta P_{рез_мех} = \frac{P_0 - P_{рез}}{f},$$

где P_0 – результирующее усилие от воздействия изменения расхода пара в условиях паро-водородного перегрева, (без учета термической составляющей напряжений), Н; $P_{рез}$ – результирующее усилие в номинальном режиме, Н; f – площадь поперечного сечения лопатки, м².

При учете термических напряжений разность результирующего термомеханического усилия, действующего на лопатки, определялась по выражению, Па:

$$\Delta P_{рез_термомех} = \frac{P_2 - P_{рез}}{f}.$$

Результаты и их обсуждение

На рисунке 6 приведены результаты расчета разницы результирующего механического усилия (без учета термических напряжений), возникающего на

рабочих лопатках турбины в результате изменения расхода пара через проточную часть турбины в режиме с перегревом свежего пара.

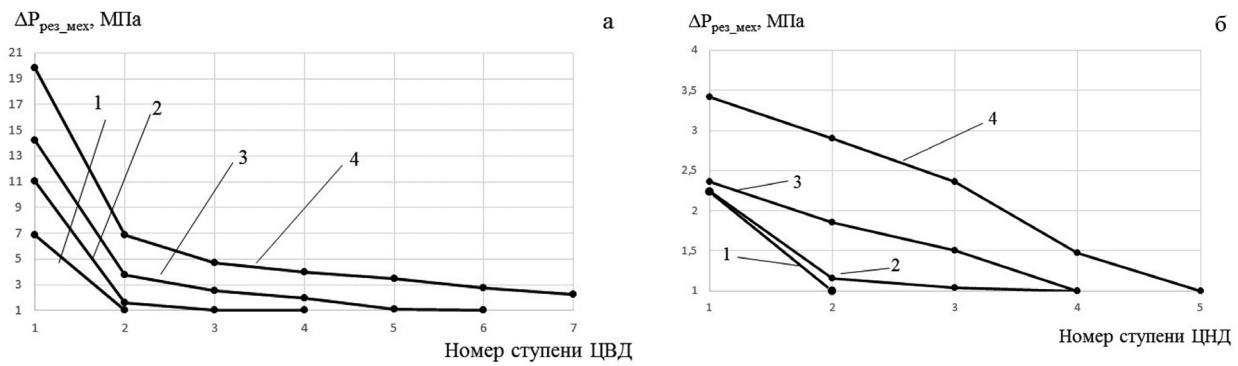


Рис. 6. Разница результирующего механического усилия на рабочих лопатках проточной части турбины в результате изменения расхода пара в режиме с перегревом свежего пара: 1-4 – перегрев свежего пара до температуры 300, 325, 375, 475 °С соответственно; а – ротор ЦВД; б – ротор ЦНД

Fig. 6. The difference in the resulting mechanical force on the working blades of the turbine flow path as a result of a change in steam flow in the mode with overheating of fresh steam: 1-4 – overheating of fresh steam to a temperature of 300, 325, 375, 475 °C, respectively; а – HPC rotor; б – LPC rotor

Очевидно, что критическим элементом являются рабочие лопатки первой ступени ЦВД как наиболее подверженные циклическому износу, поскольку на них возникает наибольшее $\Delta P_{рез_мех}$.
На рисунке 7 приведены результаты рас-

чета разницы результирующего термомеханического напряжения ($\Delta P_{рез_термомех}$) на рабочих лопатках первой ступени проточной части турбины в зависимости от скорости перегрева свежего пара.

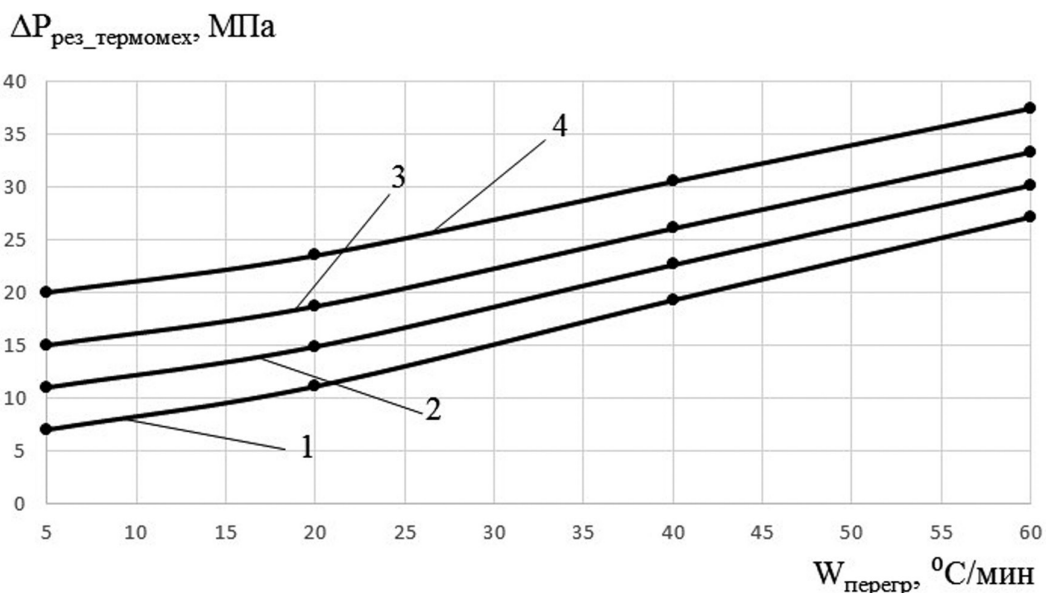


Рис. 7. Разница результирующего усилия от термомеханического напряжения на рабочих лопатках первой ступени проточной части турбины ЦВД в зависимости от скорости перегрева свежего пара: 1-4 – перегрев свежего пара до температуры 300, 325, 375, 475 °С соответственно

Fig. 7. The difference in the resulting force from the thermomechanical stress on the working blades of the first stage of the HPC turbine flow section depending on the rate of overheating of fresh steam: 1-4 – overheating of fresh steam to a temperature of 300, 325, 375, 475 °C, respectively



На рисунке 8 приведены результаты расчета допустимого числа циклов нагружений для рабочих лопаток первой ступени ротора ЦВД на примере жаропрочной коррозионностойкой стали 13X11H2B2MФ [1] в зависимости от скорости перегрева свежего пара

с учетом термомеханических напряжений по условию достижения усталостной трещиной нижней границы критической длины 0,1 мм согласно (1) при продолжительности участия в покрытии пиковой нагрузки на примере 5 ч.

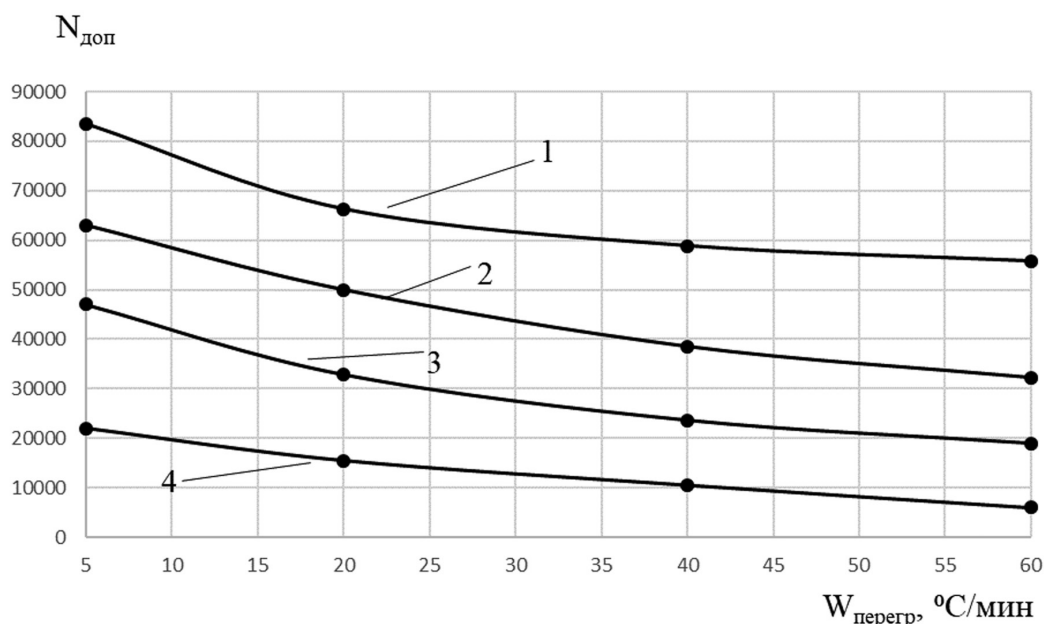


Рис. 8. Допустимое число циклов нагружения для рабочих лопаток первой ступени ротора ЦВД: 1-4 – перегрев свежего пара до температуры 300, 325, 375, 475 °С соответственно

Fig. 8. Permissible number of loading cycles for the working blades of the first stage of the HPC rotor: 1-4 – overheating of fresh steam to a temperature of 300, 325, 375, 475 °C, respectively

В соответствии с рис. 8 скорость роста усталостной трещины составила:

- при перегреве до 300 °С при скорости перегрева 5...60 °С/мин $2,639 \cdot 10^{-9} \dots 1,059 \cdot 10^{-6}$ мм/цикл соответственно;
- до 325 °С – $4,59 \cdot 10^{-8} \dots 3,432 \cdot 10^{-6}$ мм/цикл соответственно;
- до 375 °С – $6,38 \cdot 10^{-7} \dots 1,517 \cdot 10^{-5}$ мм/цикл соответственно;
- до 475 °С – $1,712 \cdot 10^{-5} \dots 1,492 \cdot 10^{-4}$ мм/цикл соответственно.

Таким образом, для условий ежедневного

перегрева свежего пара в диапазоне 275...375 °С в соответствии с выражением (3) рабочий ресурс превышает 60 лет или 100 тыс. ч. В диапазоне перегрева до 475 °С при скорости перегрева 5, 20, 40 и 60 °С/мин рабочий ресурс составил на уровне 55, 46, 31 и 18 лет соответственно, что соответствует диапазону порядка 90...30 тыс. ч соответственно.

В таблице 2 приведены аналогичные результаты для диска первой ступени ЦВД на примере устойчивого к циклической трещиностойкости жаропрочного никелевого сплава ЭП741НП [41].

Таблица 2

Допустимое число циклов нагружения диска первой ступени ротора ЦВД

Table 2

Permissible number of loading cycles of the disk of the first stage of the HPC rotor

Температура перегретого пара, °С	Скорость роста усталостной трещины, мм/цикл	Допустимое число циклов нагружения
300	$5,726 \cdot 10^{-12}$	$90 \cdot 10^6$
325	$7,31 \cdot 10^{-11}$	$7 \cdot 10^6$
375	$6,813 \cdot 10^{-10}$	$800 \cdot 10^3$
475	$3,675 \cdot 10^{-8}$	$20 \cdot 10^3$

Для диска первой ступени ротора ЦВД рабочий ресурс превышает 60 лет (100 тыс. ч) для всего рассмотренного диапазона перегрева свежего пара. Следует отметить, что допустимое число циклов определено по условию приращения длины усталостной трещины от исходной длины (0,02 мм) на 1·10⁻³ мм согласно (1) для указанного числа циклов в табл. 2.

Таким образом, рабочий ресурс определяется устойчивостью материалов к циклической трещи-

нотности, применяемых для изготовления деталей ответственных узлов и механизмов.

В соответствии с рассмотренной скоростью нарастания пиковой нагрузки согласно таблице 1, на рисунке 9 приведены результаты расчета скорости отпуска пиковой мощности в рассмотренном диапазоне перегрева свежего пара 300...475 °С в зависимости от скорости его перегрева.

Скорость отпуска пиковой мощности, МВт/мин

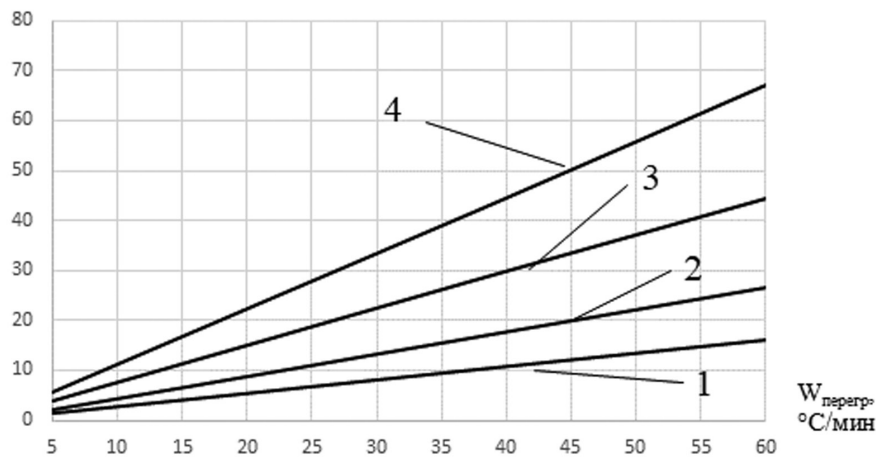


Рис. 9. Скорость отпуска пиковой мощности в зависимости от скорости перегрева свежего пара в паротурбинном цикле АЭС: 1-4 – перегрев свежего пара до температуры 300, 325, 375, 475 °С соответственно

Fig. 9. The rate of peak power release depending on the rate of overheating of fresh steam in the steam turbine cycle of a nuclear power plant: 1-4 – overheating of fresh steam to a temperature of 300, 325, 375, 475 °C, respectively

В частности, для рассмотренного примера в условиях покрытия пика нагрузки ОЭС Центра скорость отпуска пиковой мощности должна соответствовать 8,3 и 6,7 МВт/мин для утреннего и вечернего пиков нагрузки соответственно. Согласно рис. 4 этому удовлетворяет перегрев свежего пара до 475 и до ~430 °С соответственно. При этом необходимая скорость перегрева составляет 8 и 7 °С/мин соответственно. Для

полученных значений скорости перегрева свежего пара согласно выполненным оценкам в условиях ежесуточного перегрева рабочий ресурс для рабочих лопаток первой ступени ротора ЦВД составит на уровне 53 лет при скорости перегрева 8 °С/мин и на уровне 54 лет при скорости перегрева 7 °С/мин, т.е., порядка 80 тыс. ч.

Выводы

1. Современная стратегия развития атомной энергетики в России предписывает атомным станциям наличие маневренных возможностей в диапазоне до 50 % от номинальной мощности при участии в регулировании суточной неравномерности электрической нагрузки. В пользу этого прибавляются требования по участию АЭС в первичном регулировании частоты. Все это обуславливает проблему обеспечения АЭС базисной нагрузкой. Наряду с использованием ГАЭС в этих целях конкурентоспособным и перспективным является использование водородного комплекса на

основе электролизного получения водорода и кислорода в часы, когда АЭС необходимо принудительно разгружать. Полученный водород и кислород используются для перегрева свежего пара с целью выработки пиковой мощности.

2. Эффективность участия АЭС в комбинировании с водородным комплексом в покрытии пиковой нагрузки в энергосистеме существенно будет зависеть от скорости отпуска пиковой мощности в условиях перегрева рабочего тела паротурбинного цикла теплотой от сжигания водорода в кислороде. Критич-



чески важным в этом случае является скорость перегрева рабочего тела, т.к. это будет определять рабочий ресурс рабочих лопаток и дисков, как наиболее критических составляющих ротора турбоагрегата.

3. Как показали выполненные оценки на примере участия АЭС в комбинировании с водородным комплексом в покрытии утреннего и вечернего пиков нагрузки на примере ОЭС Центра, наиболее подвержены усталостному износу рабочие лопатки и диски первой ступени ротора турбины на примере К-1000-60/1500. В этой связи рабочий ресурс лопаток ротора турбоагрегата на основе использования из-

вестных методик и моделей по усталостному износу на примере жаропрочной коррозионностойкой стали 13X11H2B2MФ был оценен порядка 50 лет (80 тыс. ч). При этом необходим перегрев свежего пара с 275 до 475 °С для условий утреннего пика и до ~430 °С для условий вечернего пика при скорости перегрева 8 и 7 °С/мин соответственно. Для этих же условий рабочий ресурс диска первой ступени ротора турбины на примере устойчивого к циклической трещиностойкости жаропрочного никелевого сплава ЭП741НП превышает 60 лет или 100 тыс. ч.

Список литературы

[1]. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г./ Правительство Российской Федерации. – Москва, 2020 г. – 79 с.

[2]. Стандарт организации ОАО «СО ЕЭС». Нормы участия энергоблоков атомных электростанций в нормированном первичном регулировании частоты. – Введ. 19.08.2013. – ОАО «СО ЕЭС», 2013.

[3]. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России» оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС и изолированно работающих энергосистемах России. – Введ. 11.01.2007. – ОАО «СО ЕЭС», 2007.

[4]. Аминов Р. З. Оценка системной эффективности атомно-водородного энергетического комплекса / Р. З. Аминов, А. Н. Байрамов, М. В. Гариевский // Теплоэнергетика. – 2019. – № 3. – С. 57-71.

[5]. Houcheng Zhang. Evaluation and calculation on the efficiency of a water electrolysis system for hydrogen production / Zhang Houcheng, Lin Guoxing, Chen Jincan // International Journal of Hydrogen Energy. – 2010. – Volume 35. – Issue 20. – Pages 10851-10858.

[6]. The stability of MEA in SPE water electrolysis for hydrogen production / Wei Guoqiang [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2010. – Volume 35. – Issue 9. – Pages 3951-3957.

[7]. Huaneng Su. Membrane electrode assemblies with low noble metal loadings for hydrogen production from solid polymer electrolyte water electrolysis / Su Huaneng, Linkov Vladimir, Bernard Jan Bladergroen // International Journal of Hydrogen Energy. – 2013. – Volume 38. – Issue 23. – Pages 9601-9608.

[8]. Development and testing of a novel catalyst-coated membrane with platinum-free catalysts for alkaline water electrolysis / Hnáta Jaromír [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – Volume 44. – Issue 33. – Pages 17493-17504.

[9]. Intermetallics as advanced cathode materials in hydrogen production via electrolysis / Dragica Lj. Stojić [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2006. – Volume 31. – Issue 7. – Pages 841-846.

[10]. Huiyong Kim. One-dimensional dynamic

modeling of a high-pressure water electrolysis system for hydrogen production / Kim Huiyong, Park Mikyoung, Soon Lee Kwang // International Journal of Hydrogen Energy. – 2013. – Volume 38. – Issue 6. – Pages 2596-2609.

[11]. Theoretical and experimental analysis of an asymmetric high pressure PEM water electrolyser up to 155 bar / Sartory Markus [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Volume 42. – Issue 52. – Pages 30493-30508.

[12]. Pressurized PEM water electrolysis: Efficiency and gas crossover / Schalenbach Maximilian [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – Volume 41. – Issue 1. – 2016. – Pages 729-732.

[13]. I. Abe. Hydrogen production by high temperature, high pressure water electrolysis, results of test plant operation / I. Abe, T. Fujimaki, M. Matsubara // International Journal of Hydrogen Energy. – 1984. – Volume 9. – Issue 9. – Pages 753-758.

[14]. Synergistic roles of off-peak electrolysis and thermochemical production of hydrogen from nuclear energy in Canada / G. F. Naterer [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2008. – Volume 33. – Issue 23. – Pages 6849-6857.

[15]. Life cycle cost and sensitivity analysis of a hydrogen system using low-price electricity in China / Y. Li [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Volume 42. – Issue 4. – Pages 1899-1911.

[16]. On the production of hydrogen via alkaline electrolysis during off-peak periods / P. -H. Floch [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2007. – Volume 32. – Issue 18. – Pages 4641-4647.

[17]. Tsutomu Oi. Feasibility study on hydrogen refueling infrastructure for fuel cell vehicles using the off-peak power in Japan / Oi Tsutomu, Wada Koichi // International Journal of Hydrogen Energy. – 2004. – Volume 29. – Issue 4. – Pages 347-354.

[18]. S. Stucki. The cost of electrolytic hydrogen from off-peak power / S. Stucki // International Journal of Hydrogen Energy. – 1991. – Volume 16. – Issue 7. – Pages 461-467.

[19]. K. Darrow. Commodity hydrogen from off-



peak electricity / K. Darrow, N. Biederman, A. Konopka // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1977. – Volume 2. – Issue 2. – Pages 175-188.

[20]. C. Derive. Hydrogen in gas turbines / C. Derive, D. Madet, M. Roche // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1987. – Volume 12. – Issue 7. – Pages 501-504.

[21]. Hydrogen production from nuclear fission product waste heat and use in gas turbines / M. E. Nelson [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1980. – Volume 5. – Issue 4. – Pages 383-399.

[22]. F. Gutiérrez-Martín Pre-investigation of water electrolysis for flexible energy storage at large scales: The case of the Spanish power system / F. Gutiérrez-Martín, A. Ochoa-Mendoza, L. M. Rodríguez-Antón // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2015. – Volume 40. – Issue 15. – Pages 5544-5551.

[23]. Anil Antony. A generic methodology to evaluate economics of hydrogen production using energy from nuclear power plants / Anil Antony, N. K. Maheshwari, A. Rama Rao // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – Volume 42. – Issue 41. – Pages 25813-25823.

[24]. Пат. № 2769511. Российская Федерация. Паротурбинная установка АЭС с системой безопасного использования водорода / Байрамов А. Н.; заявитель и патентообладатель Байрамов А. Н. – № 2021112671; заявл. 29.04.2021; опубл. 01.04.2022. Бюл. №10.

[25]. Байрамов А. Н. Разработка научных основ повышения эффективности АЭС при комбинировании с водородным комплексом [Текст]: дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.14.01 / Артем Николаевич Байрамов; науч. конс. Р. З. Аминов. – Саратов, 2022. – 397 с.

[26]. Пат. 2758644 Российская Федерация, МПК G 21D 5/16, F22B 1/26. Система сжигания водорода в кислороде в закрученном потоке повышенной безопасности с использованием ультравысокотемпературных керамических материалов для перегрева рабочего тела в паротурбинном цикле атомной электрической станции / заявитель и патентообладатель Байрамов А. Н. № 2021112668/07; заявл. 29.04.2021; опубл. 01.11.2021, Бюл. № 31. – 17 с.: ил.

[27]. Байрамов А. Н. Оценка эффективности перспективных вариантов схем комбинирования АЭС с водородным комплексом / А. Н. Байрамов // *Энергетик*. – 2023. – № 2. – С. 8-13.

[28]. Механика разрушения и прочность материалов: справочное пособие / Под общ. ред. В. В. Панасюка. – Т. 4. – Киев: Наукова думка, 1990. – 680 с.

[29]. *Машиностроение: энциклопедия по машиностроению* / Ред. совет: К. В. Фролов [и др.]. – Т. II-1.

– М.: Машиностроение, 2010. – 852 с.

[30]. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 223 с.

[31]. Павлов П. А. Основы инженерных расчетов элементов машин на усталость и длительную прочность / П. А. Павлов. – Л.: 1988. – 252 с.

[32]. Трощенко В. Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении / В. Т. Трощенко, В. В. Покровский, А. В. Прокопенко. – Киев: Наукова думка, 1987. – 256 с.

[33]. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. – М.: Наука, 1974. – 640 с.

[34]. Bairamov A. N. Life cycle assessment of hydrogen energy facility by criterion for maximum load frequency / A. N. Bairamov // *International Journal of Hydrogen Energy*. – (2019). – V.44. – 5696-5703.

[35]. Bairamov A.N. Efficiency Assessment of Hydrogen Production Systems under Fatigue Wear Conditions / A. N. Bairamov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – 1683. – 042009.

[36]. Aminov R. Z. Estimating the system efficiency of the multifunctional hydrogen complex at nuclear power plants / R. Z. Aminov, A. N. Bairamov, M. V. Garievskii // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2020. – V. 45. – 14614-14624.

[37]. Костюк А. Г. Динамика и прочность турбомашин / А. Г. Костюк. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.

[38]. Жирицкий Г. С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин / Г. С. Жирицкий, В. А. Стрункин. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1968. – 523 с.

[39]. R. Z. Aminov Estimation of resource capabilities of the NPP turbine unit under the primary frequency control of the current in the power system / R. Z. Aminov, A. N. Bairamov, A. V. Moskalenko // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 4th International Scientific and Technical Conference on Energy Systems. – 2020. – 791. – 012004

[40]. Горбовец М. А. О параметрах уравнения Пэриса при испытаниях на скорость роста трещины усталости жаропрочных титановых сплавов / М. А. Горбовец, Н. А. Ночовная // *Труды ВИАМ*. – 2016. – № 4 (40). – С.13-19.

[41]. Голубовский Е. Р. Оценка скорости развития трещины усталости в никелевых сплавах для дисков ГТД / Е. Р. Голубовский, М. Е. Волков, Н. М. Эммаусский // *Вестник двигателестроения*. – 2013. – № 2. – С. 229-235.

Referenses

[1]. Energy strategy of Russia for the period until 2035 / Government of the Russian Federation. – Moscow, 2020 – 79 p.

[2]. Standard of the organization of public corporation «SO UES». Standards for the participation of nuclear power plant power units in normalized primary frequency

regulation. – Enter. 08.19.2013. – public corporation «SO UES», 2013.

[3]. Standard for the organization Russian joint-stock company «UES of Russia» operational dispatch control in the electric power industry. Regulation of frequency and active power flows in the Unified Energy System and isolated operating power systems of Russia. – Enter. 01/11/2007. – public corporation «SO UES», 2007.

[4]. Aminov R. Z. Assessment of the performance of a nuclear-hydrogen power generation system / R. Z. Aminov, A. N. Bairamov, M. V. Garievsky // *Thermal power engineering*. – 2019. – № 3. – P. 57-71.

[5]. Houcheng Zhang. Evaluation and calculation on the efficiency of a water electrolysis system for hydrogen production / Zhang Houcheng, Lin Guoxing, Chen Jincan // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2010. – Volume 35. – Issue 20. – Pages 10851-10858.

[6]. The stability of MEA in SPE water electrolysis for hydrogen production / Wei Guoqiang [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2010. – Volume 35. – Issue 9. – Pages 3951-3957.

[7]. Huaneng Su. Membrane electrode assemblies with low noble metal loadings for hydrogen production from solid polymer electrolyte water electrolysis / Su Huaneng, Linkov Vladimir, Bernard Jan Bladergroen // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2013. – Volume 38. – Issue 23. – Pages 9601-9608.

[8]. Development and testing of a novel catalyst-coated membrane with platinum-free catalysts for alka-line water electrolysis / Hnáta Jaromír [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2019. – Volume 44. – Issue 33. – Pages 17493-17504.

[9]. Intermetallics as advanced cathode materials in hydrogen production via electrolysis / Dragica Lj. Stojić [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2006. – Volume 31. – Issue 7. – Pages 841-846.

[10]. Huiyong Kim. One-dimensional dynamic modeling of a high-pressure water electrolysis system for hydrogen production / Kim Huiyong, Park Mikyoung, Soon Lee Kwang // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2013. – Volume 38. – Issue 6. – Pages 2596-2609.

[11]. Theoretical and experimental analysis of an asymmetric high pressure PEM water electrolyser up to 155 bar / Sartory Markus [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – Volume 42. – Issue 52. – Pages 30493-30508.

[12]. Pressurized PEM water electrolysis: Efficiency and gas crossover / Schalenbach Maximilian [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2016. – Volume 41. – Issue 1. – 2016. – Pages 729-732.

[13]. I. Abe. Hydrogen production by high temperature, high pressure water electrolysis, results of test plant operation / I. Abe, T. Fujimaki, M. Matsubara // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1984. – Volume 9. – Issue 9. – Pages 753-758.

[14]. Synergistic roles of off-peak electrolysis and

thermochemical production of hydrogen from nuclear energy in Canada / G. F. Naterer [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2008. – Volume 33. – Issue 23. – Pages 6849-6857.

[15]. Life cycle cost and sensitivity analysis of a hydrogen system using low-price electricity in China / Y. Li [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – Volume 42. – Issue 4. – Pages 1899-1911.

[16]. On the production of hydrogen via alkaline electrolysis during off-peak periods / P. -H. Floch [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2007. – Volume 32. – Issue 18. – Pages 4641-4647.

[17]. Tsutomu Oi. Feasibility study on hydrogen re-fueling infrastructure for fuel cell vehicles using the off-peak power in Japan / Oi Tsutomu, Wada Koichi // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2004. – Volume 29. – Issue 4. – Pages 347-354.

[18]. S. Stucki. The cost of electrolytic hydrogen from off-peak power / S. Stucki // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1991. – Volume 16. – Issue 7. – Pages 461-467.

[19]. K. Darrow. Commodity hydrogen from off-peak electricity / K. Darrow, N. Biederman, A. Konopka // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1977. – Volume 2. – Issue 2. – Pages 175-188.

[20]. C. Derive. Hydrogen in gas turbines / C. Derive, D. Madet, M. Roche // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1987. – Volume 12. – Issue 7. – Pages 501-504.

[21]. Hydrogen production from nuclear fission product waste heat and use in gas turbines / M. E. Nelson [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1980. – Volume 5. – Issue 4. – Pages 383-399.

[22]. F. Gutiérrez-Martín Pre-investigation of water electrolysis for flexible energy storage at large scales: The case of the Spanish power system / F. Gutiérrez-Martín, A. Ochoa-Mendoza, L. M. Rodríguez-Antón // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2015. – Volume 40. – Issue 15. – Pages 5544-5551.

[23]. Anil Antony. A generic methodology to evaluate economics of hydrogen production using energy from nuclear power plants / Anil Antony, N. K. Maheshwari, A. Rama Rao // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – Volume 42. – Issue 41. – Pages 25813-25823.

[24]. Pat. № 2769511. Russian Federation. Steam turbine installation of a nuclear power plant with a system for the safe use of hydrogen / Bairamov A. N.; applicant and patent holder A. N. Bairamov – № 2021112671; application 04.29.2021; publ. 04.01.2022. Bull. № 10.

[25]. Bairamov A. N. Development of scientific principles for increasing the efficiency of nuclear power plants when combined with a hydrogen complex [Text]: dis. for the academic degree of Doctor of Science. tech. Sciences: 05.14.01 / Artem Nikolaevich Bairamov; scientific cons. R. Z. Aminov. – Saratov, 2022. – 397 p.

[26]. Pat. 2758644 Russian Federation, IPC G 21D 5/16, F22B 1/26. A system for burning hydrogen in oxygen in a swirling flow of increased safety using

ultra-high-temperature ceramic materials for overheating the working fluid in the steam turbine cycle of a nuclear power plant / applicant and patent holder Bairamov A. N. № 2021112668/07; application 04.29.2021; publ. 01.11.2021, Bulletin. № 31. – 17 p.

[27]. Bairamov A. N. Evaluation of the effectiveness of promising options for combining nuclear power plants with a hydrogen complex / A. N. Bairamov // Energy. – 2023. – № 2. – P. 8-13.

[28]. Fracture mechanics and strength of materials: reference manual / Ed. V. V. Panasyuk. – T. 4. – Kyiv: Naukova dumka, 1990. – 680 p.

[29]. Mechanical engineering: encyclopedia of mechanical engineering / Editorial board: K. V. Frolov [et al.]. – T. II-1. – M.: Mechanical Engineering, 2010. – 852 p.

[30]. Kogaev V. P. Calculations of machine parts and structures for strength and durability / V. P. Kogaev, N. A. Makhutov, A. P. Gusenkov. – M.: Mechanical Engineering, 1985. – 223p.

[31]. Pavlov P. A. Fundamentals of engineering calculations of machine elements for fatigue and long-term strength / P. A. Pavlov. – L.: 1988. – 252 p.

[32]. Troshchenko V. T. Crack resistance of metals under cyclic loading / V. T. Troshchenko, V. V. Pokrovsky, A. V. Prokopenko. – Kyiv: Naukova dumka, 1987. – 256 p.

[33]. Cherepanov G. P. Mechanics of brittle fracture / G. P. Cherepanov. – M.: Nauka, 1974. – 640 p.

[34]. Bairamov A. N. Life cycle assessment of hydrogen energy facility by criterion for maximum load frequency / A. N. Bairamov // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – V. 44. – 5696-5703.

[35]. Bairamov A. N. Efficiency Assessment of Hydrogen Production Systems under Fatigue Wear Conditions / A. N. Bairamov // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – 1683. – 042009.

[36]. Aminov R. Z. Estimating the system efficiency of the multifunctional hydrogen complex at nuclear power plants / R. Z. Aminov, A. N. Bairamov, M. V. Garievskii // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – V. 45. – 14614-14624.

[37]. Kostyuk A. G. Dynamics and strength of turbomachines / A. G. Kostyuk. – 3rd ed. reworked and additional. – M.: MPEI Publishing House, 2007. – 476 p.

[38]. Zhiritsky G. S. Design and strength calculation of parts of steam and gas turbines / G. S. Zhiritsky, V. A. Strunkin. – 3rd ed. – M.: Mechanical Engineering, 1968. – 523 p.

[39]. R. Z. Aminov. Estimation of resource capabilities of the NPP turbine unit under the primary frequency control of the current in the power system / R. Z. Aminov, A. N. Bairamov, A. B. Moskalenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 4th International Scientific and Technical Conference on Energy Systems. – 2020. – 791. – 012004.

[40]. Gorbovets M. A. On the parameters of the Paris equation when testing the fatigue crack growth rate of heat-resistant titanium alloys / M. A. Gorbovets, N. A. Nochovnaya // Proceedings of VIAM. – 2016. – № 4 (40). – P. 13-19.

[41]. Golubovsky E. R. Estimation of the rate of development of fatigue cracks in nickel alloys for gas turbine engine disks / E. R. Golubovsky, M. E. Volkov, N. M. Emmausky // Engine Building Bulletin. – 2013. – № 2. – P. 229-235.

Транслитерация по BSI



ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ



RENEWABLE

ЭНЕРГЕТИКА

ENERGY



ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

WIND ENERGY

УНИКАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

UNIQUE WIND ENERGY SOLUTIONS

Статья поступила в редакцию 05.01.24. Ред. Рег. № 319-001-24

The article has entered in publishing office 05.01.24 Ed. Reg. No. 319-001-24

УДК 621.311

ЗАЩИТА ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ОТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Коробейников С. М., Ломан В. А., Ридель А. В., Бычков А. Л.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия.

e-mail: korobeynikov@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.119-132

Заключение совета рецензентов: 16.01.24

Заключение совета экспертов: 25.01.24

Принято к публикации: 29.01.24

Работа посвящена разработке устройства для защиты витковой изоляции трансформаторного оборудования и ветрогенераторов. С целью повышения надёжности эксплуатации энергетических систем, установок получения возобновляемой энергии и устройств хранения энергии. В работе представлены результаты экспериментальных исследований параметров прототипа частотнозависимого устройства. А также оценка эффективности подавления предложенным устройством высокочастотных импульсных перенапряжений. Показаны результаты четырёх измерений, результаты которых сравнивались между собой и результатами ранее проведённых компьютерных моделирований. Показана высокая эффективность предлагаемого устройства в воздействии на крутизну и амплитуду коротких высокочастотных импульсов перенапряжений. Показано, что параметры, предложенные ранее при моделировании, позволяют эффективно использовать устройство. Приведён краткий анализ альтернативных способов и средств защиты, а также рассмотрены перспективы применения устройства в качестве защитного оборудования для ветроэлектростанций.

Ключевые слова: высокочастотные перенапряжения, возобновляемая энергетика, ветрогенераторы, витковая изоляция, частотно-зависимое устройство, скин-эффект.

PROTECTION THE TURN INSULATION OF TRANSFORMERS AND WIND GENERATORS FROM HIGH-FREQUENCY OVERVOLTAGES

Korobeynikov S. M., Loman V. A., Ridel A. V., Bychkov A. L.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

e-mail: korobeynikov@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.119-132

Referred: 16.01.24

Received in revised form: 25.01.24

Accepted: 29.01.24

Коробейников С. М., Ломан В. А., Ридель А. В., Бычков А. Л. Защита витковой изоляции трансформаторов и ветрогенераторов от высокочастотных перенапряжений // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 119-132

Korobeynikov S. M., Loman V. A., Ridel A. V., Bychkov A. L. Protection the turn insulation of transformers and wind generators from high-frequency overvoltages // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 119-132



The work is devoted to the development of a device for protecting the turn insulation of transformer equipment and wind generators. In order to increase the reliability of operation of energy systems, renewable energy installations and energy storage devices. The paper presents the results of experimental studies of the parameters of a prototype frequency-dependent device. As well as an assessment of the suppression efficiency of the proposed device for high frequency pulse overvoltages. The results of four measurements are shown, the results of which were compared with each other and the results of previously conducted computer simulations. The proposed device is shown to be highly effective in influencing the slope and amplitude of short high-frequency overvoltage pulses. It is shown that the parameters proposed earlier in the simulation allow the device to be used effectively. A brief analysis of alternative methods and means of protection is provided, and the prospects for using the device as protective equipment for wind power plants are also considered.

Keywords: high-frequency overvoltages, renewable energy, wind generators, turn insulation, frequency-dependent device, skin effect.



Коробейников
Сергей Миронович
Sergey Korobeynikov

Сведения об авторе: доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой «Безопасности труда» Новосибирского государственного технического университета.

Образование: Новосибирский государственный университет (НГУ), 1973 г.

Область научных интересов: техника высоких напряжений, диэлектрические материалы, частичные разряды, пробой при импульсном напряжении, предпробивные процессы, электрооптика.

Публикации: более 100 научных статей и докладов на конференциях, 4 монографии, 10 патентов.

Information about the author: Dr. of Science, Head of the Industrial Safety Department, Novosibirsk State Technical University.

Education: Novosibirsk State University (NSU), 1973.

Area of scientific interests: high-voltage technique, dielectrics, partial discharges, pulse breakdown, prebreakdown processes, electrooptics.

Publications: more than 100 scientific articles and conference reports, 4 monographs, 10 patents.



Ломан
Валентин Алексеевич
Loman Valentin

Сведения об авторе: кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасности труда» Новосибирского государственного технического университета.

Образование: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2018 г.

Область научных интересов: защита виткового оборудования от высокочастотных перенапряжений, грозозащита, коммутационные и грозовые перенапряжения, частотнозависимые материалы и устройства.

Публикации: 10 научных статей и докладов на конференциях, 6 патентов.

Information about the author: Ph.D, Associate Professor of the Department of Industrial Safety, Novosibirsk State Technical University.

Education: Novosibirsk State Technical University (NSTU), 2018.

Area of scientific interests: protection of winding equipment from high-frequency overvoltages, lightning protection, switching and lightning overvoltages, frequency-dependent materials and devices.

Publications: 10 scientific articles and conference reports, 6 patents



Ридель
Александр
Викторович
Ridel Alexander

Сведения об авторе: кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасности труда» Новосибирского государственного технического университета.

Образование: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2017 г.

Область научных интересов: высоковольтное оборудование, ферромагнитные материалы, частичные разряды, трансформаторное масло, трансформаторное оборудование, жидкие диэлектрики.

Публикации: 15 научных статей, 3 патента.

Information about the author: Ph.D, Associate Professor of the Department of Industrial Safety, Novosibirsk State Technical University.

Education: Novosibirsk State Technical University (NSTU), 2018.

Area of scientific interests: high-voltage equipment, ferromagnetic materials, partial discharges, transformer oil, transformer equipment, liquid dielectrics.

Publications: 15 scientific articles and conference reports, 3 patents.





Бычков
Александр
Леонидович
Bychkov Alexander

Сведения об авторе: кандидат технических наук, Старший преподаватель кафедры «Безопасности труда» Новосибирского государственного технического университета.

Образование: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2011 г.

Область научных интересов: высоковольтное оборудование, ферромагнитные материалы, частичные разряды, трансформаторное масло, трансформаторное оборудование, жидкие диэлектрики.

Публикации: 30 научных статей, 3 патента.

Information about the author: Ph.D, Senior Lecturer of the Department of the Department of Industrial Safety, Novosibirsk State Technical University.

Education: Novosibirsk State Technical University (NSTU), 2011.

Area of scientific interests: high-voltage equipment, ferromagnetic materials, partial discharges, transformer oil, transformer equipment, liquid dielectrics.

Publications: 30 scientific articles and conference reports, 3 patents.

Введение

Как известно, одной из важных особенностей устройств возобновляемой энергетики, в частности ветроэнергетических установок (ВЭУ), является прерывистая генерация. При этом зачастую возникают ситуации, когда вырабатываемую энергию некуда девать. Неоднократно предлагалось использовать эту энергию для получения водорода. Помимо очевидной пользы в качестве меры энергосбережения, дальнейшее использование водорода имеет ряд несомненных преимуществ и, по сути, является основанием новых перспективных технологий [1-10].

Надежность работы ВЭУ определяется многими факторами. В последнее время обращается внимание на такой опасный фактор, как высокочастотные перенапряжения, воздействующие на витковую изоляцию генератора и трансформатора [11-13].

В традиционной электроэнергетике высокочастотные перенапряжения являются одними из самых частых причин выхода из строя высоковольтных устройств электроэнергетического назначения. Причина их появления разнообразна. Традиционно считается, что основная причина – это удары молнии в провода ВЛ, грозотросы или опоры линии электропередач (ВЛ) [13-15].

Можно показать, что если удар молнии произошел на расстоянии более 1 километра, то импульс перенапряжения по мере прохождения к трансформатору уменьшается по амплитуде, и, главным образом, увеличивается по длительности фронтов. Классический грозовой импульс имеет длительность переднего фронта 1,2 мкс, а при прохождении этого расстояния он удлиняется примерно до 15 мкс. Такие импульсы не опасны, они с легкостью подавляются традиционными нелинейными ограничителями перенапряжений (ОПН). Наиболее опасны близкие удары молнии. При этом могут возникнуть несколько типов перенапряжений: обычный грозовой импульс, срезанный импульс и т.н. «импульс обратного перекрытия изоляторов ВЛ [16, 17].

Из этих импульсов самую низкую амплитуду имеет импульс обратного перекрытия, однако он имеет наиболее короткий фронт, потому для витковой изоляции такой импульс является наиболее опасным.

Чаще всего такой импульс возникает в случае высоких сопротивлений заземления, например в северных районах.

Кроме грозовой деятельности, высокочастотные перенапряжения возникают также при различных коммутациях. Считается, что при работе разъединителей возникают серии коротких импульсов, с которыми не справляются ОПН. Второй частой причиной высокочастотных перенапряжений является работа выключателей. Если ранее использовали масляные и маломасляные выключатели, они генерировали длинные и неопасные импульсы, то срабатывание вакуумных или элегазовых выключателей приводит к появлению коротких импульсов субмикросекундного диапазона. ОПН их не ограничивает [18-20]. Кроме этих случаев высокочастотные импульсы возникают при ударах молний в рядом расположенные объекты, не связанные электрически с ВЛ, т.н. наведенные или индуктированные перенапряжения. К наведенным опасным ВЧ перенапряжениям можно отнести и «проскок» импульса с обмотки высокого напряжения в обмотку низкого напряжения по емкостным связям. Для обмотки высокого напряжения этот импульс может быть вполне неопасным, однако обмотка низкого напряжения и присоединенные к ней устройства не предназначены для работы при намного более высоких напряжениях.

В устройствах для ветроэнергетики, содержащих витки, также возникают высокочастотные перенапряжения, в частности резонансные перенапряжения при коммутациях, работе инвертора [21, 22], грозовых перенапряжениях [23-25].

В качестве одной из мер, позволяющих повысить эффективность работы ОПН [26, 27], а также снизить опасность возникновения ВЧ перенапряжений, можно рассматривать применение частотнозависимого устройства (ЧЗУ), включаемого последовательно в рассечку между проводом воздушных линий (ВЛ) и защищаемым объектом, силовым трансформатором [28, 29]. Предложенное устройство работает на принципе аномального скин-эффекта, заключающемся в повышении сопротивления многослойного проводника на высоких частотах. Реализовано это за счёт



применения ферромагнитных резистивных материалов в конструкции проводника. Ранее моделирование устройства показало высокую эффективность в подавлении высокочастотных перенапряжений [28].

При этом следует отметить, что комплексных экспериментальных исследований по подтверждению

предполагаемых результатов моделирования ранее не проводилось.

Целью настоящей работы является анализ возможности использования ЧЗУ для защиты от высокочастотных перенапряжений, в частности ветроустановок.

Таблица сокращений

Аббревиатуры	
ВЭУ	Ветроэнергетические установки
ВЛ	Воздушные линии электропередач
ОПН	Нелинейные ограничители перенапряжений
ВЧ перенапряжения	Высокочастотные перенапряжения
ЧЗУ	Частотнозависимое устройство
Буквы греческого алфавита	
$\tau\phi$	Длительность фронта
$\mu\text{с}$	Микросекунды
Размерности	
кГц	частота, килоггерцы
МГц	частота, мегагерцы
мГн	индуктивность, миллигенри
Ом	сопротивление, омы
МОм	сопротивление, миллиомы
V	напряжение, вольты
кВ	напряжение, киловольты

$n\Phi$	ёмкость, нанофарады
мкс	время, микросекунды
нс	время, наносекунды
Оборудование	
GW Instek SFG-2110	генератор высокочастотных сигналов
Rigol MSO 5104	осциллограф
AKTAKOM AM-3001	измеритель иммитанса, RLC-метр
GW Instek GOM-7804	микроомметр
ИИП-4000	имитатор импульсных помех
ТВО	трансформатор
A-150	марка алюминиевых проводов с площадью сечения 150 мм ²
Z	полное сопротивление ЧЗУ на заданной частоте
UFDD	напряжение на ЧЗУ
UR	напряжение на шунтирующем низкоиндуктивном сопротивлении
R	сопротивление шунтирующего низкоиндуктивного сопротивления

1. Материалы и методы

Для обеспечения частотной зависимости сопротивления ЧЗУ выполняли из алюминиевого провода, покрытого ферромагнитной резистивной пленкой, сверху наносился слой диэлектрика. Схема полученного частотнозависимого проводника показана на рисунке 1.

Полученный проводник длиной около 120 метров сматывался в катушку, состоящую из 40 витков диаметром 1 метр. В качестве каркаса использовался текстолит на стальных основаниях. Таким образом, был получен прототип частотнозависимого устройства, показанный в натуральную величину на рисунке 2.

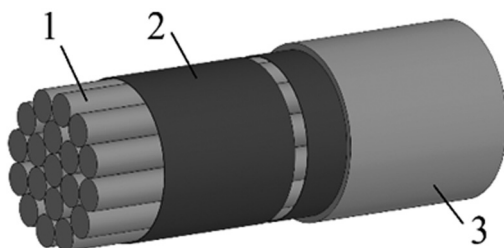


Рис. 1. Схема частотнозависимого проводника:
 1 – токопроводящий материал (алюминиевый проводник);
 2 – ферромагнитная резистивная лента;
 3 – диэлектрический материал (слой термоусадочной трубки).

Fig. 1. Diagram of a frequency-dependent conductor:
 1 – conductive material (aluminum conductor);
 2 – ferromagnetic tape;
 3 – dielectric material (layer of heat-shrinkable tube).



Рис. 2. Прототип ЧЗУ
Fig. 2. FDD prototype

В ходе проведённого исследования определялись параметры ЧЗУ, а также оценивалась его эффективность в качестве средства защиты от высокочастотных перенапряжений. Ранее проведённое моделирование показало, что для эффективной работы ЧЗУ требуется, чтобы ЧЗУ имело сопротивление на грозовых частотах (200-300 кГц) не менее 100 Ом, и индуктивность не менее 1 мГн, при этом, чтобы не вносить помехи в работу другого оборудования, максимальная индуктивность должна быть не выше 2 мГн [30].

Основным используемым методом в данном исследовании был экспериментальный метод. Для определения параметров ЧЗУ были проведены измерения сопротивления в широком частотном диапазоне. Измерения проводились вплоть до частот, характерных

для грозового импульса, а именно, до 200-300 кГц. В более широком диапазоне простые измерения затруднительны, для них проводились измерения при импульсном напряжении. В этой части работы проверялась частотная зависимость параметров ЧЗУ, активного и полного сопротивлений, а также определялась индуктивность устройства.

Всего использовалось 4 метода измерений:

Измерения по методу амперметра-вольтметра

Измерения RLC-метром

Низковольтные импульсные измерения

Высоковольтные импульсные измерения

Рассмотрим подробнее схемы проведения экспериментов и результаты измерений.

2. Результаты измерений

2.1. Измерения по методу амперметра-вольтметра

Измерения по методу амперметра-вольтметра представляют из себя классические низковольтные измерения на переменном напряжении с низкоиндуктивным шунтирующим сопротивлением. Схема измерения приведена на Рисунке 3.

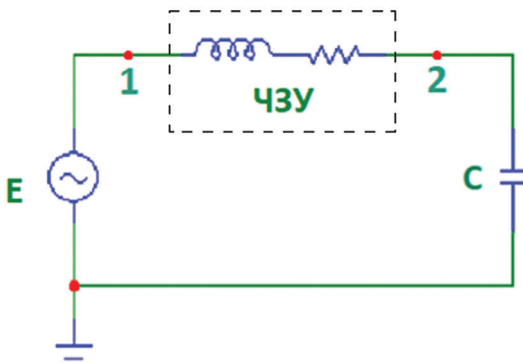


Рис. 3. Электрическая схема испытательной установки
Fig. 3. Electrical diagram of the test setup

В качестве источника напряжения использовался генератор GW Instek SFG-2110 со следующими параметрами:

- выходное напряжение 10 В;
- внутреннее сопротивление источника 50 Ом.

С помощью осциллографа Rigol MSO 5104 производилось измерение напряжения на частотозависимом устройстве и на низкоиндуктивном сопротивлении R (величина индуктивности около 2 мкГн, сопротивление 50 Ом). Измерения проводились на частотах 50, 100, 1 и 10 кГц, и далее с шагом в 10 кГц до 100 кГц и далее с шагом 20 кГц до 300 кГц. Измерения ограничены частотой в 300 кГц, поскольку при дальнейшем увеличении частоты наблюдалось явление резонанса в измерительной цепи, вызванное равенством

индуктивного сопротивления ЧЗУ и емкостного сопротивления схемы измерения. Частота резонанса была порядка 350-380 кГц.

Значение полного сопротивления определялось как:

$$Z = R \cdot \frac{U_{FDD}}{U_R} \quad (1)$$

где: Z – полное сопротивление ЧЗУ на заданной частоте, Ом;

U_{FDD} – напряжение на ЧЗУ, В;

U_R – напряжение на шунтирующем низкоиндуктивном сопротивлении, В;

R – сопротивление шунтирующего низкоиндуктивного сопротивления, Ом.

Кроме того, проводилось измерение угла между этими двумя напряжениями, что позволило вычислить активное и индуктивное сопротивления по следующим выражениям:

$$R_{FDD} = Z \cdot \cos\phi \quad (2)$$

$$X_{FDD} = Z \cdot \sin\phi \quad (3)$$

Результаты измерений сведены в Таблицу 1 и продемонстрированы на Рисунках 4, 5.

В Таблице 1 значение активного сопротивления могло быть определено с некоторой погрешностью, обусловленной трудностью определения угла между током в схеме и напряжением на частотозависимом устройстве. Поскольку значение активного сопротивления на 1-2 порядка ниже индуктивного сопротивления, то погрешность измерения угла оказывала существенное влияние на определение активного сопротивления и очень небольшое влияние на определение индуктивности.

Таблица 1

Результаты измерений параметров ЧЗУ методом амперметра-вольтметра

Table 1

Results of measurements of FDD parameters using the ammeter-voltmeter method

Частота источника, кГц	0.05	0.1	1	10	20	30	40	50	60	70	80
Полное сопротивление, Ом	0,4	0,8	7,8	22	25	30	42	60	72	78	85
Активное сопротивление, Ом	0,03	0,09	0,5	4,4	6	10	20	24	30	35	44
Индуктивность, мГн	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
Частота источника, кГц	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Полное сопротивление, Ом	106	135	144	166	198	217	236	250	273	285	330
Активное сопротивление, Ом	58	71	74	95	105	120	140	155	168	180	200
Индуктивность, мГн	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

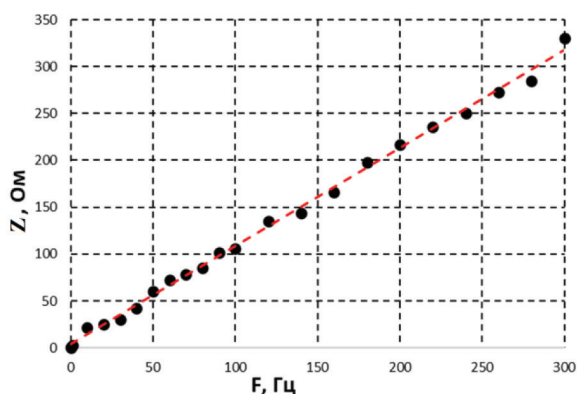


Рис. 4. Полное сопротивление ЧЗУ в зависимости от частоты
Fig. 4. FDD impedance depending on frequency

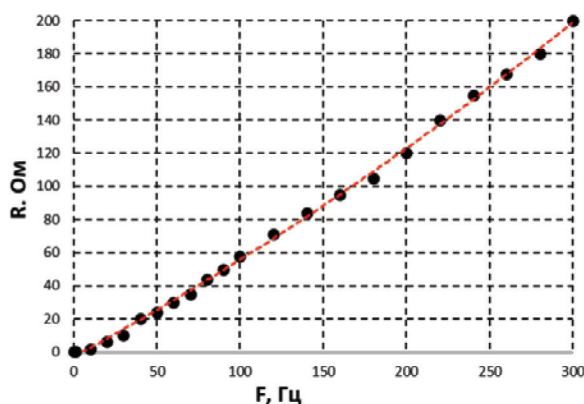


Рис. 5. Активное сопротивление ЧЗУ в зависимости от частоты
Fig. 5. Active resistance of FDD depending on frequency

2.2. Измерение RLC метром

Кроме измерений характеристик частотнозависимого устройства методом амперметра-вольтметра производилось измерение параметров чисто инструментальными способами.

Измерение сопротивления и индуктивности при разных частотах также проводили с помощью RLC метра АКТАКОМ АМ-3001. Результаты измерений

приведены в Таблице 2. Измерения при частоте выше 200 кГц показывают значения, сильно отличные от расчетных параметров и параметров, измеренных способом амперметра-вольтметра. При этих значениях возрастает роль паразитных параметров схемы измерения (индуктивность и емкость) и получение достоверных значений становится затруднительным.

Параметры ЧЗУ, измеренные RLC метром

Таблица 2

Table2

FDD parameters measured by RLC meter

Частота, кГц	0,1	1	10	100	200
Сопротивление, Ом	0,1	0,2	1,8	61	113
Индуктивность, мГн	1,16	1,15	1,1	1.0	1.0

Измерение сопротивления на постоянном напряжении производилось с использованием микрометра GW Instek GOM-7804. При исключении значений контактного сопротивления, собственное сопротивление ЧЗУ постоянному току составило 24 мОм, что соответствует сопротивлению фазного провода марки А-150.

По результатам измерений индуктивность частотнозависимого устройства изменяется от 1.2 до 0.9 мГн, активное сопротивление зависело от частоты

практически линейно и составляло при частоте 300 кГц примерно 200 Ом. Подчеркнем, что измерения с помощью RLC-метра дали сопоставимые результаты. Сопротивление постоянному току показали соответствие сопротивлению фазного провода.

2.3. Низковольтные импульсные измерения

Испытания импульсным напряжением проводилось с помощью схемы, представленной на Рисунке 6.

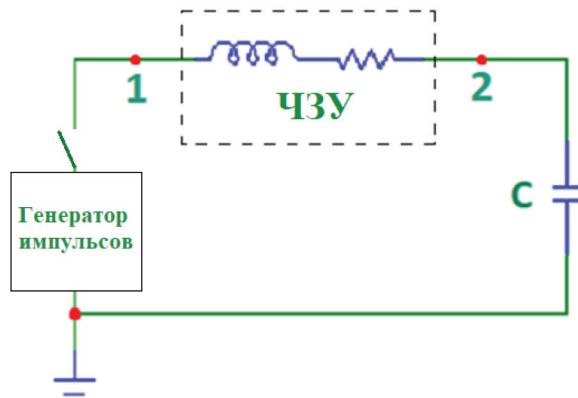


Рис. 6. Схема низковольтных измерений
Fig. 6. Low-voltage measurement circuit

Основной целью данных измерений была наглядная демонстрация положительного эффекта ЧЗУ, который заключается в удлинении фронта импульса. Отличие от схемы, представленной на Рисунке 1, заключается в источнике напряжения и включении в цепь емкости вместо сопротивления. Имитация трансформатора емкостью при моделировании грозозащиты и других высокочастотных процессов общепринята и производится в соответствии со стандартом предприятия ФСК ЕЭС и рекомендациями МЭК. Значения емкости зависят от типа трансформатора и обычно составляют 4-10 нФ.

В качестве источника напряжения использовался генератор импульсов GW Instek SFG-2110 со следующими параметрами:

- выходное напряжение 20 В;
- внутреннее сопротивление источника 50 Ом.

Сформированные генератором прямоугольные импульсы большой длительности и малым фронтом фиксировались осциллографом Rigol MSO 5104 в точках 1 и 2 (перед и после частотнозависимого устройства, соответственно). Результаты моделирования приведены на Рисунке 7.

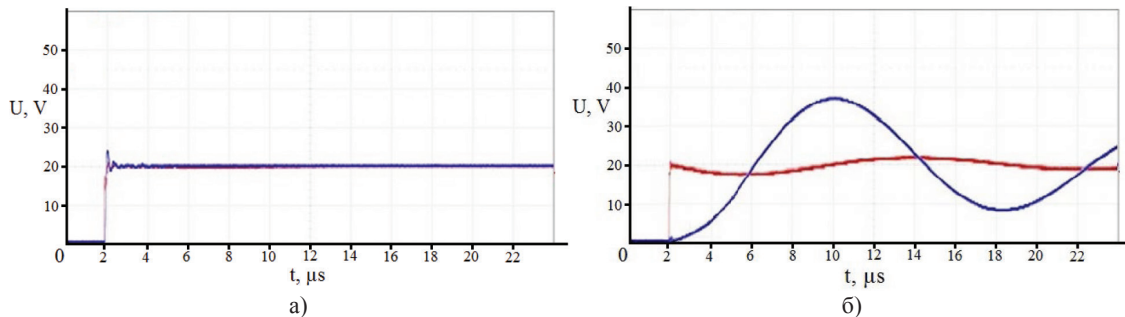


Рис. 7. Результаты испытаний: а – ЧЗУ зашунтирован; б – ЧЗУ подключен
Fig. 7. Test results: a – FDD is bypassed; b – FDD is connected

Из диаграмм, приведенных на Рисунке 7 видно, что происходит удлинение фронта до 10 и более микросекунд, с одновременным увеличением напряжения на емкости, имитирующей входную емкость обмотки трансформатора. Это согласуется с более ранними результатами численного моделирования поведения ЧЗУ при действии длинного импульса [28]. Снижение амплитуды напряжения происходит на импульсах с менее длинным задним фронтом, что было продемонстрировано при проведении высоковольтных импульсных измерений.

2.4. Высоковольтные импульсные измерения

Для проведения высоковольтных измерений использовался имитатор импульсных помех ИИП-4000, который обеспечивал возможность получения импульсов амплитудой до 4 кВ с длительностью фронта порядка 1 мкс. Временные характеристики импульса соответствуют параметрам грозового импульса. Характерный частотный диапазон для грозового импульса составляет сотни килогерц, для короткого импульса – более 1 МГц.

Измерения с длинным импульсом. Схема измерения практически соответствует представленной на Рисунке 6, за исключением использованного генератора. Исходный импульс, имитируемый генератором, показан на Рисунке 8. Напряжение на емкости в отсутствие ЧЗУ показано на Рисунке 9, а при его включении последовательно с емкостью – на Рисунке 10.

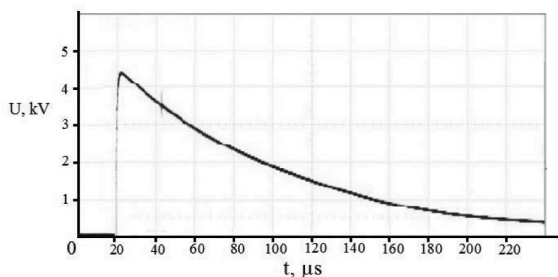


Рис. 8. Полный высоковольтный импульс.

Амплитуда импульса ~4,5 кВ, полная длительность фронта ~1 мкс

Fig. 8. Full high voltage pulse.

Pulse amplitude ~4.5 kV, total rise time ~1 μs

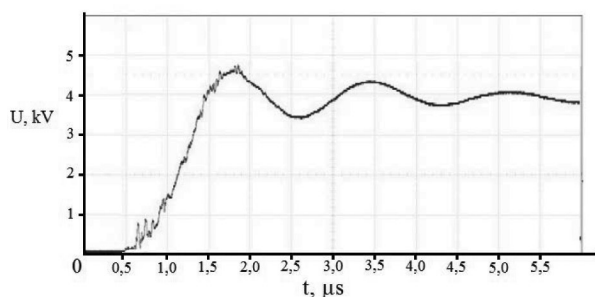


Рис. 9. Импульс на имитации трансформатора в отсутствие ЧЗУ.

Амплитуда импульса ~4,5 кВ, полная длительность фронта ~1 мкс

Fig. 9. Impulse on a simulated transformer in the absence of a FDD.

Pulse amplitude ~4.5 kV, total rise time ~1 μs

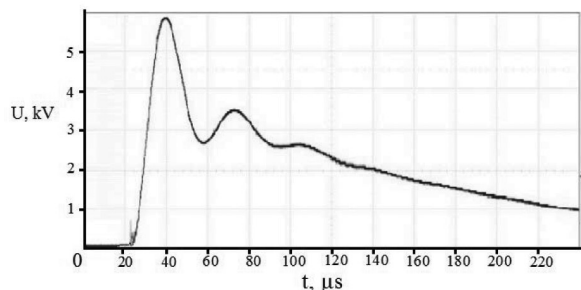


Рис. 10. Импульс на имитации трансформатора

при подключении ЧЗУ. Амплитуда импульса ~6 кВ, полная длительность фронта ~10 мкс

Fig. 10. Impulse on simulating a transformer when connecting a FDD.

Pulse amplitude ~6 kV, total rise time ~10 μs

Анализ диаграмм, показанных на рисунках 9 и 10, показывает, что при подключении ЧЗУ амплитуда импульса увеличивается примерно на 30 %, длительность переднего фронта увеличивается примерно в 10 раз.

Измерения с коротким импульсом. При модернизации установки импульсных помех ИИП-4000 с целью создания импульсов с фронтом менее 1 мкс, в цепи регистрации появлялось большое количество паразитных колебаний. Для демонстрации снижения амплитуды набегающего импульса и увеличения длительности переднего фронта на коротких импульсах были проведены измерения с использованием высоковольтных конденсаторов. Результаты измерений, источником импульса высокого напряжения в которых являлся конденсатор, заряжаемый трансформатором ТВО до напряжений 20 кВ, приведены на Рисунках 11-12. Схема и методика регистрации электрического сигнала полностью идентичны описанным ранее. Коэффициент деления равен 893. Ключевой особенностью данного измерения является короткий фронт (230 нс) набегающего импульса. Изменением емкости конденсатора мы изменяли длительность импульса и, в результате исследования, было наглядно зарегистрировано снижение амплитуды набегающего импульса и увеличение длины переднего фронта.

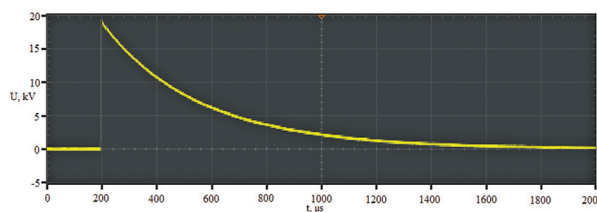


Рис. 11. Импульс в отсутствие ЧЗУ.

Длительность переднего фронта ~ 230 нс, амплитуда ~ 20 кВ

Fig. 11. Impulse in the absence of a FDD.

Rising edge duration ~ 230 ns, amplitude ~ 20 kV

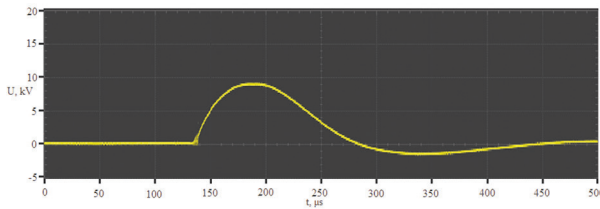


Рис. 12. Импульс при включении ЧЗУ в цепь.
Длительность переднего фронта ~ 250 мкс, амплитуда $\sim 8,1$ кВ
Fig. 12. Pulse when the FDD is connected to the circuit.
Rising edge duration ~ 250 μ s, amplitude $\sim 8,1$ kV

3. Обсуждение

Зафиксированный в измерениях (таблицы 1 и 2) аномальный рост сопротивления с ростом частоты происходит вследствие скин-эффекта, а именно, вытеснения высокочастотного тока из высокопроводящей центральной части провода на периферию, где высокое удельное сопротивление и уменьшенный размер скин-слоя обеспечивают рост активного сопротивления. Некоторое уменьшение индуктивности с ростом частоты, на наш взгляд, можно объяснить наличием паразитных емкостей между витками ЧЗУ.

Проведенные измерения (Рисунки 11-12) наглядно демонстрируют высокую эффективность применения частотнозависимого устройства для защиты от импульсов высокочастотных перенапряжений. Отметим, что характерную частоту, присущую импульсу с фронтом тф, можно оценить, как $0,3/\text{тф}$. Для грозовых характерные частоты лежат в диапазоне (1-100 кГц) [31], однако для коммутационных характерны частоты от 100 до 1000 кГц [32], при этом следует отметить, что в особых случаях, например, при срабатывании элегазовых выключателей могут образовываться перенапряжения с высокой частотой (0,6-2 МГц) [33]. При этом эффективность работы ЧЗУ возрастает с увеличением частоты импульса, что полностью соответствует ожидаемым результатам. Важно отметить, особую эффективность ЧЗУ в подавлении коротких импульсов длительностью менее 1 мкс. В этом случае происходит ярко выраженный завал крутизны импульса и значительное уменьшение его амплитуды, этот эффект хорошо согласуется с результатами компьютерного моделирования, проведенного ранее [28]. В экспериментах нашёл подтверждение и тот факт, что при воздействии на длинный фронт (более 1 мкс, например, фронт полной грозовой волны) вместе со значительным удлинением фронта происходит и незначительное увеличение амплитуды перенапряжения. Что означает необходимость дополнительного устройства для воздействия на амплитуду сигнала. В связи с этим была построена гипотеза, что одновременное использование ОПН и ЧЗУ даст наибольший эффект, так как ОПН позволяет глубоко ограничивать набегающий импульс [34-36], а ЧЗУ действовать на остаточный импульс после отработки ОПН. В таком случае будет достигнут синергетический эффект двух устройств и нивелирование их недостатков.

Можно отметить, что совместное использование ОПН и ЧЗУ по эффективности будет превосходить

альтернативные методы защиты от высокочастотных перенапряжений, используемые и предлагаемые сейчас. Такие, как использование линейных разрядников [37], применение ОПН с комплексом резисторов и разрядников [38], применение ОПН, встроенных в корпуса изоляторов [39], применение ферромагнитных колец [40] или, например, комбинации использования высокочастотных магнитных материалов с параллельно подключаемыми сопротивлениями [26, 27]. Все эти способы имеют ряд недостатков, основные из которых заключаются в следующем: сложность конструкции из-за наличия большого количества элементов, требования к настройке на определённую защищаемую частоту набегающего сигнала, перенос проблем своих прототипов (что особенно актуально при использовании ОПН, зависимость от сопротивления заземления, требование настройки искровых промежутков и т.д.). Также важно отметить, что большинство предлагаемых способов защиты или не вышли за рамки патентов или моделирования, в то время как образцы ЧЗУ уже прошли успешную опытную эксплуатацию на реальных объектах энергетики [41].

Также результаты измерений, показывают малое сопротивление устройства при токе с частотой 50 Гц, то есть с рабочей частотой. В таком случае активное сопротивление составляет ~ 24 мОм, что близко по уровню к сопротивлению фазного алюминиевого провода такого же диаметра. В то же время активное сопротивление на высоких частотах значительно возрастает и уже на частоте 180 кГц составляет ~ 105 Ом, что в сумме с индуктивностью ~ 1 мГн является достаточным для эффективного подавления высокочастотных перенапряжений [30].

Полученные результаты подтверждают результаты компьютерного моделирования, представленного в ранних статьях, и подтверждает высокую перспективность использования ЧЗУ. Применение ЧЗУ позволит обеспечить защиту дорогостоящего оборудования от высокочастотных перенапряжений особенно в сетях малого размера и связанных с возобновляемыми источниками энергии. Следует отметить, что источником высокочастотных перенапряжений в устройствах возобновляемой энергетики могут являться как внешние причины, такие как грозовая деятельность, так и работа самих ВИЭ. В частности, в этих устройствах используются вакуумные выключо-



чатели, которые, как ранее указывалось, являются основными источниками ВЧ перенапряжений [11].

Учитывая актуальность развития в настоящее время возобновляемых источников электроэнергии, таких как ветрогенерация, солнечная энергия, гидрогенерация, становится актуальным вопросом накопление и запасание энергии, так как эти источники зачастую работают периодически. Одним из наиболее перспективных и удобных способов является применение водородных накопителей энергии. Однако следует учитывать, что данные устройства должны обладать повышенной надёжностью ко многим фак-

торам, в том числе и к воздействию перенапряжений грозового, коммутационного характера или от работ иного оборудования. В связи с этим становится актуальным вопрос защиты от высокочастотных перенапряжений, представляющих высокую опасность для оборудования как самих источников электроэнергии, так и установки её накопления. Здесь может помочь использование простых по исполнению и надёжных устройств, таких как ЧЗУ, которые смогут значительно повысить надёжность добычи и хранения возобновляемой энергии.

4. Заключение

В статье показаны результаты проведённого экспериментального исследования параметров прототипа ЧЗУ для ВЛ 110 кВ. В ходе экспериментов подтверждены результаты компьютерного моделирования, показана высокая эффективность ЧЗУ в подавлении коротких высокочастотных импульсов перенапряжения. Показано, что для эффективной работы ЧЗУ необходимыми параметрами является ~ 100 Ом и ~ 1 мГн на грозовых частотах. Показано, что с ростом частоты сигнала эффективность устройства значительно возрастает вплоть до мегагерцового диапазона частот. Для надёжной защиты от набегающих сигналов частотой менее 200-300 кГц, предлагается совместное использование ОПН и ЧЗУ.

Подводя итоги, можно с уверенностью сказать, что применение ЧЗУ способно значительно повысить

надёжность энергосистем за счёт снижения крутизны набегающих импульсов перенапряжения. Особенно это будет актуально для сетей и микросетей, значительно удалённых от населённых районов и использующих системы возобновляемой генерации.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда грант № 23-79-01168 <https://rscf.ru/project/23-79-01168/> в части разработки испытательных установок и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере дог. № 4509ГС1/74010 в части изготовления прототипа устройства и проведения измерений.

Список литературы

- [1]. Zhiznin S. Z., Vassilev S., Gusev A.L. Economics of secondary renewable energy sources with hydrogen generation // *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 44, Issue 23, 2019, P. 11385-1139, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.072>.
- [2]. Ajanovic A., Sayer M., Haas R. The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen // *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 47, Issue 57, 2022, Pages 24136-24154, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>.
- [3]. Temiz M., Dincer I. Development of solar and wind based hydrogen energy systems for sustainable communities // *Energy Conversion and Management*, Volume 269, 2022, 116090, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116090>.
- [4]. Hasan M. M., Genç G. Techno-economic analysis of solar/wind power based hydrogen production // *Fuel*, Volume 324, Part A, 2022, 124564, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124564>.
- [5]. Durakovic G., Crespo del Granado P., Tomasgard A. Powering Europe with North Sea offshore wind: The impact of hydrogen investments on grid infrastructure and power prices // *Energy*, Volume 263, Part A, 2023, 125654, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125654>.
- [6]. Posso F., Galeano M., Baranda C., Franco D., Rincón A., Zambrano J., Cavaliero C., López D. Towards the Hydrogen Economy in Paraguay: Green hydrogen production potential and end-uses // *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 47, Issue 70, 2022, P. 30027-30049, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.217>.
- [7]. Nasser M., Megahed T. F., Ookawara S., Hassan H., Performance evaluation of PV panels/wind turbines hybrid system for green hydrogen generation and storage: Energy, exergy, economic, and enviroeconomic // *Energy Conversion and Management*, Volume 267, 2022, 115870, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115870>.
- [8]. Kotowicz J., Jurczyk M., Węcel D. The possibilities of cooperation between a hydrogen generator and a wind farm // *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 46, Issue 10, 2021, P. 7047-7059, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.246.
- [9]. Hassan Q., Sameen A. Z., Salman H. M., Jaszczur M., Large-scale green hydrogen production via alkaline water electrolysis using solar and wind energy

// International Journal of Hydrogen Energy, 2023, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.126.

[10]. Messaoudi D., Settou N., Allouhi A. Geographical, technical, economic, and environmental potential for wind to hydrogen production in Algeria: GIS-based approach // International Journal of Hydrogen Energy, 2023, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.263.

[11]. Smugala D., Piasecki W., Ostrogorska M., Florkowski M., Fulczyk M., Granhaug O. Wind Turbine Transformers Protection Method Against High-Frequency Transients // IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 30, no. 2, April 2015, P. 853-860, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2343261.

[12]. Xin Y. L., Tang W. H., Luan L., Chen G. Y., Wu H. Overvoltage protection on high-frequency switching transients in large offshore wind farms // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741642.

[13]. Zhu H., Chen Q., Li H., Tong Y., Han L., Jiao Y. Analyses on an electronic voltage transformer's failure by its resonance with very fast transient overvoltage and suppression // High Voltage. 1–13 (2023). <https://doi.org/10.1049/hve2.12370>

[14]. Wang J., Mi, Li X., Zhang Cai. Effects of Surge Protective Devices on Overhead Power Line Induced Voltage from Natural Lightning // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2013. – Vol. 55. № 6. – P. 1201-1209

[15]. Soares A., Schroeder M. A., Visacro S. Transient voltages in transmission lines caused by direct lightning strikes // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2005. – Vol. 20. № 2. – P. 1447-1452.

[16]. Mahmood F., Lehtonen M., Nehmdoh S. A. Probabilistic Risk Assessment of MV Insulator Flashover Under Combined AC and Lightning-Induced Overvoltages // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2015. – Vol. 30. № 4. – P. 1880-1888

[17]. Yuan M., Zou L., Li Z., Pang L., Zhao T., Li Z., Zhou J., Xiao P., Akram S., Wangl Z. A review on factors that affect surface charge accumulation and charge-induced surface flashover // Nanotechnology, Volume 32, Number 2 6 (2021) doi:10.1088/1361-6528/abe9e3

[18]. Florkowski, M., Furgal, J., Pajak, P. Risks of transformers from switching overvoltages in electrical power systems // Energies – 2010. – № 86. – P. 245-248.

[19]. Tastet J., Angays P. Safe Implementation of HV Vacuum Switches in Oil & Gas Installations // 2007 4th European Conference on Electrical and Instrumentation Applications in the Petroleum & Chemical Industry – 2007. – P. 1-7.

[20]. Shipp D. D., Dionise T. J., Lorch V., MacFarlane B. G. Transformer Failure Due to Circuit-Breaker-Induced Switching Transients // IEEE Transactions on Industry Applications – 2011. – Vol. 47. № 2. –

P. 707-718.;

[21]. Banda C. A., Van Coller J. M. Resonant overvoltages in wind turbine transformers // 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, Eindhoven, Netherlands, 2015, P. 1-6, doi: 10.1109/PTC.2015.7232317.

[22]. Soloot A. H., Høidalen H. K. Gustavsen B. Influence of the winding design of wind turbine transformers for resonant overvoltage vulnerability // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 22, no. 2, April 2015, P. 1250-1257, doi: 10.1109/TDEI.2015.7076828.

[23]. Nasiri M. J., Homae O., Jasinski M., Gholami A., Leonowicz Z. Lightning Transients in Wind Turbines: A Comparative Study of Two Tower/Blade Models // 2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Madrid, Spain, 2023, P. 1-4, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194606.

[24]. Zhang T., Sun L. X., Zhang Y., Sun P. Simulation of switching overvoltage of step-up transformers in wind farms // 2013 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, Beijing, China, 2013, P. 430-431, doi: 10.1109/ASEMD.2013.6780812.

[25]. Cervantes M., Kocar I., Montenegro A., Goldsworthy D. L., Tobin T., Mahseredjian J., Ramos R., Martí J. R., Noda T., Ametani A., Martin C. Simulation of Switching Overvoltages and Validation With Field Tests // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2018. – Vol. 33. № 6. – P. 2884-2893.

[26]. Smugała, D., Piasecki, W., Ostrogórska, M., Florkowski, M., Fulczyk, M., Granhaug, O. New approach to protecting transformers against high frequency transients–wind turbine case study // PrzeglądElektrotech. 2013, No. 89, P. 186–190.

[27]. Smugała D., Piasecki W., Ostrogórska M., Florkowski M., Fulczyk M., Kłys P. Distribution transformers protection against High Frequency Switching Transients // PrzeglądElektrotechni, R. 88 NR 5a/2012 P. 296-300.

[28]. Korobeynikov S. M., Krivosheev S. I., Magazinov S. G., Loman V. A., Ilushov N. Y. Suppression of Incoming High-Frequency Overvoltage in Transformer Coils // IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 36, no. 5, Oct. 2021, P. 2988-2994, doi: 10.1109/TPWRD.2020.3031592.

[29]. Патент № 214353 РФ Устройство для защиты от высокочастотных перенапряжений / Коробейников С. М., Ридель А. В., Бычков А. Л., Ломан В. А. Патентообладатель ООО «Электрозащитные решения». Дата регистрации 25.10.2022 Бюл. № 30 27.06.2022.

[30]. Emelyanova O. O., Loman V. A., Korobeynikov S. M., Lightning Overvoltages Suppression for the 35-kV Cable Section Insulation with the Frequency-Dependent Device // Actual problems of electronic



instrument engineering (APEIE-2021) : proc. of the 15 intern. sci. and techn. conf., Novosibirsk, 19–21 Nov. 2021. – Novosibirsk : Publ. NSTU, 2021. – P. 212-215. DOI 10.1109/APEIE52976.2021.9647458.

[31]. Nakamura N., Takada H. Kato J., Study on a High-Performance Fuse against Surge Current // 2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Rzeszow, Poland, 2018, P. 1-5, doi: 10.1109/ICLP.2018.8503270.

[32]. Ibrahim A. I., Dommel, H. W. A Knowledge Base for Switching Surge Transients // International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005/ https://www.ipstconf.org/papers/Proc_IPST2005/05IPST050.pdf

[33]. Okabe S., Yuasa S., Kaneko S. Evaluation of Breakdown Characteristics of Gas Insulated Switchgears for Non-Standard Lightning Impulse Waveforms - Breakdown Characteristics for Non-Standard Lightning Impulse Waveforms Associated with Lightning Surges // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 15, no. 2, April 2008, P. 407-415, doi: 10.1109/TDEI.2008.4483459.

[34]. Liljestrand L., Lindell E. Efficiency of surge arresters as protective devices against circuit-breaker-induced overvoltages // IEEE Transactions on power delivery. – 2016. – Vol. 31. № 4. – P. 1562-1570.

[35]. Costea M., Nicoara B. The Effects of Lightning Induced Overvoltages on Low Voltage Power Networks // IEEE Bucharest Power Tech Conference, June 28th - July 2nd. – Bucharest, Romania. – 2009. – P. 1-6.

[36]. Aravanis T. I., Pyrgioti E. C., Gonos I. F. Lightning-induced Overvoltages in the Hellenic Electricity Distribution Network // 2016 IEEE International

Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE Lightning-induced Overvoltages in the Hellenic Electricity Distribution Network). – Chengdu, China. – 2016. – P. 1-4.

[37]. Cao W., Wan S., Gu S., Xu H., Chen J., Wang J., Lu L. Development and application of lightning flashover limited equipment for 220 kV AC transmission line // The Journal of Engineering. – 2019. – Vol. 2019. Issue 16. – P. 802-805.

[38]. Бердников Р. Н., Гайворонский А. С., Горюшин Ю. А., Дементьев Ю. А., Тимофеев Д. Г., Шевцов И. В. ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «НЦ ФСК ЕЭС» Устройство грозозащиты высоковольтной воздушной линии, монтируемое на промежуточной опоре и высоковольтная воздушная линия, снабженная таким устройством. Патент № 2456733 РФ. – № 2011121247/07 Заявл. 26.05.2011; Оpubл. 20.07.2012. Бюл. № 20.

[39]. Пильщиков В. Е., Гангрский М. Ю., Красавина М. А. ЗАО «Завод энергозащитных устройств» Ограничитель перенапряжения, встроенный в корпус изолятора. Патент № 2259609 РФ. – № 2004112571/09 Заявл. 20.04.2004; Оpubл. 27.08.2005. Бюл. № 24.

[40]. Li Q., Wu M. Simulation Method for the Applications of Ferromagnetic Materials in Suppressing High-Frequency Transients within GIS // IEEE Transactions on Power delivery. – 2007. – Vol. 22. № 3. – P. 1628-1632.

[41]. Протокол технического совета АО «Тюмень-энерго» от 12 декабря 2018 года Секция № 1 Композитные опоры ВЛ 35-110 кВ, Частотозависимый резистор. Сургут. 2018.

References

[1]. Zhiznin S. Z., Vassilev S., Gusev A. L. Economics of secondary renewable energy sources with hydrogen generation // International Journal of Hydrogen Energy Volume 44, Issue 23, 2019, P. 11385-1139, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.072>.

[2]. Ajanovic A., Sayer M., Haas R., The economics and the environmental benefit of different colors of hydrogen // International Journal of Hydrogen Energy, Volume 47, Issue 57, 2022, Pages 24136-24154, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>.

[3]. Temiz M., Dincer I., Development of solar and wind based hydrogen energy systems for sustainable communities // Energy Conversion and Management, Volume 269, 2022, 116090, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116090>.

[4]. Hasan M. M., Genç G., Techno-economic analysis of solar/wind power based hydrogen production // Fuel, Volume 324, Part A, 2022, 124564, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124564>.

[5]. Durakovic G., Crespo del Granado P., Tomasgard A., Powering Europe with North Sea offshore wind: The

impact of hydrogen investments on grid infrastructure and power prices // Energy, Volume 263, Part A, 2023, 125654, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125654>.

[6]. Posso F., Galeano M., Baranda C., Franco D., Rincón A., Zambrano J., Cavaliero C., López D. Towards the Hydrogen Economy in Paraguay: Green hydrogen production potential and end-uses // International Journal of Hydrogen Energy, Volume 47, Issue 70, 2022, P. 30027-30049, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.217>.

[7]. Nasser M., Megahed T. F., Ookawara S., Hassan H., Performance evaluation of PV panels/wind turbines hybrid system for green hydrogen generation and storage: Energy, exergy, economic, and enviroeconomic // Energy Conversion and Management, Volume 267, 2022, 115870, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115870>.

[8]. Kotowicz J., Jurczyk M., Węcel D. The possibilities of cooperation between a hydrogen generator and a wind farm // International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 10, 2021, P. 7047-7059, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.246.

[9]. Hassan Q., Sameen A. Z., Salman H. M.,

Jaszczur M. Large-scale green hydrogen production via alkaline water electrolysis using solar and wind energy // *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.126.

[10]. Messaoudi D., Settou N., Allouhi A. Geographical, technical, economic, and environmental potential for wind to hydrogen production in Algeria: GIS-based approach // *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.263.

[11]. Smugała D., Piasecki W., Ostrogorska M., Florkowski M., Fulczyk M., Granhaug O. Wind Turbine Transformers Protection Method Against High-Frequency Transients // *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume 30, no. 2, April 2015, pp. 853-860, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2343261.

[12]. Xin Y. L., Tang W. H., Luan L., Chen G. Y., Wu H. Overvoltage protection on high-frequency switching transients in large offshore wind farms // 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741642.

[13]. Zhu H., Chen Q., Li H., Tong Y., Han L., Jiao Y. Analyzes on an electronic voltage transformer's failure by its resonance with very fast transient overvoltage and suppression // *High Voltage*. 1–13 (2023). <https://doi.org/10.1049/hve.2.12370>

[14]. Wang J., Mi, Li X., Zhang Cai. Effects of Surge Protective Devices on Overhead Power Line Induced Voltage from Natural Lightning // *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. – 2013. – Vol. 55. No. 6. – P. 1201-1209

[15]. Soares A., Schroeder M. A., Visacro S. Transient voltages in transmission lines caused by direct lightning strikes // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 2005. – Vol. 20. No. 2. – P. 1447-1452.

[16]. Mahmood F., Lehtonen M., Nehmdoh S. A. Probabilistic Risk Assessment of MV Insulator Flashover Under Combined AC and Lightning-Induced Overvoltages // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 2015. – Vol. 30. No. 4. – P. 1880-1888

[17]. Yuan M., Zou L., Li Z., Pang L., Zhao T., Li Z., Zhou J., Xiao P., Akram S., Wang Z. A review on factors that affect surface charge accumulation and charge-induced surface flashover // *Nanotechnology*, Volume 32, Number 2 6 (2021) doi:10.1088/1361-6528/abe9e3

[18]. Florkowski, M., Furgał, J., Pajak, P. Risks of transformers from switching overvoltages in electrical power systems // *Energies* – 2010. – No. 86. – R. 245-248.

[19]. Tastet J., Angays P. Safe Implementation of HV Vacuum Switches in Oil & Gas Installations // 2007 4th European Conference on Electrical and Instrumentation Applications in the Petroleum & Chemical Industry – 2007. – P. 1-7.

[20]. Shipp D. D., Dionise T. J., Lorch V., MacFarlane B. G. Transformer Failure Due to Circuit-Breaker-Induced Switching Transients // *IEEE Transactions on Industry Applications* - 2011. - Vol. 47. No. 2. – P. 707-718.;

[21]. Banda C. A., Van Coller J. M. Resonant overvoltages in wind turbine transformers // 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, Eindhoven, Netherlands, 2015, P. 1-6, doi: 10.1109/PTC.2015.7232317.

[22]. Soloot A. H., Høidalen H. K. Gustavsen B. Influence of the winding design of wind turbine transformers for resonant overvoltage vulnerability // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, no. 2, April 2015, P. 1250-1257, doi: 10.1109/TDEI.2015.7076828.

[23]. Nasiri M. J., Homae O., Jasinski M., Gholami A., Leonowicz Z. Lightning Transients in Wind Turbines: A Comparative Study of Two Tower/Blade Models // 2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Madrid, Spain, 2023, P. 1-4, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194606.

[24]. Zhang T., Sun L. X., Zhang Y. Sun P. Simulation of switching overvoltage of step-up transformers in wind farms // 2013 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, Beijing, China, 2013, P. 430-431, doi: 10.1109/ASEMD.2013.6780812.

[25]. Cervantes M., Kocar I., Montenegro A., Goldsworthy D. L., Tobin T., Mahseredjian J., Ramos R., Martí J. R., Noda T., Ametani A., Martin C. Simulation of Switching Overvoltages and Validation With Field Tests // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 2018. – Vol. 33. No. 6. – P. 2884-2893.

[26]. Smugała, D.; Piasecki, W.; Ostrogórska, M.; Florkowski, M.; Fulczyk, M.; Granhaug, O. New approach to protecting transformers against high frequency transients–wind turbine case study // *PrzeглядElektrotech*. 2013, No. 89, pp. 186–190.

[27]. Smugała D., Piasecki W., Ostrogórska M., Florkowski M., Fulczyk M., Kłys P. Distribution transformers protection against High Frequency Switching Transients // *Przeгляд Elektrotechni*, R. 88 NR 5a/2012 P. 296-300.

[28]. Korobeynikov S. M., Krivosheev S. I., Magazinov S. G., Loman V. A., Ilushov N. Y. Suppression of Incoming High-Frequency Overvoltage in Transformer Coils // *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 36, no. 5, Oct. 2021, P. 2988-2994, doi: 10.1109/TPWRD.2020.3031592.

[29]. Patent No. 214353 RF Device for protection against high-frequency overvoltages / Korobeinikov S. M., Ridel A. V., Bychkov A. L., Loman V. A. Patent holder of Electrical Protection Solutions LLC. Registration date 10/25/2022 Bulletin.No. 30 06.27.2022.

[30]. Emelyanova O. O., Loman V. A., Korobeynikov S. M., Lightning Overvoltages Suppression for the 35-kV Cable Section Insulation with the Frequency-Dependent Device // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2021): proc. of the 15 intern. sci. and techn. conf., Novosibirsk, 19–21 Nov. 2021. – Novosibirsk: Publ. NSTU, 2021. – P. 212-215. DOI 10.1109/



APEIE52976.2021.9647458.

[31]. Nakamura N., Takada H. Kato J., Study on a High-Performance Fuse against Surge Current // 2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Rzeszow, Poland, 2018, P. 1-5, doi: 10.1109/ICLP.2018.8503270.

[32]. Ibrahim A. I., Dommel, H. W. A Knowledge Base for Switching Surge Transients // International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005/ https://www.ipstconf.org/papers/Proc_IPST2005/05IPST050.pdf

[33]. Okabe S., Yuasa S., Kaneko S. Evaluation of Breakdown Characteristics of Gas Insulated Switchgears for Non-Standard Lightning Impulse Waveforms - Breakdown Characteristics for Non-Standard Lightning Impulse Waveforms Associated with Lightning Surges // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 15, no. 2, April 2008, pp. 407-415, doi: 10.1109/TDEI.2008.4483459.

[34]. Liljestrand L., Lindell E. Efficiency of surge arresters as protective devices against circuit-breaker-induced overvoltages // IEEE Transactions on power delivery. – 2016. – Vol. 31. No. 4. – P. 1562-1570.

[35]. Costea M., Nicoara B. The Effects of Lightning Induced Overvoltages on Low Voltage Power Networks // IEEE Bucharest Power Tech Conference, June 28th - July 2nd. – Bucharest, Romania. – 2009. – P. 1-6.

[36]. Aravanis T. I., Pyrgioti E. C., Gonos I. F. Lightning-induced Overvoltages in the Hellenic Electricity Distribution Network // 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application

(ICHVE Lightning-induced Overvoltages in the Hellenic Electricity Distribution Network). – Chengdu, China. – 2016. – P. 1-4.

[37]. Cao W., Wan S., Gu S., Xu H., Chen J., Wang J., Lu L. Development and application of lightning flashover limited equipment for 220 kV AC transmission line // The Journal of Engineering. – 2019. – Vol. 2019. Issue 16. – P. 802-805.

[38]. Berdnikov R. N., Gaivoronsky A. S., Goryushin Yu. A., Dementyev Yu. A., Timofeev D. G., Shevtsov I. V. JSC FGC UES, JSC NC FGC UES High-voltage lightning protection device overhead line mounted on an intermediate support and a high-voltage overhead line equipped with such a device. Patent No. 2456733 RF. – No. 2011121247/07 Application. 05/26/2011; Publ. 07/20/2012. Bull. No. 20.

[39]. Pilshchikov V. E., Gangrsky M. Yu., Krasavina M. A. ZAO «Energy Protective Devices Plant» Surge limiter built into the insulator housing. Patent No. 2259609 RF. – No. 2004112571/09 Application. 04/20/2004; Publ. 08/27/2005. Bull. No. 24.

[40]. Li Q., Wu M. Simulation Method for the Applications of Ferromagnetic Materials in Suppressing High-Frequency Transients within GIS // IEEE Transactions on Power delivery. – 2007. – Vol. 22. No. 3. – P. 1628-1632.

[41]. Minutes of the technical council of Tyumenenergo JSC dated December 12, 2018 Section No. 1 Composite supports of 35-110 kV overhead lines, Frequency-dependent resistor. Surgut. 2018.

Транслитерация по BSI





CHARACTERIZATION OF AN ACTIVATED CARBON ELECTRODE MADE FROM COCONUT SHELL PRECURSOR FOR HYDROGEN STORAGE APPLICATIONS

*Manish Kumar Singla¹, Jyoti Gupta^{a,2}, Murodbek Safaraliev³, Parag Nijhawan⁴,
Amandeep Singh Oberoi⁵, Amir Abdel Menaem^{3,6}*

¹Department of Interdisciplinary Courses in Engineering, Chitkara University Institute of Engineering & Technology
Chitkara University, Punjab, India

²Department of Computer Science, K.R Mangalam University, Gurugram, Haryana, India

³Department of Automated Electrical Systems, Ural Power Engineering Institute
Ural Federal University, 620002 Yekaterinburg, Russia

⁴Electrical and Instrumentation Engineering Department, Thapar Institute of Engineering and Technology Patiala, India

⁵Mechanical Engineering Department, Thapar Institute of Engineering and Technology Patiala, India

⁶Electrical Engineering Department, Mansoura University, 35516 Mansoura, Egypt

e-mail: jg118207@gmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.133-152

Referred: 16.01.24

Received in revised form: 18.01.24

Accepted: 22.01.24

Electrochemical hydrogen storage is considered as the safest mode compared to the other storage forms, which is why it has attracted a significant research attention in the past decade. Carbon-based porous mediums offer many benefits that favor hydrogen adsorption in it. The presented work investigates the feasibility of coconut shell derived activated carbon for hydrogen adsorption by ascertaining its physical and chemical characteristics. The procedure employed for characterization is disclosed. Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area, average crystalline size of

Маниш Кумар Сингла, Джоти Гупта, Муродбек Сафаралиев, Парог Ниджхаван, Амандип Сингх Оберой, Амир Абдель Менаем. Характеристика электрода из активированного угля, полученного из прекурсора кокосовой скорлупы для использования в системах хранения водорода // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 133-152

Manish Kumar Singla, Jyoti Gupta, Murodbek Safaraliev, Parag Nijhawan, Amandeep Singh Oberoi, Amir Abdel Menaem. Characterization of an activated carbon electrode made from coconut shell precursor for hydrogen storage applications // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 133-152

the activated carbon was found to be 51.7 m²/g and average crystalline size using X-Ray Diffraction (XRD) to be 10.69nm, respectively, which is comparable with the published data in literature. The scanning electron microscopy illustration of the field emission revealed the presence of well-developed pores on the surface of the sample activated carbon. The Fourier Transform Infrared Analysis (FTIR) spectrum was employed to determine the existence of essential functional groups. The ultraviolet-visible spectroscopy (UV-V) is used to confirm the presence of π - π^* transition within the activated carbon. Working in the similar direction, the presented work is an experimental investigation on ionic hydrogen storage in an activated carbon electrode integrated in a modified reversible polymer electrolyte fuel cell (PEMFC) for transport applications that is carried out. The ingress and egress of hydrogen within the developed PEMFC of 6.25 cm² active area successfully stored 559.65mAh/g during charging and give out 510.51 mAh/g while discharging. The result analysis revealed the feasibility of the coconut shell based activated carbon to be a suitable candidate for hydrogen storage applications.

Keywords: Hydrogen storage, hydrogen tank, coconut shell, chemical activation, physical activation, charcoal, activated carbon, characterization.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОДА ИЗ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ПРЕКУРСОРА КОКОСОВОЙ СКОРЛУПЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

Маниш Кумар Сингла¹, Джюоти Гупта², Муродбек Сафаралиев³, Парас Ниджхаван⁴, Амандип Сингх Оберой⁵, Амир Абдель Менаем^{3,6}

¹Кафедра междисциплинарных инженерных курсов, Инженерно-технологический институт Университета Читкара, Университет Читкара, Пенджаб, Индия

²Факультет компьютерных наук Университета К. Р. Мангалама, Гуруграм, Харьяна, Индия

³Кафедра автоматизированных электросистем Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет, 620002 Екатеринбург, Россия

⁴Отдел электротехники и приборостроения, Тапарский инженерно-технологический институт Патиалы, Индия

⁵Факультет машиностроения, Тапарский инженерно-технологический институт Патиалы, Индия

⁶ Факультет электротехники, Университет Мансура.

35516 Мансура, Египет

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.133-152

Заключение совета рецензентов: 16.01.24

Заключение совета экспертов: 18.01.24

Принято к публикации: 22.01.24

Электрохимическое хранение водорода считается наиболее безопасным способом по сравнению с другими формами хранения, поэтому в последнее десятилетие оно привлекло значительное внимание исследователей. Пористые среды на основе углерода обладают множеством преимуществ, способствующих адсорбции в них водорода. В представленной работе исследуется возможность использования активированного угля, полученного из скорлупы кокосового ореха, для адсорбции водорода путем установления его физических и химических характеристик. Раскрыта процедура, используемая для характеристики. Площадь поверхности Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ), средний размер кристаллов активированного угля составил 51,7 м²/г, а средний размер кристаллов с помощью рентгеновской дифракции (XRD) составил 10,69 нм соответственно, что сопоставимо с опубликованными данными в литературе. На иллюстрации автоэмиссионной сканирующей электронной микроскопии обнаружено наличие хорошо развитых пор на поверхности образца активированного угля. Спектр инфракрасного анализа с преобразованием Фурье (FTIR) использовался для определения существования основных функциональных групп. Ультрафиолетово-видимая спектроскопия (УФ-В) используется для подтверждения наличия перехода π - π^* внутри активированного угля. Работая в том же направлении, представленная работа представляет собой экспериментальное исследование по хранению ионного водорода в электроде из активированного угля, интегрированном в топливный элемент с модифицированным обратимым полимерным электролитом (PEMFC) для транспортных применений. Вход и выход водорода в разработанном PEMFC активной площадью 6,25 см² успешно сохраняет 559,65 мАч/г во время зарядки и выдает 510,51 мАч/г

при разрядке. Анализ результатов показал, что активированный уголь на основе скорлупы кокосового ореха может стать подходящим кандидатом для хранения водорода.

Ключевые слова: Хранение водорода, резервуар для водорода, скорлупа кокосового ореха, химическая активация, физическая активация, древесный уголь, активированный уголь, характеристика.



Маниш Кумар
Сингла
Manish Kumar
Singla

Information about the author: Assistant Professor in the Department of Interdisciplinary Courses in Engineering at Chitkara University, Rajpura, India.

Education: Ph.D. degree in Electrical and Instrumentation Engineering Department at Thapar Institute of Engineering and Technology, India.

Research interests: include but are not limited to, Fuel Cell, Power System, Renewable Energy, Optimization and Machine Learning.

Publication: about 50 scientific research articles, 8 Patents Granted.

Сведения об авторе: доцент кафедры междисциплинарных инженерных курсов Университета Читкара, Раджпура, Индия.

Образование: Степень доктора философии на факультете электротехники и приборостроения Тапарского инженерно-технологического института, Индия.

Область научных интересов: включают, но не ограничиваются ими, топливные элементы, энергетические системы, возобновляемые источники энергии, оптимизацию и машинное обучение.

Публикации: около 50 научных статей, выдано 8 патентов.



Джиоти Гупта
Jyoti Gupta

Information about the author: Assistant Professor in the Department of School and Engineering at K.R. Mangalam University, Gurugram, India.

Education: Ph.D. degree in Electrical and Instrumentation Engineering Department at Thapar Institute of Engineering and Technology, India.

Research interests: include but are not limited to, Fuel Cell, Power System, Renewable Energy, Optimization and Machine Learning.

Publication: about 40 scientific research articles, 6 Patents Granted.

Сведения об авторе: доцент кафедры школьного образования и инженерного дела Университета К.Р. Мангалыма, Гуруграм, Индия.

Образование: Степень доктора философии на факультете электротехники и приборостроения Тапарского инженерно-технологического института, Индия.

Область научных интересов: включают, но не ограничиваются ими, топливные элементы, энергетические системы, возобновляемые источники энергии, оптимизацию и машинное обучение.

Публикации: около 40 научных статей, выдано 6 патентов.



Сафаралиев
Муродбек
Холназарович
Safaraliev M.Kh.

Information about the author: PhD, Senior Researcher, Department of "Automated Electrical Systems", UrFU named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.

Education: academic. Master's degree in Electric Stations, Tajik Technical University, 2016

Awards and scientific awards: Scholarship of the Governor of the Sverdlovsk Region for outstanding scientific activity, 2020.

Research interests: optimization of energy flows, model optimization of energy systems development, short-term, medium-term and long-term load and generation forecasting.

Publications: more than 100 scientific articles

Сведения об авторе: к.т.н., старший научный сотрудник кафедры «Автоматизированных электрических систем» УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Образование: академ. степень магистра по специальности «Электрические станции», Таджикский технический Университет, 2016 г

Награды и научные премии: Стипендия Губернатора Свердловской области за выдающуюся научную деятельность, 2020.

Область научных интересов: оптимизация энергетических потоков, модель оптимизация развития энергосистем, краткосрочное, среднесрочное и долгосрочное прогнозирование нагрузки и генераций.

Публикации: более 100 научных статей





Параг Ниджхаван
Parag Nijhawan

Information about the author:
Associate Professor in the Department of Electrical and Instrumentation Engineering at Thapar Institute of Engineering and Technology, India.

Education: Ph.D. in Electrical Engineering from National Institute of Technology, Kurukshetra.

Research interests: include but are not limited to, Facts Devices, Power Quality Improvement, Fuel Cell, Power System, Renewable Energy, Optimization and Machine Learning.

Publication: about 50 scientific research articles, 6 Patents Granted.

Сведения об авторе: доцент кафедры электротехники и приборостроения Тапарского инженерно-технологического института, Индия.

Образование: доктор философии. окончил Национальный технологический институт Курукшетры по специальности «электротехника».

Область научных интересов: включают, но не ограничиваются ими, устройства Facts, повышение качества электроэнергии, топливные элементы, энергосистемы, возобновляемые источники энергии, оптимизацию и машинное обучение.

Публикации: около 50 научных статей, выдано 6 патентов.

Information about the author:
Associate Professor in the Department of Mechanical Engineering at Thapar Institute of Engineering and Technology, India.

Education: Ph.D. degree in Mechanical and Manufacturing Engineering Department at Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) University, Melbourne, Australia.

Research interests: include but are not limited to, Fuel Cell, Power System, Renewable Energy, Optimization and Machine Learning.

Publication: about 40 scientific research articles, 6 Patents Granted.

Сведения об авторе: доцент кафедры машиностроения Тапарского инженерно-технологического института, Индия.

Образование: Степень доктора философии на факультете машиностроения и технологии производства Королевского Мельбурнского технологического института (RMIT), Мельбурн, Австралия.

Область научных интересов: включают, но не ограничиваются ими, топливные элементы, энергетические системы, возобновляемые источники энергии, оптимизацию и машинное обучение.

Публикации: около 40 научных статей, выдано 6 патентов.



Амандип Сингх
Оберой
Amandeep Singh
Oberoi

Information about the author:
PhD, Researcher, Department of “Automated Electrical Systems”, UrFU named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.

Education: B.S. and M.S. degrees in electrical engineering from Mansoura University, Egypt, in 2008 and 2014, respectively

Research interests: optimization of energy flows, model optimization of energy systems development.

Publications: more than 30 scientific articles

Сведения об авторе: кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры «Автоматизированные электрические системы» УрФУ имени первого президента России Б. Н. Ельцина.

Образование: дипломы бакалавра и магистра в области электротехники, полученные в Университете Мансура, Египет, в 2008 и 2014 годах соответственно

Область научных интересов: оптимизация энергетических потоков, оптимизация моделей развития энергетических систем.

Публикации: более 30 научных статей.



Амир Абдель Менем
Amir Abdel Menaem

INTRODUCTION

There are a variety of raw materials that can be used to produce activated carbon, such as peat, biomass, lignite, coal, sawdust, rice husk, coconut shells, and timber [1-2]. However, coconut shells are a particularly advantageous option for manufacturing activated carbon due to their abundance as a byproduct of the coconut oil and desiccated coconut industries, which makes their use more economically sustainable than using coal or seed as raw materials. Additionally, coconut shell activated carbon is highly pure, dense, and dust-free, and can absorb a wide range of gases, colloidal solids, and vapors due to its amorphous nature. These properties make it more durable and resistant to degradation than other types of carbon made from different materials.

To activate carbon powder, there are two main methods: physical activation and chemical activation. Physical activation involves carbonizing the powder in an inert environment and then triggering it at high temperatures using either carbon dioxide or steam as the triggering reagent. In contrast, chemical activation involves treating the precursor with chemicals to aid in the initial drying process. While physical activation can result in lower yields due to oxidation-related mass loss, chemical activation is generally preferred in certain cases [3-4]. Moreover, chemical activation is widely employed for the precursor to biomass conversion mostly because it produces higher yields and wider surface areas. Both the physical and chemical activation processes aim to increase the surface area of the activated carbon. Chemical activation, which involves the use of agents such as phosphoric acid (H_3PO_4) and zinc chloride ($ZnCl_2$), can be advantageous due to its lower operational costs and lower temperature requirements. During the chemical activation process, the agents may dehydrate remaining organic molecules, preventing hydrocarbon deposition on the carbon surface. On the other hand, physical activation requires high temperatures and an inert gas environment to remove any absorbed hydrocarbon.

Energy storage has now become the world's most significant subject with the rapid economic growth and the growing use of electronic vehicles, the portable mobile ad has acquired intense attention from industrial developers and researchers. It is possible to store energy in different ways, such as chemical, thermal, electrochemical and electrical energy [5]. Thermal energy uses power to provide geezers and air conditioners. The predominant natural resources which provide electrical energy are solar and wind energy. As a chemical form, fossil fuels store energy while electrical and chemical energies are inter-convertible within a fraction of time in the case of electrochemical energy storage [6]. As primary energy storage devices [7-10], energy storage materials like super-capacitors, batteries, solar panels and fuel cells are studied extensively. They are increasingly relevant from intelligent micro-batteries to large-scale electric vehicles.

To satisfy the need, light-weight, high performance, flexible and more economically feasible energy storage devices (ESD) are considered necessary in the future.

The author [11] researched the preparation and characterization of activated carbon extracted from fluted pumpkin stem waste. Fluted pumpkin stem waste was used to make activated carbon by the researchers. The bulk mass, pH, porosity, and iodine amount of the activated carbon were both measured and compared to a commercial activated carbon. The properties of activated carbons, including moisture, pH, porosity, ash content, iodine amount, carboxylic acid content, lactones, pH, and basic sites content, were found to vary considerably. In their study [2], the author examined the properties of activated carbon produced by activating olive stones with phosphoric acid. Using a chemical activation system with phosphoric acid, the authors investigated how the concentration of the triggering agent affected the pore structure and surface chemistry of the resulting activated carbon from olive stones.

The author [12] researched the adsorption of select metals by activated carbon made from peanut shells. Researchers used steam activation accompanied by air oxidation to produce activated carbon from peanut shells, which they compared to metal ion binding by three reference carbons. The steam-activated, air oxidized peanut shell carbons had adsorption properties comparable to the best industrial, coal-based carbons. Preparation and activation of activated carbon from waste materials were reviewed by [13]. The authors investigated various value-added wastes for the preparation of activated carbon, which is used as an adsorbent and chemically activated using various triggering agents such as calcium chloride ($CaCl_2$), sulfuric acid (H_2SO_4), H_3PO_4 , potassium hydroxide (KOH), and $ZnCl_2$ [14]. The author [15] studied the adsorption of dibenzothiophene on activated carbon from date's stones using phosphoric acid. Granular Activated Carbon was generated by the chemical activation of dates' stones using H_3PO_4 as an activator.

It is possible to use coconut shells for fuel and it is also a source of charcoal. It should be observed that activated carbon synthesized from the coconut shell is found superior to those derived from other sources because of its meso-porous composition, which makes it ideal as electrode material in a fuel cell [16-18]. Also, the three-dimensional carbon-based coconut shell has a hierarchical porous structure after carbonization of the coconut shell that provides a wide surface area, well connected, high conductivity and highly organized microstructure [19], which assists in ion transport by offering lower resistance pathways, while anticipating improved efficiency as an electrode.

The study has been carried out to check the feasibility of a porous activated carbon electrode for electrochemical hydrogen storage when employed in a



modified reversible PEM fuel Cell. A porous electrode for electrochemical hydrogen storage reportedly shall have range of macropores, mesopores, micropores and ultra-micropores, the latter being the key sites for physical adsorption of H⁺ ions. A commercial activated carbon powder was precured from the Sai Energy, Chennai, India and fabricated into a self-standing porous electrode using egg white as a binding agent to hold carbon particles together. Egg white is a cheaper alternative to PTFE which is commonly being used as a binding agent in fuel cell applications. The characterization methods like XRD, SEM, EDX, BET, FTIR and UV-V are employed to ascertain the physical and chemical behaviors of the selected candidate in context to electrochemical H-storage. XRD pattern is used for the confirmation of pure phase of activated carbon. The SEM micrographs reveals the density of the carbon electrode and types of

pores available for hydrogen adsorption viz – macropores, mesopores, micropores and ultra-micropores. The EDX analysis determined the elemental composition of the specimen. The surface area of electrode provides the path to alter the activity of chemical reactions in the fuel cell, which is calculated with the help of BET analysis. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy determines the chemical composition and functional groups of activated carbon. The UV-V spectra technique is employed to check the presence of graphitic structure. Any porous hydrogen storage medium has to be electron conductive in order to allow hydrogen atom to stabilize and form bond with the host material at the internal pore surfaces. The presence of porous graphitic structure signifies that the tested material has enough contact between the consecutive particles and molecules to conduct charge required for bond formation.



Nomenclature	
BET	Brunauer-Emmett-Teller
XRD	X-Ray Diffraction
FTIR	Fourier Transform Infrared Analysis
PEMFC	Polymer Electrolyte Fuel Cell/ Proton Exchange Membrane Fuel Cell
ESD	Energy Storage Devices
SEM	Scanning Electron Microscopy
EDX	Energy Dispersive X-Ray
UV-V	Ultraviolet Visible Spectroscopy Graphs
PTFE	Polytetrafluoroethylene
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
CCM	Catalyst Coated Membrane
C-mode	Charging Mode
D-mode	Discharging Mode

FWMH	Full Width At Half Maximum Intensity
BJH	Barrett-Joyner-Halenda
Symbol	
H ₃ PO ₄	Phosphoric Acid
ZnCl ₂	Zinc Chloride
CaCl ₂	Calcium Chloride
H ₂ SO ₄	Sulfuric Acid
KOH	Posstassium Hydroxide
NaOH	Sodium Hydroxide
C	Carbon
H ₂ O	Water
H ₂	Hydrogen
CO ₂	Carbon Dioxide
O ₂	Oxygen
Dp	Average Crystalline Size
θ	Bragg Diffraction Angle
λ	Wavelength of Radiation



1. ACTIVATED CARBON

Activated carbon is a form of carbon processed with oxygen, also known as activated charcoal, which creates millions of smaller pores between carbon atoms. The internal surface area of industrial activated carbon varies from 500 to 1500 m²/g. for the preparation of activated carbon low inorganic and high carbon content are used. Coconut shell, pear, wood, and bituminous coal are perhaps the most popular feed-stocks used for the manufacture of activated carbon. To produce relatively high-quality

activated carbons, the chars produced from them could be easily activated. The specific internal pore structure that gives the activated carbon its exceptional adsorbent characteristics is produced during the activation process. Activated carbons have many good properties, such as wide surface, strong internal pores accessibility and chemical properties. Three classes of pores may be classified as per the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) definitions [20]. The pores first group

is micro-pore the diameter of this varies from 0.7 to 2 nanometers; the second group is meso-pore the diameter of this varies from 2 to 50 nanometers, and the third and last group is macro-pore the diameter of this is more than 50 nano-meters. Micro-pores usually correspond to a large part of the internal surface area. Macro and micro-pores may usually be viewed as roadways into the carbon particle. By mixing the correct raw material with the required activation technique, the ideal pore structure of an activated carbon component is achieved [21].

1.1 ACTIVATED CARBON PREPARATION

The majority of carbonaceous compounds can be transformed into activated carbon; the final characteristics of the carbon can greatly differ according to the type of the precursor material. Over the last century, there have been a variety of methods for the manufacture of activated carbons. Most processes compose of the starting material pyrolysis, accompanied by a phase of regulated oxidation or vice versa. The aim is to activate the carbon in the oxidation stage [22-26].

1.1.1 PYROLYSIS

The process of pyrolysis requires heating of the raw materials in the absence of air at temperatures around 600 and 900°C. First, low molecular weight volatile is released, followed by light aromatics and finally hydrogen gas, a fixed carbonaceous char being the resulting substance. Randomly, remaining carbon atoms are arranged into condensed aromatic ring sheets with a cross-linked arrangement [27]. The aromatic sheets interstices, which may be loaded with tarry materials, are uneven and leave free interstices between the sheets. An activation process is performed for the removal of these tarry materials [28-29]. The diameters of the pores formed during the carbonization process are also enlarged and new porosity is developed.

2.2 ACTIVATION PROCESS

Activation is a process in which the oxidizing agent gradually does eroding of the carbon's internal surfaces, forming a large and coarse network of carbon pores, and modifying the surface atoms to unique chemical types that may have precise adsorption capability. This phase of activation is carried out by two methods i.e. chemical and physical activation, the former being most commonly used.

3. EXPERIMENTAL DETAILS

3.1 SYNTHESIS OF COCONUT SHELL BASED ACTIVATED CARBON

The synthesis of the coconut shell was carried out at the supplier's end however, a conceptual flowchart for the preparation of coconut shell based activated carbon

2.2.1 CHEMICAL ACTIVATION

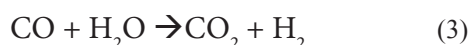
In the lack of oxygen, chemical activation is typically done by impregnating the raw or pre-carbonized substance with an active agent and pyrolyzed between 400 and 800 °C. KOH, hydrochloric acid, alkalis, phosphoric acid and NaOH, as well as zinc chloride and alkaline metal compounds, are perhaps the most widely used agents. For activation of lingo cellulosic compounds, zinc chloride, and phosphoric acid are often used [30]. In contrast to phosphoric acid, and zinc chloride is the most common activation agent because of its minimal environmental effects. The resulting activated carbon is cleaned, dried and ground to the appropriate size before constant weight was achieved. Activated carbons formed by chemical activation typically exhibit a highly open and bottle-shaped structure, suitable for large molecules to be adsorbed.

2.2.2 PHYSICAL ACTIVATION

In addition, the physical activation or partial gasification is taken out by using oxidants like air, steam, carbon dioxide and a combination of the gases at high temperatures between 750 and 1100°C. It is seldom used for oxygen, ammonia, sulphur dioxide, sulphur vapors and a collection of other active substances. The subsequent endothermic reactions arise to gasify the carbonized substance with steam and carbon dioxide as shown in equation 1 and 2.



The steam reaction with carbon is followed by the reaction of water gas forming, which is catalyzed by the carbon surface as shown in equation 3,



Since both the endothermic reaction with carbon, steam and carbon dioxide; external heating is meant to implement the reactions and to sustain the temperature of the reaction. To generate the desired goods, the mechanism of activation may be exploited. The pore production is regulated by steam, activation temperature, and CO₂ flow rates, which in turn influence the distribution of pore size and activation level of activated carbon [31].

supplied by the SAI Energy, Chennai, India is represented in Figure 1. The precursors (i.e., coconut shell) are reportedly collected from the Perungudi, Chennai. After cleaning and sun drying for 2 to 3 days, the coconut shell is crushed into powder followed by sieving to get fine powdered particles. The obtained powder containing



carbon is then heat treated in a muffle furnace at 300 °C for 6 hours. The obtained carbon powder is chemically activated using KOH followed by a series of filtration, washing and drying processes. Chemical activation is a renowned and most commonly used technique for carbon activation. One of the most essential aspects utilized for organic materials is KOH as an activating agent. KOH is primarily preferable above other activating agents as it allows the carbon precursor to having more localized reactions and is more efficient for highly ordered materials [32]. Coconut shell was dried and crushed to obtain powder that served as precursor for carbon. The

obtained carbon was activated chemically using KOH to get activated carbon. During the initialization, the chemical reaction between KOH and carbon occurs as in the following equation 4. Furthermore, the reaction is pursued by K₂CO₃ decomposition or K/ K₂CO₃/CO₂ carbon reaction [33].

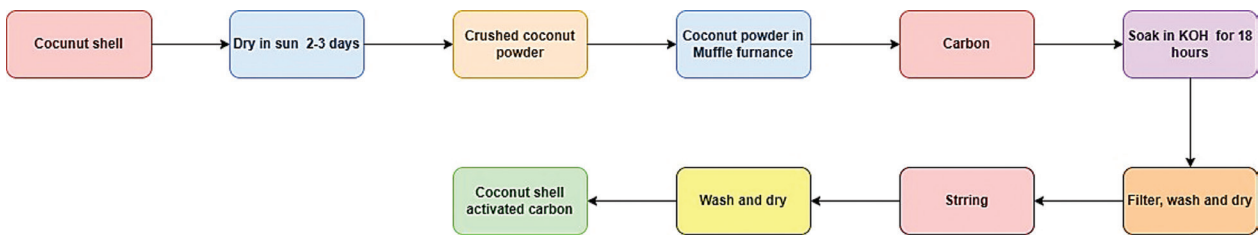
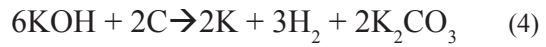


Fig. 1. Flow chart of preparation of activated carbon

Рис. 1. Технологическая схема приготовления активированного угля

Fig. 2. Flow chart of preparation of electrode from activated carbon

Рис. 2. Технологическая схема изготовления электрода из активированного угля

3.2 FABRICATION OF ELECTRODE

A weighed quantity of activated carbon powder and egg white binder are mixed thoroughly to obtain a slurry mixture. It is ensured that no more than 15 % of egg white by weight is added in the carbon powder in order to avoid over-coverage of internal carbon pores with the binder. To achieve the desired shape of electrode, the slurry mixture of activated carbon and egg white was poured into a 3D mould, as shown in figure 3. The employed mould has a cavity of dimension 25mm x 25mm x 2mm. Egg white comprises 90% water, when it dissipated, leaving behind the building material to bind up together the powdered activated carbon particles [34]. The mould carrying the slurry mixture was baked in an oven at 70 °C for 24 hours so as to remove the moisture content and obtain a self-standing solid electrode. The baked mould was allowed to cool in ambient atmosphere for 1 hour before removing the prepared electrode out of the mould cavity. The electrode was then cut to meet the dimension of the fuel cell cavity where the prepared carbon electrode was to be installed. The steps involved in the fabrication process are represented in the form of a flow chart shown in figure 2.

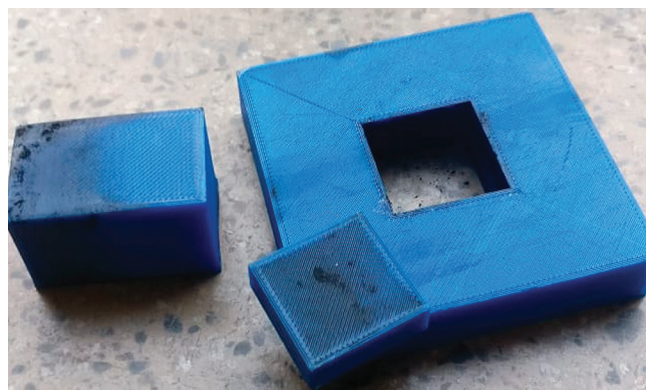
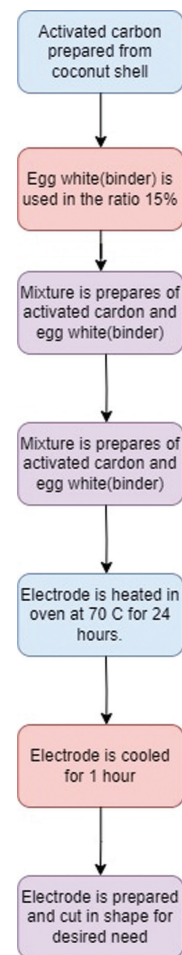


Fig. 3. 3D mould used for the fabrication of activated carbon electrode

Рис. 3. 3D-форма, используемая для изготовления электрода из активированного угля

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

3.3 PEMFC DEVELOPMENT

A typical PEMFC is a sandwich of polymer electrolyte membrane, catalyst loading, gas diffusion layers, gaskets, and bi-polar end plates. However, such conventional PEMFCs are not meant to adsorb hydrogen in any form [35-36]. The proposed modified reversible PEMFC is a single unit that could run both as electrolyser and fuel cell with a provision of including a porous electrode for ionic hydrogen adsorption. In this concept, unlike convention PEMFCs, electrolyte membrane used is a reversible catalyst coated membrane (CCM) that could serve the purpose of hydrogen proton conduction

in the both the modes of operation i.e., electrolyser mode or charging mode (C-mode) and fuel cell mode or discharging mode (D-mode). The catalysts coated on the employed reversible CCM were Iridium/Ruthenium and Platinum black for the anode side; solely platinum black for the cathode side; having loading density of 1.5 mg/cm² on both the sides. Porous carbon cloth served as gas diffusion layers on both anode and cathode. The bi-polar end plates were machined from SS316 to withstand the acidic environment within the cell. A schematic of developed cell with an active area of 6.25 cm² is shown in figure 4.

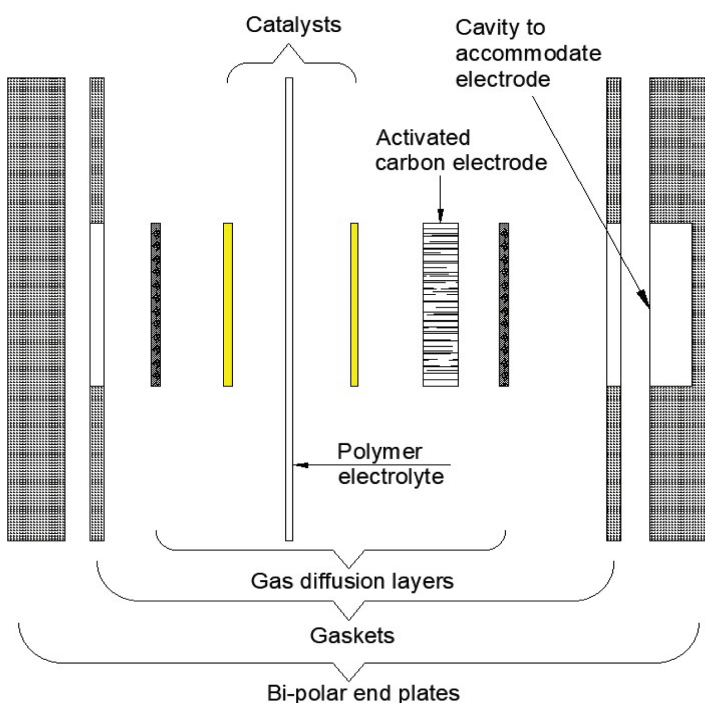


Fig. 4. Schematic of the developed modified reversible PEMFC

Рис. 3. 3D-форма, используемая для изготовления электрода из активированного угля.

3.4 TESTING OF ACTIVATED CARBON ELECTRODE IN A PEMFC

To facilitate the transportation of hydrogen ions in the storage sites of the activated carbon electrode, the electrode was soaked in dilute sulphuric acid. The loaded electrode was then integrated into the developed PEMFC system, which was connected to a water reservoir, gas collection cylinders for O₂ and H₂, and a DC power supply for C-mode operation. The arrangement is depicted in figure 5. During the experiment, operational parameters such as voltage, current, water consumption, O₂ generated, and H₂ generated were recorded with respect to time. These parameters were later used to calculate the charge stored using Faraday's law of charge conversion. In C-mode, water supplied to the cell splits into O₂, H⁺, and e⁻ ions under the influence of applied electric potential and

catalyst. The oxygen gas produced is allowed to move out of the cell and is collected, while H⁺ ions travel through the polymer member and e⁻ move through the external electric circuit towards the other side of the cell. At the cathode, H⁺ and e⁻ form weak chemical bonds with the host material, and some of the H⁺ ions move through the deepest pores of the activated carbon, floating over the sulphuric acid (which serves as a liquid proton conductor). However, not all of the produced H⁺ ions are adsorbed in the host material. Instead, some of them form H₂ and move out of the cell towards the collection cylinder. When a sudden rise in the formation of H₂ is observed in the gas collection cylinder, the operation is stopped because this behavior indicates that the activated carbon storage is full and any further generation of H⁺ ions will only liberate as H₂.



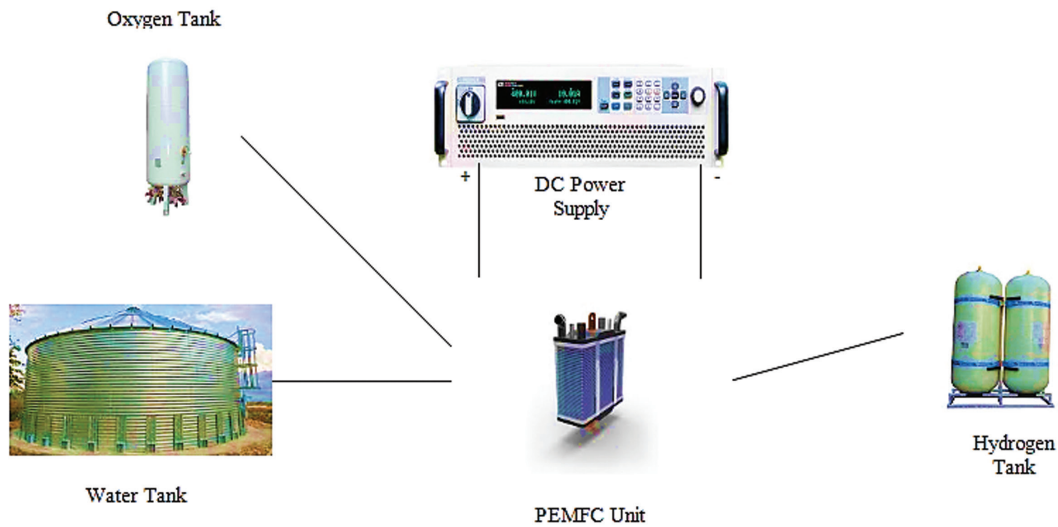


Fig. 5. Block diagram representing C-mode operation of the test set-up
Рис. 5. Блок-схема, представляющая работу С-режима испытательной установки

During the D-mode of operation, the stored hydrogen was utilized as the sole energy source, after the removal of any excess H₂ from the unit. The DC supply was disconnected and an electrical load was instead connected to draw current. Figure 6 represents the block diagram of D-mode operation. In this mode, the potential difference generated due to the applied load allows the stored hydrogen atoms to be released from the activated carbon electrode. The catalyst available in the system splits the hydrogen atoms into H⁺ and e⁻ ions, which follow their

usual paths to reach the other side of the cell, i.e., H⁺ through the membrane and e⁻ through the electric circuit, thus meeting the requirements of the applied electrical load. At the other side of the cell, stored O₂ is supplied, which reacts with H⁺ and e⁻ in the presence of catalyst to reform water. Similar to C-mode operation, all operational parameters in D-mode operation were recorded and later used to calculate the amount of retrieved hydrogen energy from the storage using Faraday's law of charge conversion.

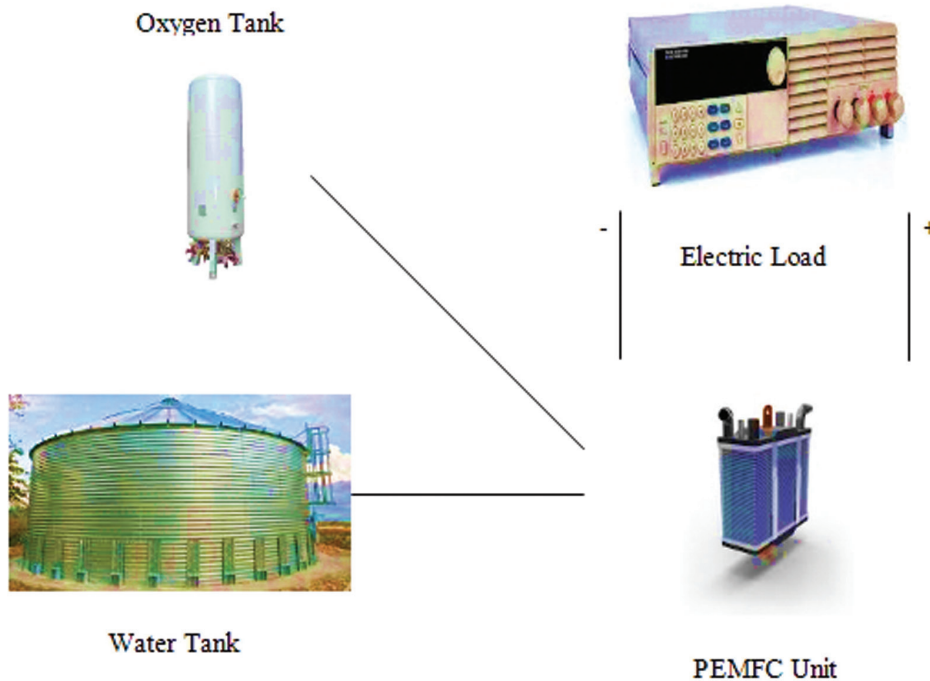


Fig. 6. Block diagram representing D-mode operation of the test set-up
Рис. 6. Блок-схема, представляющая работу D-режима испытательной установки



4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The phase identification of the activated carbon is carried out using X-Ray Diffraction (XRD) (X'PERT Pro-PANalytical). The microstructure of the sample is investigated using Scanning Electron Microscopy (SEM) and the elemental composition is identified using Energy Dispersive (EDX) (Model: JSM-6510/6460LV, JEOL). The Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analyzer from Microtrac Belsorp Mini-II (Bel, Japan, Inc) was employed for the estimation of the surface area of electrode. The chemical composition and functional groups is determined by Fourier Transform Infrared FTIR (Model: 6800 JASCO). The spectrum of activated carbon is determined by Ultraviolet Visible (UV-V) (Analytik Jena, Specord, India) [37-41].

4.1 X-ray diffraction (xrd) analysis

Figure 7 represents the XRD pattern of activated carbon-based nano-material. The XRD spectra of activated carbon indicate that the peak broadening (2θ) at 24.22° lead to the interlayer gap of 1.88 (Å) as observed in table 1. At room temperature, the processed nanoparticles

were stable and well scattered. The XRD data collected was analyzed and observed that peaks matched well with JCPDS card No #75-2078 [42] of activated carbon respectively. The peak observed at (2θ) to 20°-30° and the second peak at (2θ) to 40°-50°. From equation 5 which is known to be a Scherrer equation the average crystalline size of activated carbon is found to be 10.69 nm. It is reported in the literature that the pore size of ~ 10 nm and less are favorable sites for H+ ions as these ions get physically adsorbed in these sites and are withheld there under the influence of Vander Wall forces [43]. Porous-activated carbon possesses different types of pores – macropores, mesopores, micro-pores and ultra-micro pores. All these pores facilitate the transfer of H-atoms in deepest storage sites in the host material. Therefore, average crystalline size obtained from XRD helps to understand the structural morphology and H-atom transport medium. The physical significance of FWHM is to calculate the average crystalline size of the candidate source material (activated carbon). From this it is clear that the activated carbon has a amorphous structure.

Activated Carbon XRD Results

Table 1

Результаты рентгеноструктурного анализа активированного угля

Таблица 1.

Sample Code	Position (2θ)	d-Spacing (Å)	Rel. Int. (%)	FWMH (2θ)	Wavelength of radiation (λ)	Crystalline Size (Dp in nm)
Activated Charcoal	24.22	1.88	100	0.13	0.15 nm	10.69

$$Dp = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{5}$$

Where the average crystalline size is denoted by Dp, the Bragg diffraction angle is denoted by θ, the width of XRD peak is denoted by the full width at half maximum

intensity (FWMH), and the wavelength of radiation is represented by λ.

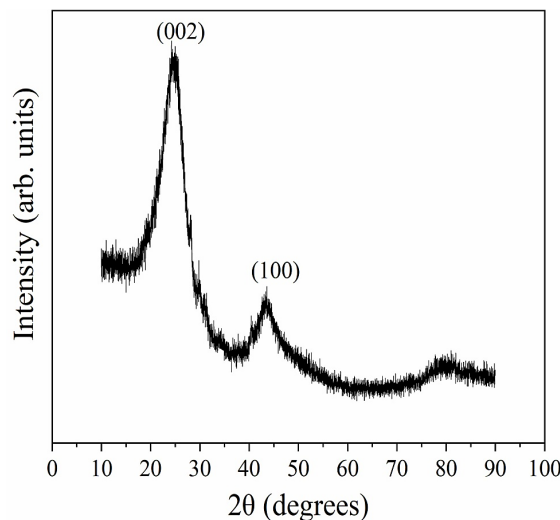


Figure 7. Activated carbon XRD results

Рис. 7. Результаты рентгенографии активированного угля

4.2 SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) RESULTS

Figure 8 and 9 shows the SEM results of activated carbon at 5000X and 25,000X magnification. The distributions of the particles were approximately identical, on smooth carbon surfaces and with clearly observable pores present. The impurities found on the surface of the

activated carbon were lost during the activation process. During the activation process, the activator (in the form of chemical) interacts with the carbon of the charcoal, oxidizes and removes hydrocarbons, tar and the other compounds that attach to the surface of the carbon, causing the structural arrangement of the carbon atoms and the particle distribution become the new shape of the pore.

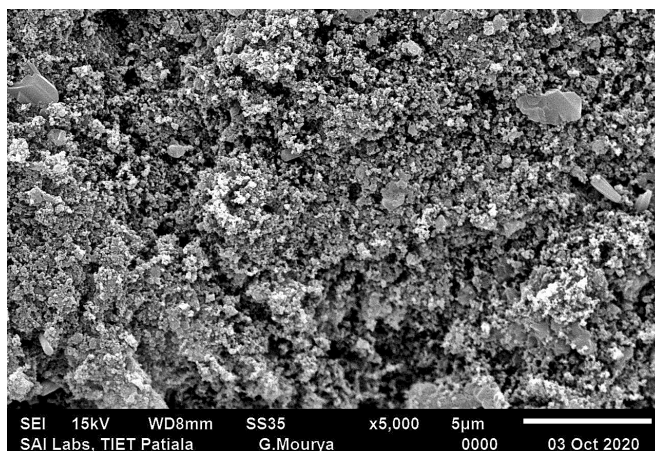


Fig. 8. Activated Carbon SEM images at 5000X magnification

Рис. 8. СЭМ-изображения активированного угля при 5000-кратном увеличении

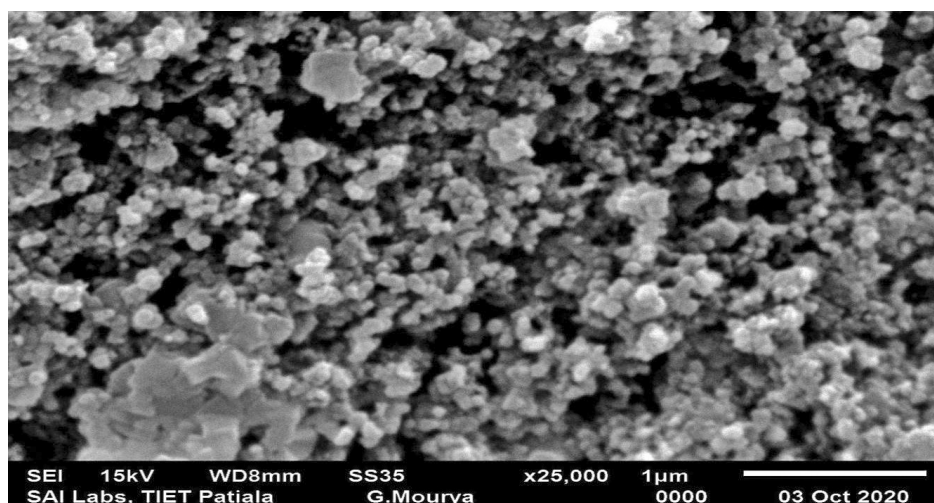


Fig. 9. Activated Carbon SEM images at 25000X magnification

Рис. 9. СЭМ-изображения активированного угля при 25000-кратном увеличении

4.3 FOURIER TRANSFORM INFRARED (FTIR) ANALYSIS

Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy can determine the chemical composition and functional groups of activated carbon. Figure 10 represents the FTIR analysis of activated carbon. Coconut shell-based activated carbon displayed absorption peaks at 3212, 2975, 2363, 2103, 1052, and 652 cm^{-1} . The obtained absorption peak matches well with published literature [44]. The absorption peak was observed at 3212 cm^{-1} which is assigned as O-H bond, 2975 cm^{-1} represents

the C-H bond, and 2363 cm^{-1} represents the C-O bond in ketene group [45] were attributed to stretching vibrations. It is inevitable that the presence of O-H bond stretching in the sample carbon candidate is due to chemical activation with the KOH [44]. In the aromatic ring, the C=C bond stretching vibration resulted in an absorption peak at 2103 cm^{-1} , and the absorption peak at 1052 cm^{-1} was due to the C-O bond's stretching vibration. Furthermore, the activated carbon, FTIR spectrum has a weak absorption peak at 652 cm^{-1} , which is due to the bending vibration of the C-H bond in the high degree of aromatic ring substitution.

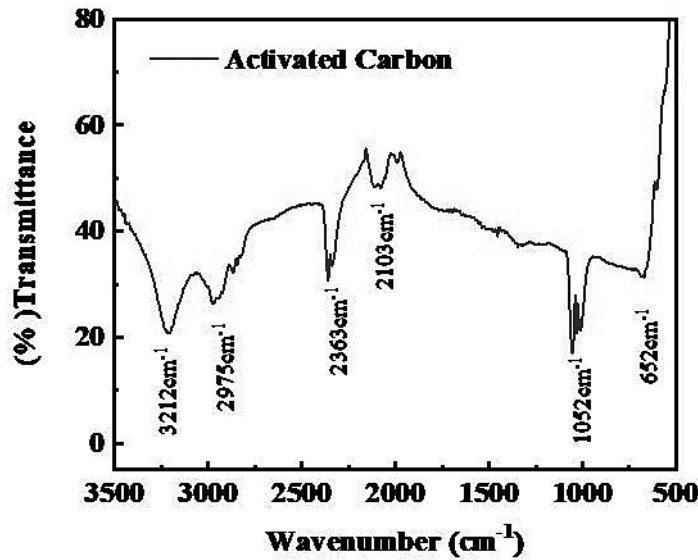


Fig. 10. FTIR Analysis of Activated Carbon
 Рис. 10. FTIR-анализ активированного угля.

4.4 ENERGY DISPERSIVE X-RAY (EDX)

The elemental identification of the candidate activated carbon powder was verified using the EDX technique. The EDX analysis is shown in figure 11 and

table 2 represents the elements of EDX analysis. It is evident from the table and figure that seven forms of peaks compose the material. It is seen from the figure and table that the carbon content weight in percentage is 60.45 and atomic in percentage is 76,29.

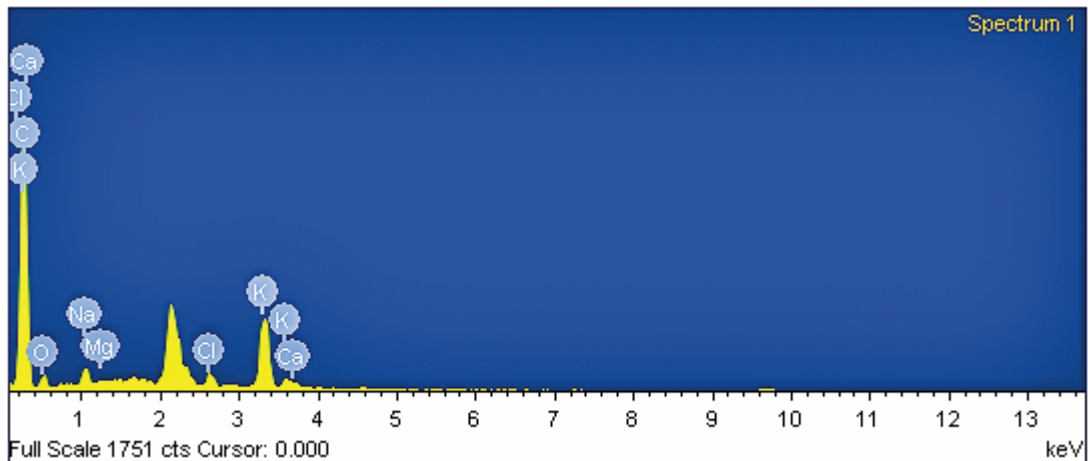


Fig. 11. Activated Carbon EDX Analysis
 Рис. 11. EDX-анализ с активированным углем

Results of Activated Carbon EDX Analysis

Table 2

Element	Weight %	Atomic %
C	60.45	76.29
O	13.57	12.85
Na	2.42	1.59
Mg	0.15	0.09
Cl	2.76	1.18
K	18.93	7.34
Ca	1.73	0.66

4.5 BRUNAUER-EMMETT-TELLER (BET) ANALYSIS

The internal pore surface area of the activated carbon sample was determined by the isotherm adsorption process of BET N₂. The activated carbon fewer amount of N₂ gas adsorption/desorption was identified as shown in figure 12 and in figure 13 the Barrett-Joyner-Halenda (BJH)

plot for as-prepared catalysts is shown. The 51,7 m²/g is found to have a basic surface area and 11,875cm³/g is found to have a mean pore volume respectively. Activated carbon average pore diameter is measured to be 53,52 nm as shown in table 3. The obtained average pore diameter is an average of different pores with varied diameters viz. macropores (> 50 nm), mesopores (2 > 50 nm) and micropores (0,7 > 2 nm).

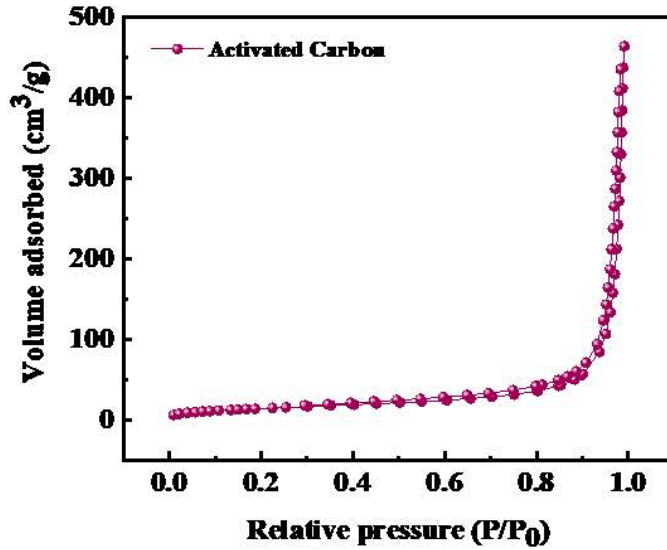


Fig. 12. № 2 sorption curve
Рис. 12. Кривая сорбции № 2

Table 3

BET Analysis of Activated Carbon

Sample	Average Pore Diameter (nm)	Surface Area (m ² /g)	Mean Pore Volume (cm ³ /g)
Activated Charcoal	53,52	51,7	11,875

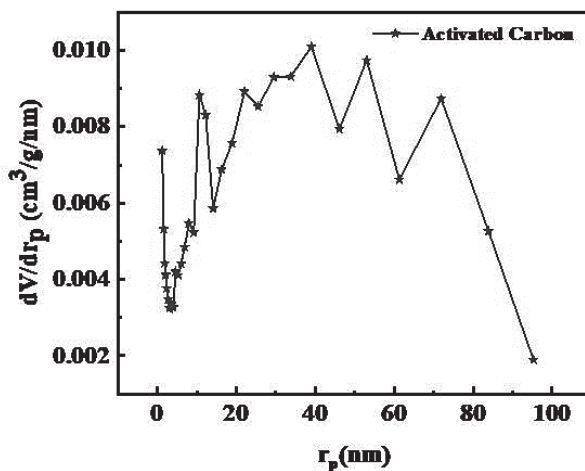


Fig. 13. Barrett-Joyner-Halenda (BJH) plot for as-prepared catalysts
Рис. 13. График Барретта-Джойнера-Халенды (ВЖ) для свежеприготовленных катализаторов



4.6 ULTRAVIOLET-VISIBLE (UV) SPECTROSCOPY GRAPH

The structure of pure graphite is in a close approximation of the structure of activated carbon. It is also stated that it is a disorganized form of graphite. Vander wall forces occur between layers of the fused hexagons.

So, on the absorption of the light, π - π^* transition is observed owing to the presence of the extra electron delocalized between carbon atoms. Also, the maxima occurring at 264nm confirms that it is the π - π^* transition as shown in figure 14. This wavelength correspond to π - π^* transition which is due to the presence of C = C.

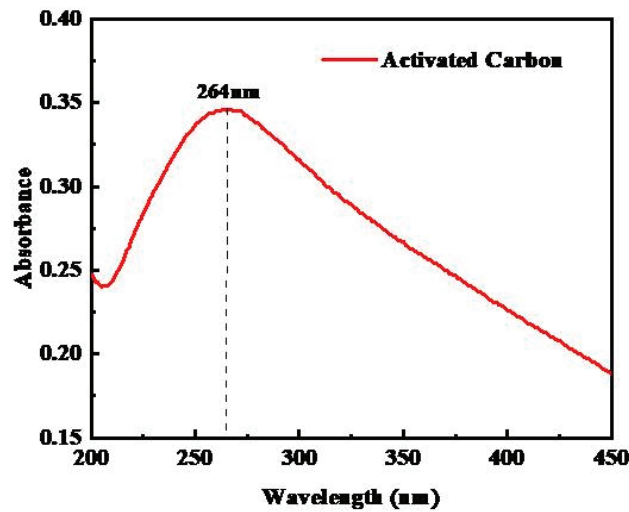


Fig. 14. UV Plot of Activated Carbon
Рис. 14.УФ-график активированного угля

4.7 C-MODE RESULTS

The developed test set-up as shown in figure 15 was testing for five consecutive cycles for cyclic charging and discharging. C-mode operation was run for around 08 hours until rapid generation of gas bubbles were observed in H₂ gas collection cylinder, which meant that the integrated storage was full and any further splitting of water would liberate H₂ only. Figure 16 shows the current and voltage behaviors with respect to each other while charging the test setup. Points A, B, C, and D are distinct point where major change in curve was observed. Initially current dropped with the rise in voltage and is referred as

'sleep period' till point 'A'. Point 'A' corresponds to the point where cut-in voltage was reached and actual water splitting started and gas bubbles were observed in the O₂ collection cylinder. Current and voltage behaved linearly till point 'B' where current dipped a bit indicating the adsorption of H⁺ within the activated carbon electrode. The plateau visible between point 'B' and 'C' reportedly represents electrochemical hydrogen adsorption in the activated carbon electrode. Similar to the curve behavior between point «A» and «B», a nearly linear behavior was observed between points «C» and «D». It is point «D» where the rapid evolution of H₂ started and the C-mode operation was stopped thereafter.

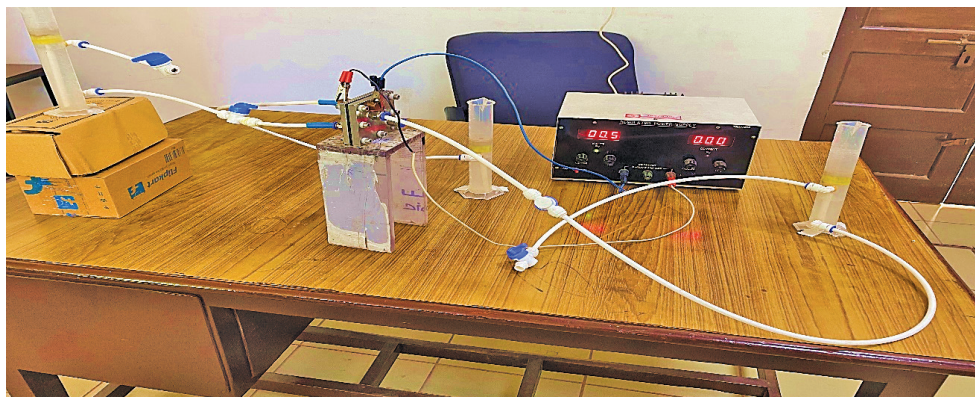


Fig. 15. Snapshot of Experimental Setup
Рис. 15. Снимок экспериментальной установки

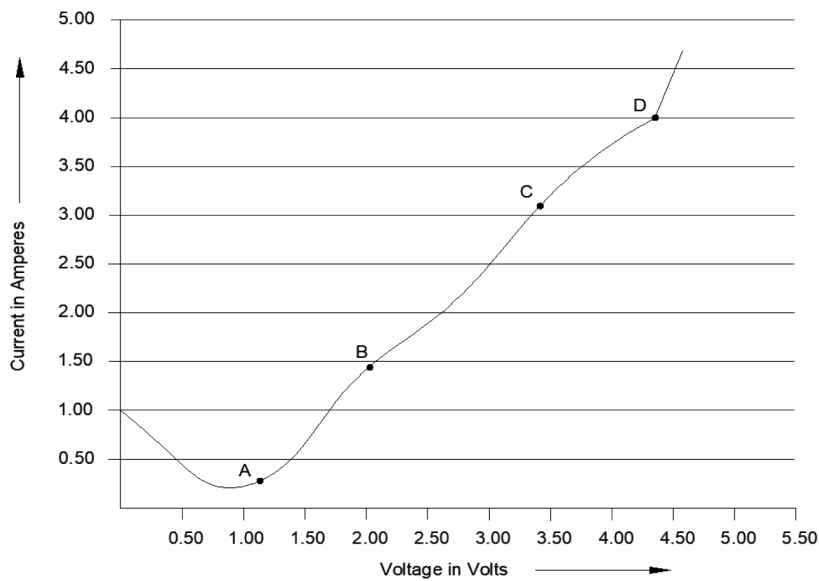


Fig. 16. A typical current vs voltage curve of the tested PEMFC in C-mode of operation
Рис. 16. Типичная кривая зависимости тока от напряжения испытуемого ПОМТЭ в С-режиме работы

The hydrogen gas evolution from the cell in C-mode of operation was recorded with respect to time and

represented in the form of a graph shown in figure 17.

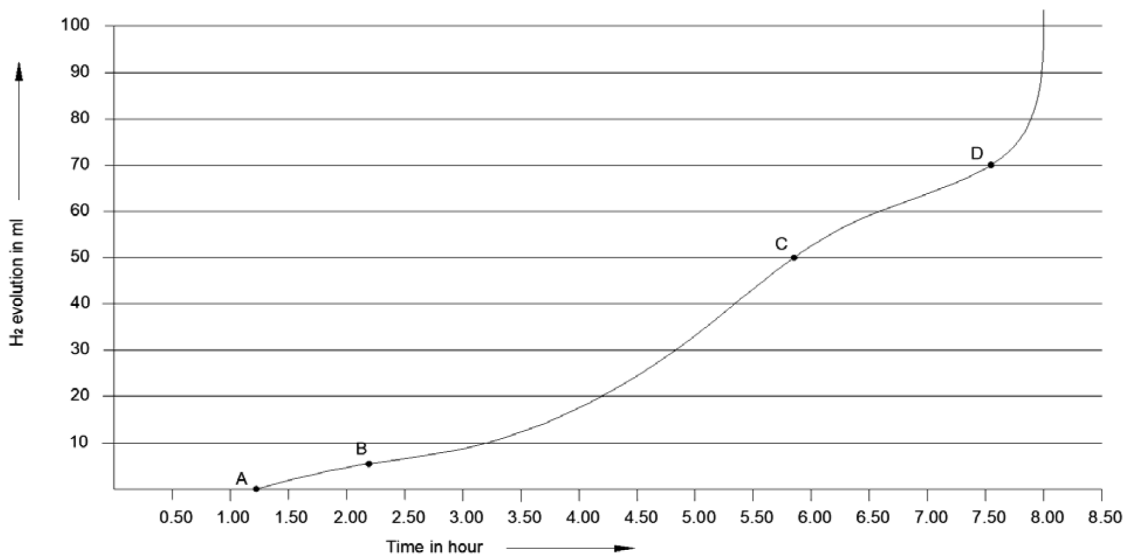


Fig. 17. A typical H₂ evolution curve with respect to time for a PEMFC working in the C-mode
Рис. 17. Типичная кривая эволюции H₂ во времени для ПОМТЭ, работающего в С-режиме

4.8 D-MODE RESULTS

The charged set-up was allowed to rest for 2 hours before initiating the D-mode of operation. For D-mode operation, the cell was connected to an electronic load capable of drawing a constant current. When the operation started, the cell was able to supply 0,42 A of

current, represented by point «A» in the figure 18. The current kept on decreasing gradually till point «B» and further reduced to 0,38 A at point «C». At this point from where a sharp decrease in current was observed and when the cell was not able to supply the required current to meet the applied load it reached an open circuit voltage at point «D» resulting in stopping of the operation.

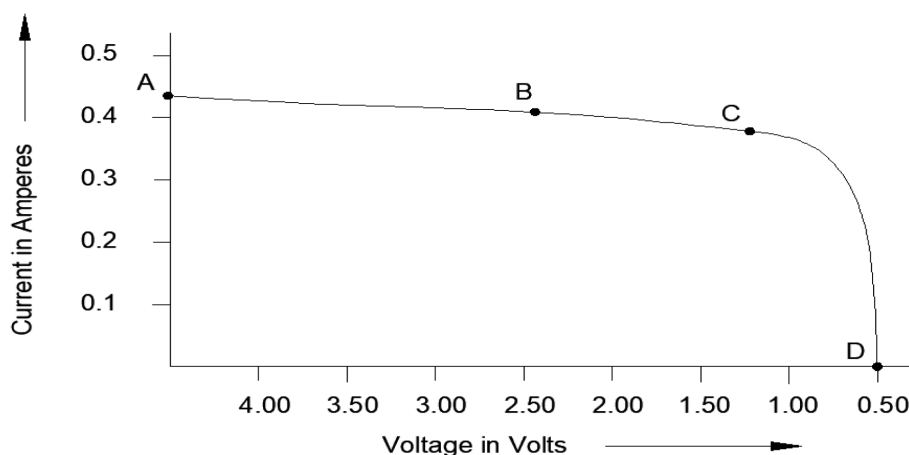


Fig. 18. A typical current vs voltage curve of the tested PEMFC in D-mode of operation

Рис. 18. Типичная кривая зависимости тока от напряжения испытуемого ПОМТЭ в D-режиме работы

The amount of hydrogen adsorbed and desorbed from the activated carbon electrode was determined using Faraday’s law of charge conversion, based on the recorded operational current and voltage over time during all operational cycles. However, during consecutive cycles of operation, it was observed that not all of the stored hydrogen was released from the storage. This may have been due to a portion of the hydrogen ions forming

strong chemical bonds with the host material, which prevented their release, resulting in only a limited amount of hydrogen being able to move out of the storage. The calculated figures of hydrogen adsorption and desorption in activated carbon electrode are presented in Table 4 which are very well aligned and comparable with the published literature [46-47].

Ionic hydrogen adsorption and desorption results in C-mode and D-mode of operations

Table 4

Cycle no.	Hydrogen adsorption in the activated carbon electrode (mAh/g)	Hydrogen desorption from the activated carbon electrode (mAh/g)
1	559,65	510,51
2	543,27	491,40
3	518,70	485,94
4	510,51	483,21
5	507,78	480,48

CONCLUSIONS

The presented study throws light on physical and chemical characteristics of a commercial activated carbon procured from Sai Energy, Chennai, India with an aim to check the feasibility to be utilized as a medium for electrochemical hydrogen storage when employed in a reversible fuel cell. Characteristics like, internal pore surface area, are vital for hydrogen adsorption as hydrogen atom forms a weak chemical bond with the host material at these storage sites. This phenomenon of adsorption is referred to as ‘Chemisorption’. Pore volume facilitates the transfer of hydrogen atom in some deepest pores (ultra-micro pores having diameter < 0.7 nm) where they get physically adsorbed under the influence of Vander Wall forces. This process is known as ‘Physisorption’. The surface area of activated carbon was found to be 51.7 m²/g,

mean pore volume to be 11.875 cm³/g and the average pore diameter to be 53.52 nm. The average crystalline size of activated carbon is found to be 10.69nm and FWHM is found to be 0.13. The SEM illustration of the field emission revealed the presence of well-developed pores on the activated carbon surface. The FTIR spectroscopy spectrum revealed the existence of essential functional groups. The UV spectroscopy revealed that the maxima occurring at 264 nm confirm that it is the π- π* transition. This reveals that it possesses graphitic like structure due to which its electron transfer rate is high. This property renders the activated carbon to have conductivity and can be further used in electrochemical cells. After result analysis, the selected coconut shell-based activated carbon has emerged as a suitable potential candidate for

electrochemical H-storage because it possesses ample storage sites for hydrogen adsorption in the form of surface area and pore volume. The obtained results for the conducted experiments proved the technical feasibility of the activated carbon electrode for adsorbing and desorbing ionic hydrogen in a reversible PEMFC with potential applications in transportation. While cyclic charging and discharging the hydrogen was successfully stored and retrieved from it to power a reversible PEMFC. The

hydrogen adsorption in the tested 05 cycles was found to be in the range of 507.78 – 559.65 mAh/g out of which the hydrogen energy in range of 480.48 – 510.51 mAh/g was recovered to run the developed PEMFC. In batteries, super-capacitors, and fuel cells, this hierarchical nature of activated carbon with a very high basic surface area may find wide application. The future advances from the present work would be in the direction of electrochemical characterization, pore size distribution and pore density.

REFERENCES

- [1]. Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(9), 1966-2005.
- [2]. Gratuito, M. K. B., Panyathanmaporn, T., Chumnanklang, R. A., Sirinuntawittaya, N. B., & Dutta, A. (2008). Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology. *Bioresource technology*, 99(11), 4887-4895.
- [3]. Toles, C. A., Marshall, W. E., Johns, M. M., Wartelle, L. H., & McAloon, A. (2000). Acid-activated carbons from almond shells: physical, chemical and adsorptive properties and estimated cost of production. *Bioresource Technology*, 71(1), 87-92.
- [4]. Laine, J., & Yunes, S. (1992). Effect of the preparation method on the pore size distribution of activated carbon from coconut shell. *Carbon*, 30(4), 601-604.
- [5]. Jian, Z., Liu, P., Li, F., He, P., Guo, X., Chen, M., & Zhou, H. (2014). Core-shell-structured CNT@RuO₂ composite as a high-performance cathode catalyst for rechargeable Li-O₂ batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(2), 442-446.
- [6]. Wei, H., Gu, H., Guo, J., Cui, D., Yan, X., Liu, J., & Guo, Z. (2018). Significantly enhanced energy density of magnetite/polypyrrole nanocomposite capacitors at high rates by low magnetic fields. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 1(1), 127-134.
- [7]. Wang, G., Chen, X., Liu, S., Wong, C., & Chu, S. (2016). Mechanical chameleon through dynamic real-time plasmonic tuning. *ACS nano*, 10(2), 1788-1794.
- [8]. Xu, N., Sun, X., Zhao, F., Jin, X., Zhang, X., Wang, K., & Ma, Y. (2017). The role of pre-lithiation in activated carbon/Li₄Ti₅O₁₂ asymmetric capacitors. *Electrochimica Acta*, 236, 443-450.
- [9]. Dobrota, A. S., Pašti, I. A., Mentus, S. V., Johansson, B., & Skorodumova, N. V. (2017). Functionalized graphene for sodium battery applications: the DFT insights. *Electrochimica Acta*, 250, 185-195.
- [10]. Zhao, F., Dai, S., Wu, Y., Zhang, Q., Wang, J., Jiang, L., ... & Wang, C. (2017). Single-junction binary blend nonfullerene polymer solar cells with 12.1% efficiency. *Advanced Materials*, 29(18), 1700144.
- [11]. Ekpete, O. A., & Horsfall, M. J. N. R. (2011). Preparation and characterization of activated carbon derived from fluted pumpkin stem waste (*Telfairia occidentalis* Hook F). *Res J ChemSci*, 1(3), 10-17.
- [12]. Wilson, K., Yang, H., Seo, C. W., & Marshall, W. E. (2006). Select metal adsorption by activated carbon made from peanut shells. *Bioresource technology*, 97(18), 2266-2270.
- [13]. Pratibha R. Gawande, Dr. Jayant P. Kaware, "Preparation and activation of activated carbon from waste materials-A review", *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, Volume 4 Issue XII, 2016 pp.1-4.
- [14]. Yang, K., Peng, J., Srinivasakannan, C., Zhang, L., Xia, H., & Duan, X. (2010). Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. *Bioresource technology*, 101(15), 6163-6169.
- [15]. Bamufleh, H. S. (2011). Adsorption of Dibenzothiophene (DBT) on Activated Carbon from Dates' Stones Using Phosphoric Acid (H⁺ sub 3⁺ PO⁴⁻ sub 4⁻). *Journal of King Abdulaziz University*, 22(2), 89.
- [16]. Li, L., Dong, S., Chen, X., Han, P., Xu, H., Yao, J., & Cui, G. (2012). A renewable bamboo carbon/polyaniline composite for a high-performance supercapacitor electrode material. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 16(3), 877-882.
- [17]. Kuratani, K., Okuno, K., Iwaki, T., Kato, M., Takeichi, N., Miyuki, T., ... & Sakai, T. (2011). Converting rice husk activated carbon into active material for capacitor using three-dimensional porous current collector. *Journal of Power Sources*, 196(24), 10788-10790.
- [18]. Xiong, W., Liu, M., Gan, L., Lv, Y., Li, Y., Yang, L., & Chen, L. (2011). A novel synthesis of mesoporous carbon microspheres for supercapacitor electrodes. *Journal of Power Sources*, 196(23), 10461-10464.

- [19]. Jiang, Q. W., Li, G. R., Wang, F., & Gao, X. P. (2010). Highly ordered mesoporous carbon arrays from natural wood materials as counter electrode for dye-sensitized solar cells. *Electrochemistry communications*, 12(7), 924-927.
- [20]. Chu, H., Chien, T. W., & Twu, B. W. (2001). The absorption kinetics of NO in NaClO₂/NaOH solutions. *Journal of hazardous materials*, 84(2-3), 241-252.
- [21]. Jin, D. S., Deshwal, B. R., Park, Y. S., & Lee, H. K. (2006). Simultaneous removal of SO₂ and NO by wet scrubbing using aqueous chlorine dioxide solution. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3), 412-417.
- [22]. Sakai, M., Su, C., & Sasaoka, E. (2002). Simultaneous removal of SO_x and NO_x using slaked lime at low temperature. *Industrial & engineering chemistry research*, 41(20), 5029-5033.
- [23]. Heidarinejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 393-415.
- [24]. Malini, K., Selvakumar, D., & Kumar, N. S. (2023). Activated carbon from biomass: Preparation, factors improving basicity and surface properties for enhanced CO₂ capture capacity—A review. *Journal of CO₂ Utilization*, 67, 102318.
- [25]. Hussain, O. A., Hathout, A. S., Abdel-Mobdy, Y. E., Rashed, M. M., Rahim, E. A., & Fouzy, A. S. M. (2023). Preparation and characterization of activated carbon from agricultural wastes and their ability to remove chlorpyrifos from water. *Toxicology Reports*, 10, 146-154.
- [26]. Yurtay, A., & Kılıç, M. (2023). Biomass-based activated carbon by flash heating as a novel preparation route and its application in high efficiency adsorption of metronidazole. *Diamond and Related Materials*, 131, 109603.
- [27]. Chu, H., Chien, T. W., & Li, S. Y. (2001). Simultaneous absorption of SO₂ and NO from flue gas with KMnO₄/NaOH solutions. *Science of the total environment*, 275(1-3), 127-135.
- [28]. Murthy, K., Shetty, R. J., & Shiva, K. (2023). Plastic waste conversion to fuel: a review on pyrolysis process and influence of operating parameters. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(4), 11904-11924.
- [29]. Shafizadeh, A., Rastegari, H., Shahbeik, H., Mobli, H., Pan, J., Peng, W., & Aghbashlo, M. (2023). A critical review of the use of nanomaterials in the biomass pyrolysis process. *Journal of Cleaner Production*, 136705.
- [30]. Wang, L., Zhao, W., & Wu, Z. (2007). Simultaneous absorption of NO and SO₂ by FeIIEDTA combined with Na₂SO₃ solution. *Chemical Engineering Journal*, 132(1-3), 227-232.
- [31]. Teng, H., Tu, Y. T., Lai, Y. C., & Lin, C. C. (2001). Reduction of NO with NH₃ over carbon catalysts: The effects of treating carbon with H₂SO₄ and HNO₃. *Carbon*, 39(4), 575-582.
- [32]. Lillo-Ródenas, M. A., Cazorla-Amorós, D., & Linares-Solano, A. (2003). Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH: an insight into the chemical activation mechanism. *Carbon*, 41(2), 267-275.
- [33]. Jain, A., Tripathi, S. K., Gupta, A., & Kumari, M. (2013). Fabrication and characterization of electrochemical double layer capacitors using ionic liquid-based gel polymer electrolyte with chemically treated activated charcoal electrodes. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 17(3), 713-726.
- [34]. Nangsuay, A., Ruangpanit, Y., Meijerhof, R., & Attamangkune, S. (2011). Yolk absorption and embryo development of small and large eggs originating from young and old breeder hens. *Poultry Science*, 90(11), 2648-2655.
- [35]. Singla, S., Sharma, S., Basu, S., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2021). Photocatalytic water splitting hydrogen production via environmental benign carbon based nanomaterials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(68), 33696-33717.
- [36]. Ferreira, R. B., Santos, D. F., Pinto, A. M. F. R., & Falcão, D. S. (2023). Development and testing of a PEM fuel cell stack envisioning unmanned aerial vehicles applications. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- [37]. Narehood, D. G., Kishore, S., Goto, H., Adair, J. H., Nelson, J. A., Gutiérrez, H. R., & Eklund, P. C. (2009). X-ray diffraction and H-storage in ultra-small palladium particles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(2), 952-960.
- [38]. Poirier, E., Chahine, R., & Bose, T. K. (2001). Hydrogen adsorption in carbon nanostructures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 26(8), 831-835.
- [39]. Demir, M. E., Chehade, G., Dincer, I., Yuzer, B., & Selcuk, H. (2019). Synergistic effects of advanced oxidization reactions in a combination of TiO₂ photocatalysis for hydrogen production and wastewater treatment applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(43), 23856-23867.
- [40]. Mahato, D. P., Sandhu, J. K., Singh, N. P., & Kaushal, V. (2020). On scheduling transaction in grid computing using cuckoo search-ant colony optimization considering load. *Cluster Computing*, 23, 1483-1504.
- [41]. Rani, S., Babbar, H., Kaur, P., Alshehri, M. D., & Shah, S. H. A. (2022). An optimized approach of dynamic target nodes in wireless sensor network

using bio inspired algorithms for maritime rescue. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

[42]. Sivachidambaram, M., Vijaya, J. J., Kennedy, L. J., Jothiramalingam, R., Al-Lohedan, H. A., Munusamy, M. A., & Merlin, J. P. (2017). Preparation and characterization of activated carbon derived from the *Borassus flabellifer* flower as an electrode material for supercapacitor applications. *New Journal of Chemistry*, 41(10), 3939-3949.

[43]. Oberoi, A. S. (2015). Reversible electrochemical storage of hydrogen in activated carbons from Victorian brown coal and other precursors. RMIT University.

[44]. Zhang, L., Tu, L. Y., Liang, Y., Chen, Q., Li, Z. S., Li, C. H., ... & Li, W. (2018). Coconut-based activated

carbon fibers for efficient adsorption of various organic dyes. *RSC advances*, 8(74), 42280-42291.

[45]. Fanning, P. E., & Vannice, M. A. (1993). A DRIFTS study of the formation of surface groups on carbon by oxidation. *Carbon*, 31(5), 721-730.

[46]. Babel K., Janasiak D., Jurewicz K. (2012). Electrochemical hydrogen storage in activated carbons with different pore structures derived from certain lingo cellulose materials. *Carbon*, 50(14), 5017-5026. Doi: 10.1016/j.carbon.2012.06.030

[47]. Jurewicz K., Frackowiak E., Béguin F. (2002). Electrochemical storage of hydrogen in activated carbons. *Fuel Processing Technology*, 77-78, 415-421. Doi: 10.1016/S0378-3820(02)00092-9

Транслитерация по BSI





АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Сидорова А. В., Широков А. В., Русина А. Г., Арестова А. Ю.

Новосибирский государственный технический университет,
пр-т К. Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия, 630073,
тел: 8 (383) 346-08-43, факс: 8 (383) 346-02-09,
e-mail: shirokoff_alex@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.153-168

Заключение совета рецензентов: 14.01.24

Заключение совета экспертов: 26.01.24

Принято к публикации: 29.01.24

Вопросы применения технологии цифровых двойников на сегодняшний день являются актуальными в различных сферах экономического развития, не исключение и электроэнергетика. Электроэнергетика – отрасль со сложной структурой. Люди не всегда способны оперативно обработать огромный объем данных, выявить зависимости и принять оптимальное решение, поэтому без цифровых технологий невозможно конкурировать в современных реалиях. В статье рассматривается разработка и применение алгоритмов определения типов повреждений основного оборудования на основе технологии цифровых двойников. Определение режима повреждения основано на методе анализа аналоговых и дискретных сигналов, присутствующих в технологической сети передачи данных. В результате проведенных исследований разработаны, апробированы и внедрены алгоритмы цифрового двойника релейной защиты и автоматики на действующей ГЭС. Цифровой двойник направлен на сокращение времени обнаружения и локализации неисправностей и повреждений основного оборудования, а также на повышение информативности о режимах работы устройств релейной защиты и автоматики. Полученные результаты могут быть внедрены в существующую автоматизированную систему управления ГЭС для улучшения процесса принятия решений. Гибкая конфигурация позволяет не только адаптировать алгоритмы к любому оборудованию, но и расширить их функциональность.

Ключевые слова: ГЭС, SCADA, повреждение оборудования, неисправность оборудования, цифровой двойник, релейная защита и автоматика, отказ оборудования.

Сидорова А. В., Широков А. В., Русина А. Г., Арестова А. Ю. Алгоритм автоматического определения типов повреждений основного оборудования на основе технологии цифровых двойников // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 153-168

Sidorova A. V., Shirokov A. V., Rusina A. G., Arestova A. Y. Automatic damage type detection algorithm for main equipment based on digital twin technology // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 153-168



AUTOMATIC DAMAGE TYPE DETECTION ALGORITHM FOR MAIN EQUIPMENT BASED ON DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

Sidorova A. V., Shirokov A. V., Rusina A. G., Arestova A. Y.

Novosibirsk State Technical University, K. Marx Avenue, 20,
Novosibirsk, Russia, 630073,
phone: 8 (383) 346-08-43, fax: (383) 346-02-09,
e-mail: shirokoff_alex@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.153-168

Referred: 12.01.24

Received in revised form: 26.01.24

Accepted: 29.01.24

The issues of using digital twin technology today are relevant in various areas of economic development, and the electric power industry is no exception. Electric power industry is an industry with a complex structure. People are not always able to quickly process a huge amount of data, identify dependencies and make the best decision, so without digital technologies it is impossible to compete in modern realities. The article discusses the development and application of algorithms for determining types of damage to main equipment based on digital twin technology. Determination of the damage mode is based on the method of analyzing analog and discrete signals present in the technological data transmission network. As a result of the research, algorithms for a digital twin of relay protection and automation at an operating hydroelectric power station were developed, tested and implemented. The digital twin is aimed at reducing the time for detecting and localizing faults and damage to main equipment, as well as increasing information content about the operating modes of relay protection and automation devices. The results obtained can be implemented into the existing automated control system of hydroelectric power plants to improve the decision-making process. Flexible configuration allows not only to adapt algorithms to any equipment, but also to expand their functionality.

Keywords: HPP, SCADA, equipment damage, equipment malfunction, digital twin, relay protection and automation, equipment failure



Сидорова
Алена Владимировна
Sidorova Alena V.

Сведения об авторе: научный сотрудник Межкафедральной научно-исследовательской лаборатории обработки анализа и представления данных в электроэнергетических системах (ЛДвЭЭС) НГТУ.

Образование: Исследователь. Преподаватель-исследователь по направлению «Электро- и теплотехника» (профиль: Электрические станции и электроэнергетические системы), НГТУ, г. Новосибирск, 2023.

Область научных интересов: гидроэнергетика, водно-энергетические расчеты, алгоритмизация системных и внутростанционных ограничений.

Публикации: 40.
Индекс Хирша: 1.

Information about the author: researcher at the Interdepartmental Research Laboratory for Processing, Analysis and Presentation of Data in Electric Power Systems (LDvEES) NSTU.

Education: Researcher. Teacher-researcher in the field of «Electrical and thermal engineering» (profile: Electric plants and electric power systems), NSTU, Novosibirsk, 2023.

Research interests: hydropower engineering, water-energy calculations, algorithmization of system and intra-station restrictions.

Publications: 40.
H-index: 1.



Широков
Александр
Владимирович
Shirokov Aleksandr V.

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы», НГТУ.

Образование: инженер по специальности «Гидроэлектростанции» СФУ, г Красноярск, 2011.

Область научных интересов: гидроэнергетика, гидроэлектростанции, релейная защита и автоматика, алгоритмизация и автоматизация процессов, расчёты электроэнергетических режимов.

Публикации: 15
Индекс Хирша: 1.

Information about the author: postgraduate student of the department Electric Power stations and Electric power, NSTU.

Education: Engineer in the specialty «Hydroelectric power plants» SFU, Krasnoyarsk, 2011.

Research interests: hydropower engineering, hydroelectric power plants, relay protection and automation, algorithmization and automation of processes, calculations of electric power modes.

Publications: 15
H-index: 1.



Русина
Анастасия Георгиевна
Rusina Anastasia G.

Сведения об авторе: д.т.н., доцент, декан факультета Энергетики.

Образование: НГТУ, 2004, магистр техники и технологии по специальности Электроэнергетика.

Область научных интересов: гидро-энергетика, водно-энергетические расчеты, оптимизация электроэнергетических режимов.

Публикации: более 300.
Индекс Хирша: 9.

Information about the author: Dr. Sc. (Engineering), Professor, Dean of the Energy Faculty, NSTU.

Education: NSTU, 2004, M.Sc. in Engineering and Technology in Electrical Power Engineering.

Research interests: hydropower, water-energy calculations, optimization of electric power modes.

Publications: more 300.
H-index: 9.



Арестова
Анна Юрьевна
Arestova Anna Yu

Сведения об авторе: старший преподаватель кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем факультета Энергетики НГТУ.

Образование: НГТУ, 2009, инженер по специальности «Электроэнергетические системы и сети».

Область научных интересов: противоаварийная автоматика, анализ динамической устойчивости.

Публикации: более 100.
Индекс Хирша: 6.

Information about the author: Senior lecturer of Automated power systems Department, NSTU.

Education: NSTU, 2009, M.Sc. in Power Engineering at Novosibirsk State Technical University.

Research interests: emergency control, dynamic stability analysis.

Publications: more 100.
H-index: 6.

Введение

В статье рассматривается система определения видов повреждений основного оборудования гидроэлектростанции (ГЭС) для удобства эксплуатации на основе создания цифрового двойника (ЦД) релейной защиты и автоматики (РЗА). Под ЦД понимается имитационная модель объекта или процесса, позволяющая с высокой точностью описать поведение реального объекта/системы, а также технологического/операционного процесса или услуг. В настоящее время ЦД является ключевым базовым элементом высокотехнологичной системы управления, интеллектуальной надстройкой над средой Интернета вещей (с англ. InternetofThings (IoT)), благодаря возможности моделирования любых нормальных или аварийных условий – это ведущий инструмент мониторинга и прогнозирования. Авторы [1] приводят основные области применения ЦД в электроэнергетике:

- система контроля мощности. ЦД может прогнозировать возможность возникновения чрезвычайных ситуаций и улучшать процесс принятия решений для персонала;
- регулировка угла наклона ветряной турбины. ЦД используется для исследования параметров оборудования и процессов для оптимизации производительности регулирования скорости. Например, в статье [2] предлагается алгоритм нелинейного интегрального обратного шага для управления углом наклона в рамках ЦД;

- система управления электростанцией для интеллектуального управления, обеспечивающая визуализацию каждого работающего оборудования [3];
- оперативный анализ электросети для диспетчерских центров управления;
- мониторинг и управление электросетью. ЦД обеспечивает более эффективное планирование краткосрочных и долгосрочных процессов, включая снижение потерь, автоматизацию процессов, адаптивную РЗА и т.д. [4].

Подводя итог, можно сказать, что ЦД комплексного промышленного объекта охватывает поддержку операторов, проверку принятия решений, координацию оператора, оценку состояния, оценку параметров сети и диагностику состояния компонентов [5].

ЦД РЗА может рассматриваться как отдельно от основного оборудования энергосистемы, так и в составе составного объекта. Отдельное моделирование позволяет исследовать производительность алгоритмов обработки сигналов, чувствительность реле защиты, определить ограничения системы и наилучшие условия эксплуатации [6].

Для создания комплексного ЦД ГЭС требуется команда разработчиков из различных предметных областей. Необходимо спроектировать множество объектов и процессов, которые едва связаны друг с другом: архитектура здания [7], гидрологический

процесс [8-10], конструктивные особенности гидроагрегатов [11], электрический процесс [12, 20, 21, 29], износ оборудования [13, 23, 24], воздействие на окружающую среду [14, 25], взаимосвязь энергосистем [15, 26, 27] и т.д.

ЦД можно разделить на три типа: [18, 19]:

1. Двойник-прототип. Виртуальный аналог реального элемента, содержащий описание всех этапов и требования к производственным и технологическим процессам во время эксплуатации.

2. Двойник-экземпляр. Виртуальный аналог реального элемента, который содержит описание материалов, компонентов и имеет информацию из системы мониторинга оборудования.

3. Агрегированный двойник. Объединяет прототип и экземпляр, то есть собирает всю доступную информацию об оборудовании или системе.

Использование технологии агрегированного ЦД для оборудования РЗА имеет ряд преимуществ [28]:

- позволяет проверить правильность работы устройств с помощью простейших моделей, имитирующих их работу;
- предоставляет широкий спектр возможностей для анализа текущего состояния устройств РЗА, планирования мероприятий по техническому обслуживанию, поиску потенциальных проблем и способов их решений.

Анализ работы РЗА показывает, что 34 % всех

ложных срабатываний происходят из-за неисправностей устройств РЗА. Статистика включает в себя следующие причины отказов:

- ошибки при выполнении работ;
- ошибки в реализованных принципиальных схемах;
- ошибки при выполнении переключений с устройствами РЗА;
- дефекты или неисправность трансформаторов тока;
- дефект или неисправность электромеханической аппаратуры;
- дефект или неисправность микроэлектронной и полупроводниковой аппаратуры;
- дефект или неисправность микропроцессорной аппаратуры;
- дефект или сбой программного обеспечения;
- дефект или неисправность вторичных цепей РЗА.

Около 31 % ложных срабатываний происходит из-за ошибок персонала. Таким образом, ЦД позволяет снизить долю ошибок персонала, если оно направлено на улучшение процесса принятия решений [33].

В настоящее время в верхний уровень SCADA приходит огромное количество аналоговых и дискретных сигналов. Оператору требуется время, чтобы определить режим работы и состояние оборудования [30, 32].

Таблица сокращений

ГЭС	Гидроэлектростанция
ЦД	Цифровой двойник
РЗА	Релейная защита и автоматика
IoT	Internet of Things
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
I_z	Ток стороны главных выводов генератора
$I_{нз}$	Ток стороны нулевых выводов генератора
$I_{ср}$	Ток срабатывания дифференциального органа
$I\Delta$	Дифференциальный ток
ОЗЗ	Однофазное замыкание на землю
$3U_0$	Напряжение нулевой последовательности
U_0G	Орган напряжения нулевой последовательности основной частоты
U_03	Орган напряжения третьей гармоники

В	Вольт
ТН	Трансформатор напряжения
ИО	Измерительный орган
%	Процент
ф.	Фаза
КЗ	Короткое замыкание
мс	Миллисекунда
АСУТП	Автоматизированная система управления технологическим процессом
ЗЗГ	Защита от замыканий на землю обмотки статора
НН	Низкое напряжение стороны трансформатора
ТБ	Трансформатор блока
В-Г	Выключатель генератора

1. Постановка задачи

На этапе эксплуатации важнейшей функцией ЦД является автоматическое определение вида поврежденного и его локализация [34]. ЦД постоянно анализирует аналоговые и дискретные сигналы, поступающие в верхний уровень SCADA и на основе этих сигналов, идентифицирует режим, отличный от нормального.

В силу того, что осциллограммы зашифрованы, в качестве аналоговых сигналов используются тренды, приведенные на Рис. 1. Тренды показывают, что значения для одного измерения на осциллограммах и трендах совпадают.



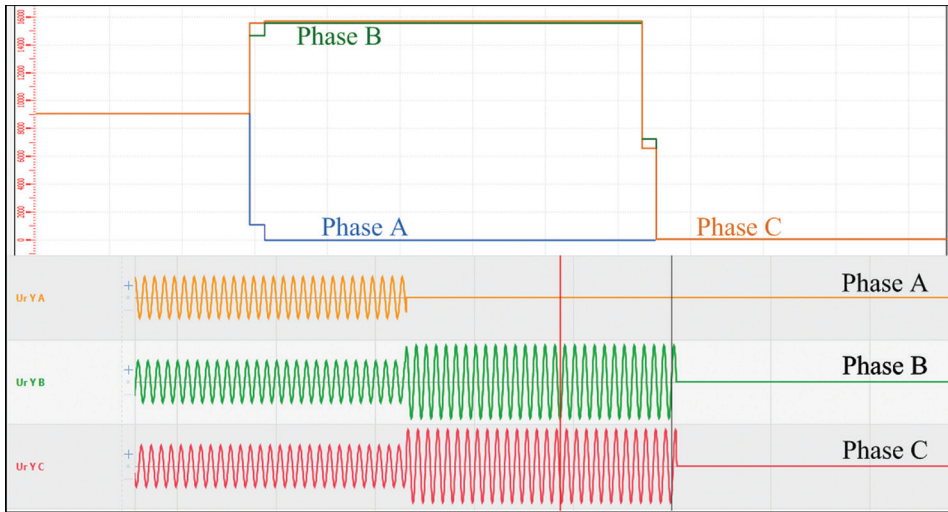


Рис. 1. Сравнение измерений осциллограмм и трендов
Fig. 1. Comparison of waveform and trend measurements

Для прототипа ЦД был разработан алгоритм автоматического определения типа отказа на основе аналоговых и дискретных сигналов, приведенный на Рис. 2.

Первым шагом алгоритма является опрос памяти

ти дискретных сигналов. Для каждого повреждения характерны свои сигналы. При появлении сигнала о повреждении начинается опрос памяти аналоговых сигналов. Если сигналы соответствуют повреждению, выдается информация о повреждении.

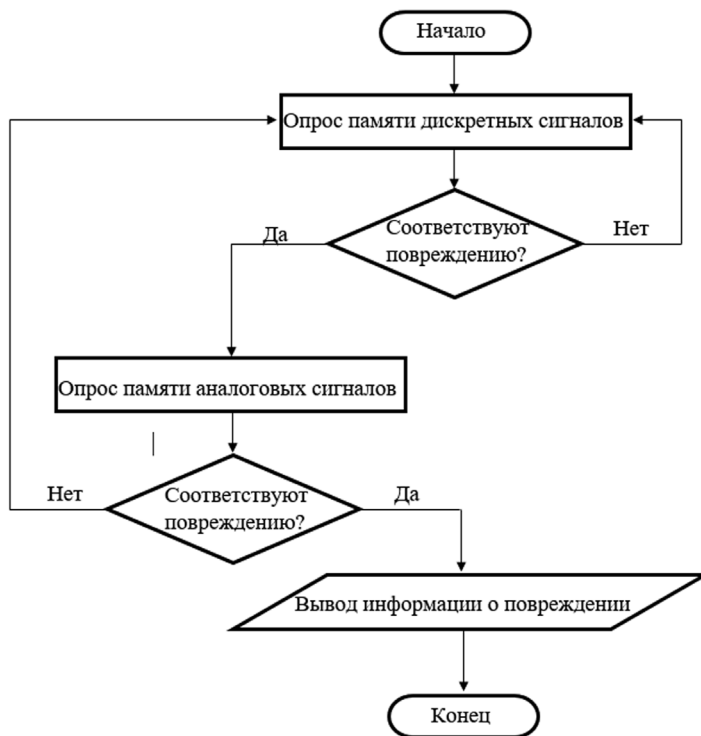


Рис. 2. Блок-схема работы алгоритма
Fig. 2. Block diagram of the algorithm

Интегрированная модель представляет собой совокупность взаимодействия дискретных и аналоговых сигналов при срабатывании устройств РЗА.

В качестве примеров рассмотрены несколько видов повреждений в обмотке статора генератора.

1.1. Междофазные короткие замыкания

Междофазные короткие замыкания в обмотке статора генератора характеризуется увеличением

тока в поврежденных фазах и нулевым током в неповрежденной фазе. Эти условия используются в логике ЦД.

Основной быстродействующей защитой от междофазных коротких замыканий является продольная дифференциальная защита. Защита подключается к трансформаторам тока, установленным со стороны линейных (I_{2A}, I_{2B}, I_{2C}) и нулевых ($I_{n2A}, I_{n2B}, I_{n2C}$) выводов генератора, приведенных на Рис. 3 [35]. Прин-



International Publishing House of scientific periodicals «Space»



Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

цип действия защиты основан на сравнении токов, протекающих со стороны линейных и нулевых выводов. Зона действия дифференциальной защиты огра-

ничивается местом установки трансформаторов тока [16, 17].

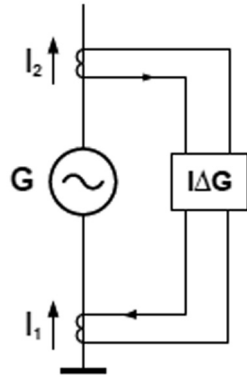


Рис. 3. Схема подключения продольной дифференциальной защиты генератора
 Fig. 3. Connection diagram for longitudinal differential protection of the generator

Дифференциальная защита вычисляет дифференциальный ток $I\Delta$ и сравнивает его с током срабатывания дифференциального органа (I_{CP}). Защита срабатывает, когда дифференциальный ток превы-

шает ток срабатывания дифференциального органа. Функциональная схема дифференциальной защиты генератора приведена на Рис. 4.

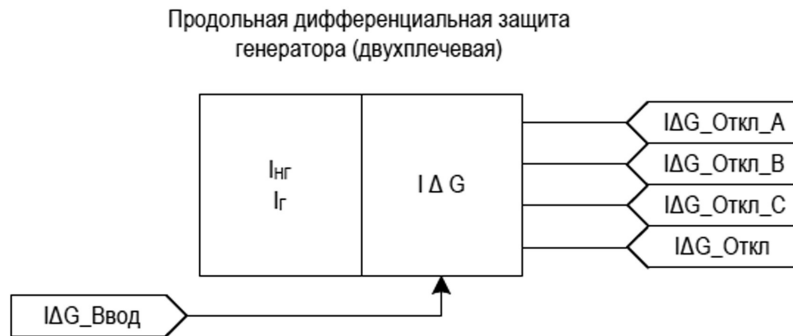


Рис. 4. Схема подключения продольной дифференциальной защиты генератора
 Fig. 4. Connection diagram for longitudinal differential protection of the generator

1.2. Однофазное замыкание на землю

Однофазное замыкание (ОЗЗ) в обмотке статора или на выводах генератора характеризуется снижением напряжения поврежденной фазы и увеличением напряжений в неповрежденных фазах. При глухом ОЗЗ напряжение поврежденной фазы уменьшается до нуля, в неповрежденных фазах увеличивается до линейного. Сумма напряжений в неповрежденных фазах составляет $3U_0 = 100$ В вторичной обмотки. Эти условия используются в логике ЦД.

Принцип действия защиты от ОЗЗ основан на контроле основной и третьей гармонических составляющих в напряжении нулевой последовательности, измеряемых со стороны линейных и нулевых выводов генератора. Защита подключается к трансформатору напряжения (ТН), установленному со стороны нейтрали генератора и к разомкнутому треугольнику ТН, установленному со стороны линейных выводов генератора, что приведено на Рис. 5. [16, 17]

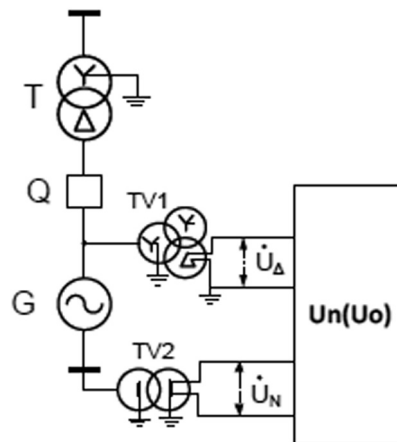


Рис. 5. Схема подключения защиты от ОЗЗ
 Fig. 5. Connection diagram for protection against single phase-to-ground fault protection



Защита содержит измерительные органы (ИО) напряжения нулевой последовательности основной частоты (U_{0G}), ИО напряжения третьей гармоники (U_{03}) и дополнительную логику. Орган U_{0G} контролирует напряжение основной частоты вторичной обмотки разомкнутого треугольника ТН, установленного на линейных выводах генератора и срабатывает при превышении уставки органа. Орган U_{03} обеспечивает защиту от 85 до 95 % витков обмотки статора

генератора со стороны линейных выводов. Остальная часть обмотки защищается с помощью органа U_{03} . ИО U_{03} контролирует третью гармоническую составляющую в напряжении нулевой последовательности на выводах генератора ($U_{\Delta 3}$) и в напряжении смещения нейтрали (U_{N3}). Функциональная схема защиты от замыкания на землю обмотки статора генератора приведена на Рис. 6.

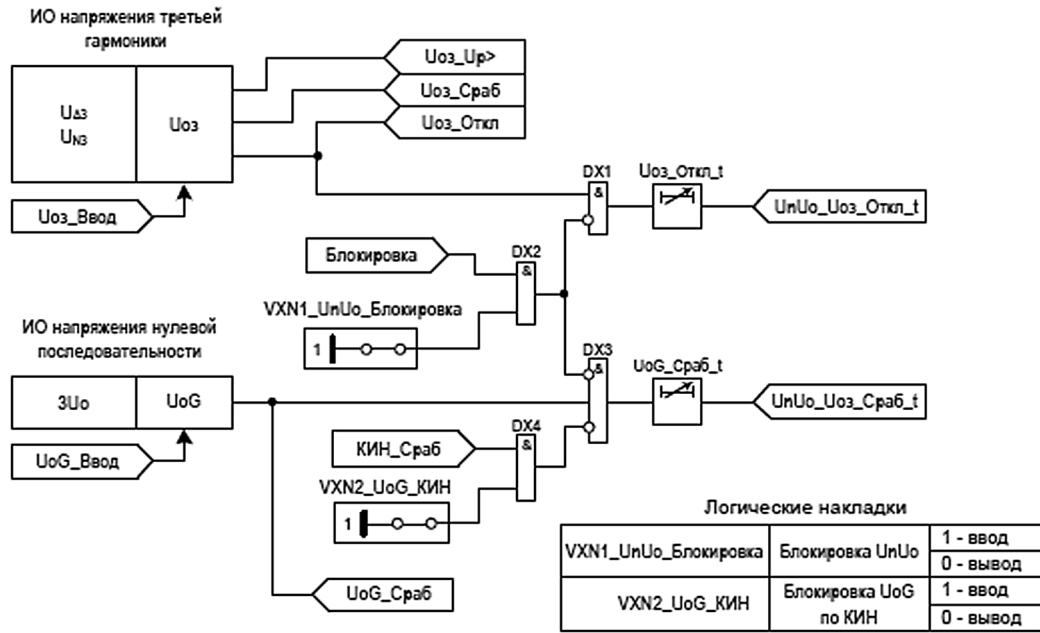


Рис. 6. Функциональная схема защиты от замыкания на землю обмотки статора генератора
Fig. 6. Functional diagram of generator stator winding ground fault protection

2. Создание алгоритма

На основании зависимостей взаимодействия дискретных и аналоговых сигналов при срабатывании устройств РЗА разработаны алгоритмы определения

видов повреждений или неисправностей основного оборудования гидроагрегатов ГЭС.

2.1. Междофазные короткие замыкания

Основными аварийными сигналами при междофазных коротких замыканиях (КЗ) являются следующие:

- срабатывание защит;
- срабатывание продольной дифференциальной защиты;
- пофазное срабатывание продольной дифференциальной защиты.

При появлении дискретных сигналов от продольной дифференциальной защиты:

- ф. А, В, С определяем вид КЗ: 3-х фазное КЗ;
- ф. А, В и отсутствие сигнала 3-х фазное КЗ определяем вид КЗ: 2-х фазное КЗ фаз АВ;
- ф. В, С и отсутствие сигнала 3-х фазное КЗ определяем вид КЗ: 2-х фазное КЗ фаз ВС;
- ф. А, С и отсутствие сигнала 3-х фазное КЗ

определяем вид КЗ: 2-х фазное КЗ фаз АС.

Логика работы алгоритмов определения режима междофазных КЗ представлена на Рис. 7 и описана ниже.

Для анализа режима КЗ и определения значений токов и времени необходимо отследить момент времени $\Delta t = -150$ мс, от момента срабатывания защиты:

а) Определение максимального значения тока повреждения $I_{макс}$:

- 3-х ф. КЗ: $I_{2A}, I_{2B}, I_{2C}, I_{нгA}, I_{нгB}, I_{нгC}$;
- 2-х ф. КЗ АВ: $I_{2A}, I_{2B}, I_{нгA}, I_{нгB}$;
- 2-х ф. КЗ ВС: $I_{2B}, I_{2C}, I_{нгB}, I_{нгC}$;
- 2-х ф. КЗ АС: $I_{2A}, I_{2C}, I_{нгA}, I_{нгC}$.

б) Определение времени начала режима КЗ $t_{нач}$. – определяем момент скачкообразного увеличения тока:

- 3-х ф. КЗ: $I_{2A}, I_{2B}, I_{2C}, I_{н2A}, I_{н2B}, I_{н2C}$;
- 2-х ф. КЗ АВ: $I_{2A}, I_{2B}, I_{н2A}, I_{н2B}$;
- 2-х ф. КЗ ВС: $I_{2B}, I_{2C}, I_{н2B}, I_{н2C}$;
- 2-х ф. КЗ АС: $I_{2A}, I_{2C}, I_{н2A}, I_{н2C}$.

с) Определяем время отключения выключателя t откл. выкл на основании прекращения тока КЗ со стороны главных выводов, если был включен разъединитель и выключатель генератора (ГА был в сети):

- 3-х ф. КЗ: $I_{2A}, I_{2B}, I_{2C} (Lim 100, 0)$;
- 2-х ф. КЗ АВ: $I_{2A}, I_{2B} (Lim 100, 0)$;
- 2-х ф. КЗ ВС: $I_{2B}, I_{2C} (Lim 100, 0)$;
- 2-х ф. КЗ АС: $I_{2A}, I_{2C} (Lim 100, 0)$.

д) Определяем время окончания режима КЗ t кон. на основании прекращения тока КЗ со стороны нулевых выводов – развозбуждение генератора:

- 3-х ф. КЗ: $I_{н2A}, I_{н2B}, I_{н2C} (Lim 40, 0)$;
- 2-х ф. КЗ АВ: $I_{н2A}, I_{н2B} (Lim 40, 0)$;
- 2-х ф. КЗ ВС: $I_{н2B}, I_{н2C} (Lim 40, 0)$;
- 2-х ф. КЗ АС: $I_{н2A}, I_{н2C} (Lim 40, 0)$.

е) Определяем время отключения генераторно-выключателя $\Delta t_{откл.выкл}$ (мсек) как разность астрономического времени отключения генераторного (t откл.выкл) выключателя и времени начала режима КЗ (t нач).

Выводим значение времени $\Delta t_{откл.выкл}$ на но-

вую вкладку в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП).

ф) Определяем время локализации режима КЗ (мсек) $\Delta t_{лок.}$ режима как разность астрономического времени окончания режима КЗ (t кон) и времени начала режима КЗ (t нач).

Выводим значение времени $\Delta t_{лок.}$ на новую вкладку в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП).

Алгоритм анализа режима КЗ и определения значений токов и времени приведен на Рис. 8.

Все полученные значения $I_{макс.}, t_{нач.}, t_{откл. выкл.}, t_{кон.}, \Delta t_{откл. выкл.}, \Delta t_{лок.}$ режима выводятся в новую вкладку в SCADA системе. В SCADA генерируются результаты неисправности: тип повреждения, время устранения, максимальный ток короткого замыкания, время аварии и выполненные управляющие воздействия. На основе срабатывания продольной дифференциальной защиты ЦД также может определить характер неисправностей, связанных с различными потерями токовых цепей, что поможет оперативно найти и устранить неисправность. Выходные сигналы анализа режима междуфазных КЗ представлены на Рис. 7-9.

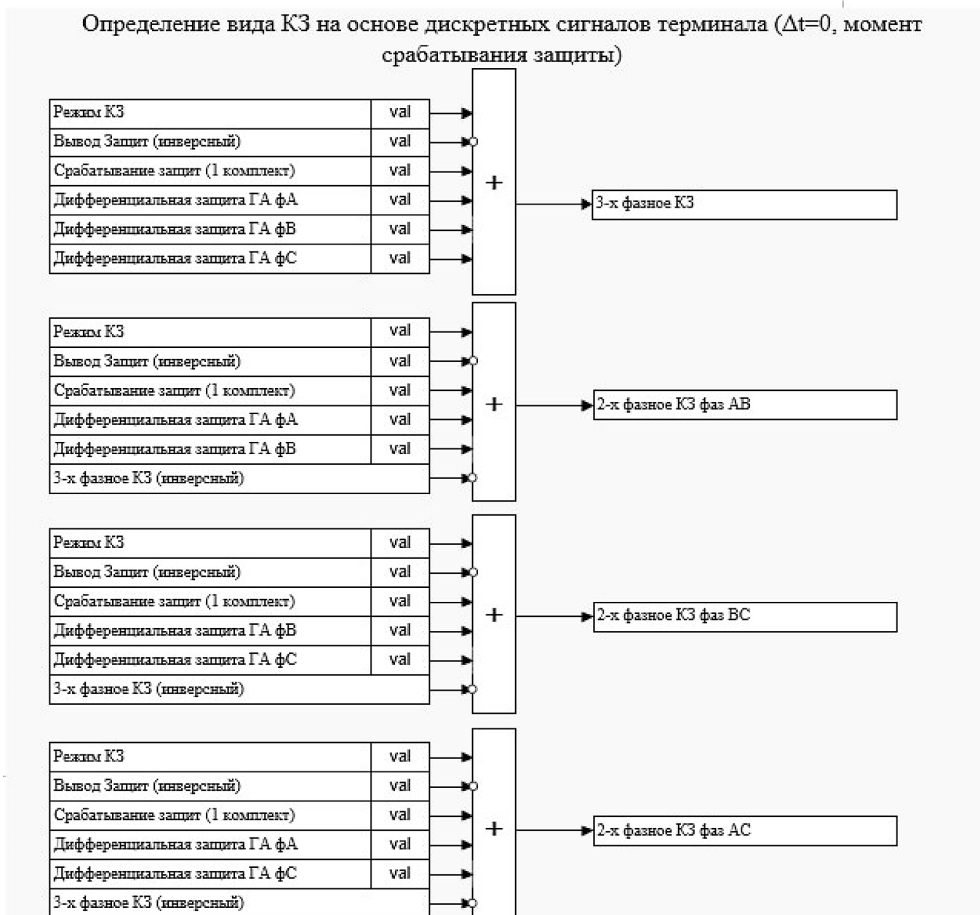


Рис. 7. Логика работы алгоритмов определения режима междуфазных КЗ

Fig. 7. Logic of operation of algorithms for determining the mode of phase-to-phase short circuits

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

Анализ режима КЗ «В сети» ($\Delta t = -50\text{мс}, +7000\text{мс}$ от момента срабатывания защиты)

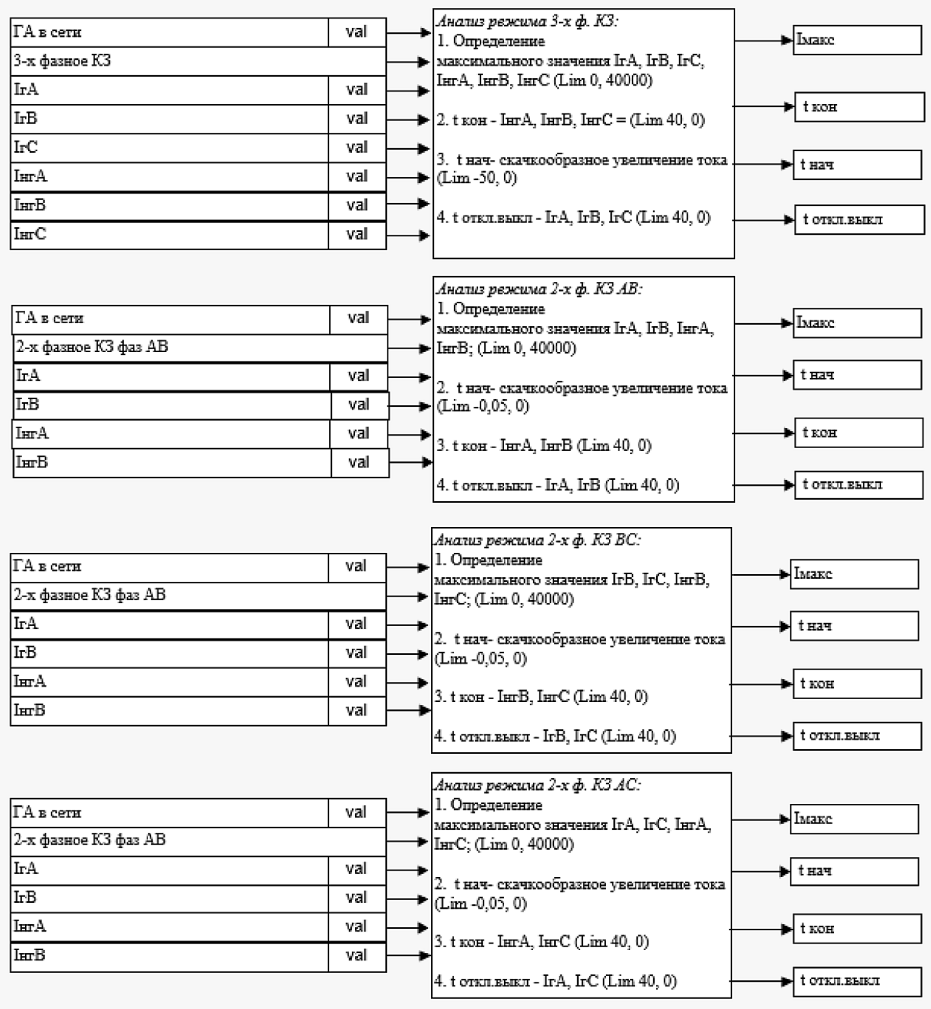


Рис. 8. Алгоритм анализа режима КЗ и определения значений токов и времени

Fig. 8. Algorithm for analyzing the short circuit mode and determining the values of currents and time

Выходные			
$I_{\text{макс}}$	АО	Память контроллера	Значение параметра вычисленного максимального тока для определенного вида КЗ в единицах измерения физической величины (А)
$t_{\text{нач}}$	АО	Память контроллера	Астрономическое значение вычисленного времени начала КЗ (ЧЧ:ММ:СС:МС)
$t_{\text{откл.выкл}}$	АО	Память контроллера	Астрономическое значение вычисленного времени отключения генераторного выключателя (ЧЧ:ММ:СС:МС)
$t_{\text{кон}}$	АО	Память контроллера	Астрономическое значение вычисленного времени окончания режима КЗ (ЧЧ:ММ:СС:МС)
$\Delta t_{\text{откл.выкл}}$	АО	Память контроллера	Время отключения генераторного выключателя от начала режима КЗ (мсек)
$\Delta t_{\text{лок. режима}}$	АО	Память контроллера	Время локализации режима КЗ (мсек)

Рис. 9. Выходные сигналы анализа режима междуфазных КЗ

Fig. 9. Output signals for analyzing the phase-to-phase short circuit mode



2.2 Однофазное замыкание на землю

Основными аварийными сигналами при ОЗЗ являются следующие:

- срабатывание защит;
- защита от замыканий на землю обмотки статора (ЗЗГ).

При появлении данных дискретных сигналов цифровой двойник начинает опрашивать память ана-

логовых сигналов, необходимыми сигналами являются фазные напряжения и $3U_0$. График напряжения $3U_0$ показан на Рис. 10. В нормальном режиме $3U_0$ равно нулю. В случае глухого замыкания на землю напряжение $3U_0$ возрастает до 100 В , что наглядно приведено на Рис. 10.

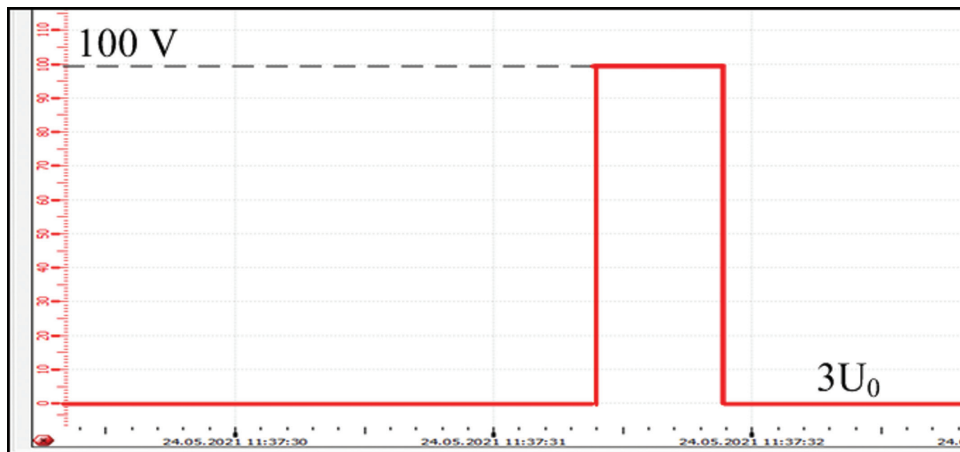


Рис. 10. Сигнал $3U_0$ при глухом замыкании на землю в обмотке статора
 Fig. 10. $3U_0$ signal in case of a solid short circuit to ground in the stator winding

Логика работы алгоритмов определения режима замыкания на землю при включенном генераторе в сеть или на холостом ходу, на примере ф. А представлена на Рис. 11 и описана ниже:

- При появлении напряжения $3U_0G$ (выше 10 В , ниже 120 В) определяем «Переходный процесс замыкания на землю ф. А» и ожидаем дискретный сигнал о срабатывании ЗЗГ от комплекта защит;
- При срабатывании ЗЗГ от комплекта защит формируем внутренний сигнал «Замыкание на землю ф. А»;
- После формирования признака «Замыкание на землю ф. А» анализируем режим по характеру аналоговых сигналов;
- Определяем максимальное значение $3U_0G$:
 - Если $3U_{0_макс}$ в пределах от 10 до 90 В – Замыкание ф. А на землю;
 - Если $3U_{0_макс}$ в пределах от 90 до 120 В – Глухое замыкание ф. А на землю.
- Время начала режима $-t_{нач.}$ – скачкообразное увеличение $3U_0G$.
- Время окончания режима $-t_{кон.}$ $-U_2, Y A,$

$U_2, Y B, U_2, Y C = 0.$

г) Если генератор был включен в сеть, необходимо проанализировать напряжение $3U_0$ на стороне низшего напряжения трансформатора ($3U_0\text{ НН ТБ}$):

- Если $3U_0\text{ НН ТБ}$ менее 10 В ($\text{Lim } 10, 0$) – конец анализа режима;
- Если $3U_0\text{ НН ТБ}$ более 10 В ($\text{Lim } 10, 120$) – замыкание ф. А на землю в сети низшего напряжения трансформатора блока ТБ за В-Г – формирование сигнала о необходимости отключения блока оперативным персоналом.

Все полученные значения $3U_{0_макс}$, $3U_{0_макс_ТБ}$, $t_{нач.}$, $t_{откл. выкл.}$, $t_{кон.}$, $\Delta t_{откл. выкл.}$, $\Delta t_{лок. режима}$ выводятся в новую вкладку в SCADA системе. В SCADA генерируются результаты неисправности: тип повреждения, время устранения, максимальное значение напряжения $3U_0$, значение напряжений в поврежденной и неповрежденных фазах, время аварии и выполненные управляющие воздействия. Логика работы алгоритмов определения режима замыкания на землю приведена на Рис. 11.

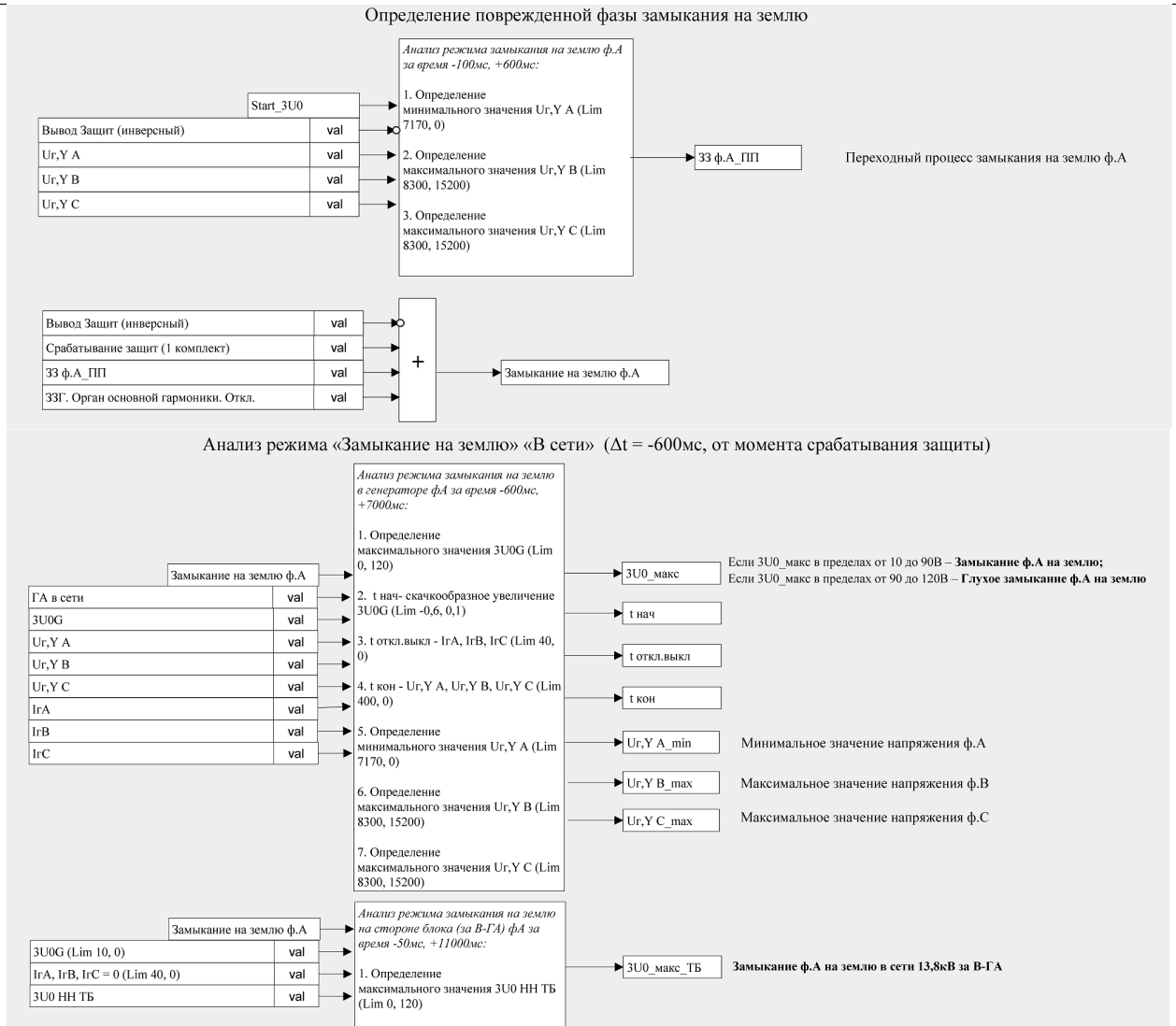


Рис. 11. Логика работы алгоритмов определения режима замыкания на землю
 Fig. 11. Logic of operation of algorithms for determining the ground fault mode

3. Тестирование алгоритма

Алгоритмы определения режимов повреждения основного оборудования реализованы в программной среде SCADA действующей ГЭС. Анализ работы алгоритмов проводился в режиме имитации повреждения оборудования, подачи токов и напряжений в устройство РЗА. Верификация алгоритмов произведена сравнением параметров аварийных осциллограмм, сформированным устройством РЗА и данных, полученных в результате работы ЦД в SCADA системе. Данные совпадают.

Цифровым двойником РЗА определены:

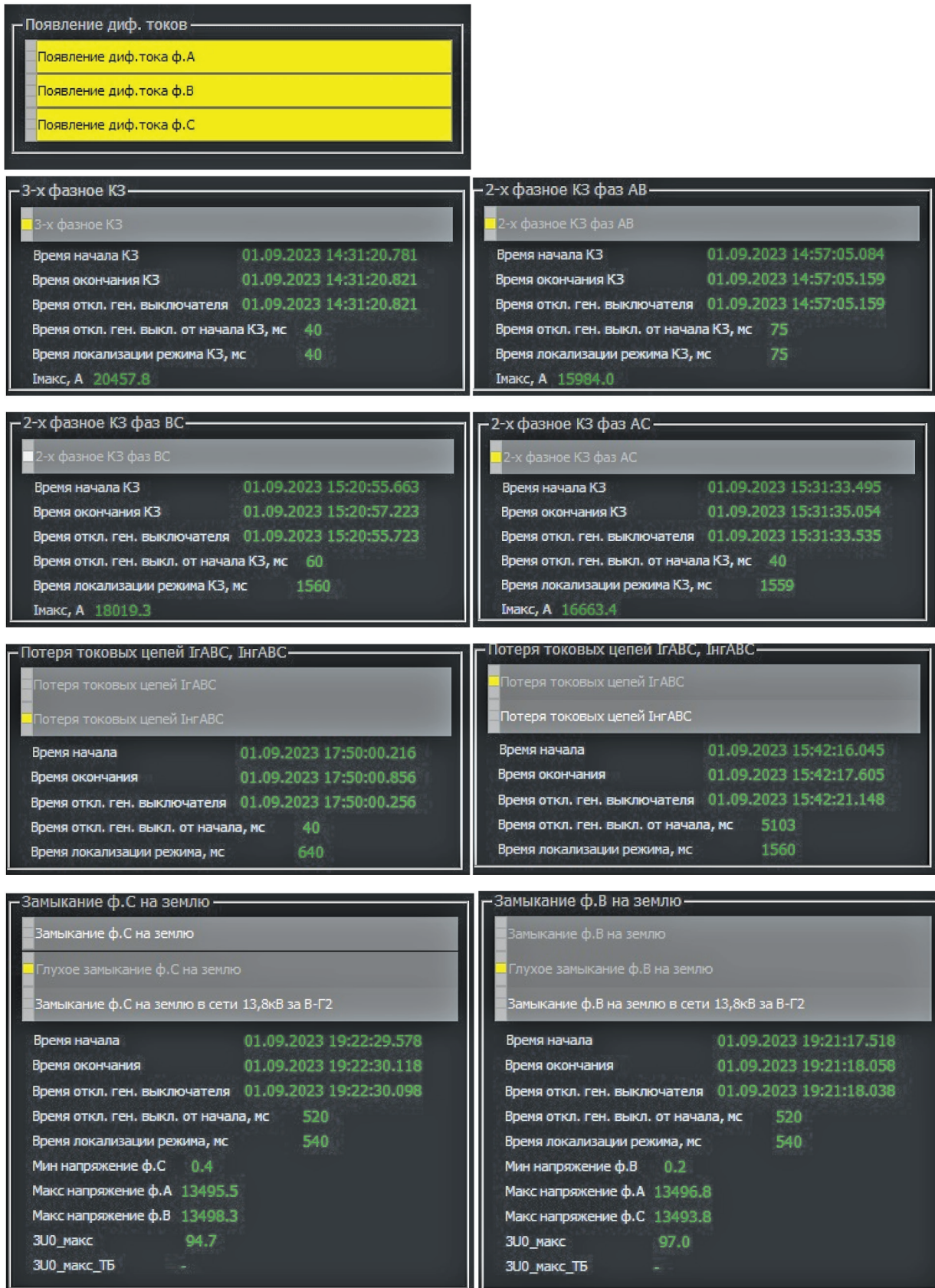
- все виды междуфазных коротких замыканий 3-х ф. КЗ, 2-х ф. КЗ AB, 2-х ф. КЗ BC, 2-х ф. КЗ AC в

обмотке статора генератора или на выводах;

- неисправности, связанные с различными потерями токовых цепей, подключенных к дифференциальной защите генератора;
- замыкания на землю ф. А, В, С в обмотке статора генератора или на выводах;
- глухие замыкания на землю ф. А, В, С в обмотке статора генератора или на выводах;
- замыкания на землю ф. А, В, С в сети генераторного напряжения за генераторным выключателем;
- значения параметров токов, напряжений, времени начала и локализации аварийных режимов.

4. Результаты тестирования алгоритма

Результаты работы ЦД РЗА приведены на Рис. 12.



International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

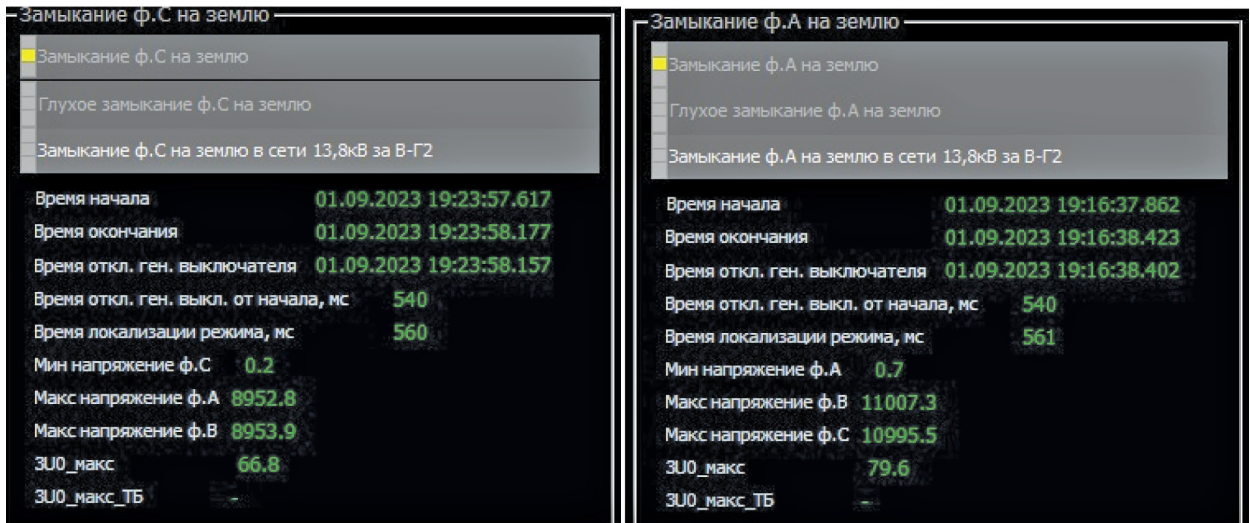


Рис. 12. Результаты работы цифрового двойника РЗА
Fig. 12. Results of the digital twin of the relay protection and automation system

Заключение

В настоящее время актуальной задачей является повышение автономности систем управления технологическими процессами и перераспределение функций для улучшения процесса принятия решений. В этом случае важна разработка интеллектуальной составляющей SCADA систем, в частности создание алгоритмов реагирования на аварийные ситуации в режиме реального времени.

Автоматическое определение режима повреждения основного оборудования на основе технологии ЦД позволяет в кратчайшие сроки повысить эффективность управления и контроля в аварийных ситуациях. Технология основана на методе анализа аналоговых и дискретных сигналов, присутствующих в технологической сети передачи данных. Алгоритмы определения могут быть реализованы в существующей или модернизируемой SCADA электростанции.

Данное решение позволяет в несколько раз повысить информативность и экспресс-анализ повреждений, сократить время обнаружения и локализации неисправностей и повреждений основного оборудования.

Особенно актуальной данная технология становится для электростанций без постоянного присутствия дежурного персонала. ЦД направлен на сокращение времени обнаружения и локализации неисправностей и повреждений основного оборудования, а также на повышение информативности о режимах работы устройств РЗА.

Благодарности

Исследование выполнено в Межкафедральной научно-исследовательской лаборатории обработки, анализа и представления данных в электроэнергетических системах.

Список литературы

- [1]. Хуан Дж. и др. Применение цифрового двойника в энергетике / Дж. Хуан, Л. Чжао, Ф. Вэй, Б. Цао // Серия конференций IOP: Наука о Земле и окружающей среде. – 2021. – В. 647. – №. 1. – С. 1-10.
- [2]. Парвареш А. и др. Новая технология цифровых двойников на основе контроллера с глубоким обучением для управления углом наклона ветряной турбины с регулируемой скоростью / А. Парвареш, С. Абразех, С. Р. Мохсени, М. Дж. Зейтуни, М. Гейсарнежад, М. Х. Хубан // Проекты. – 2020. – Т. 4. – №. 2. – С. 1-19.
- [3]. Тао Ф. и др. Пятимерная модель цифрового двойника и десять ее применений / Ф. Тао, В. Лю, М. Чжан, Т. Ху, Ц. Ци, Х. Чжан, З. Хуан // Компью-

- терно-интегрированные производственные системы. – 2019. – Т. 25. – №. 1. – С. 1-18.
- [4]. Золин Д. С., Рыжкова Е. Н. Цифровые двойники для электрических сетей // Международная Российская конференция по автоматизации (РусАвтоКон) 2020. – IEEE, 2020. – С. 175-180.
- [5]. Бросинский С. и др. Роль цифровых двойников в автоматизации и управлении энергосистемами: необходимость, требования и преимущества / К. Бросинский, А. Куммеров, М. Рихтер, А. Науманн, П. Вист, С. Николаи, Д. Вестерманн // Конгресс ETG 2021. – 2021. – С. 1-6.
- [6]. Темкина В. и др. Совершенствование технологии волоконно-оптических датчиков тока для ре-

лейной защиты и коммерческого учета в электросетях / В. Темкина, А. Медведев, А. Майзель, А. Мокеев, Е. Сиволенко // 2020 3-й Международный коллоквиум по интеллектуальной сетевой метрологии (СМАГРИ-МЕТ). – IEEE, 2020. – С. 61-65.

[7]. Ю Х., Хоу Дж., Сюй Х. Исследование модели цифрового двойника Фучуньцзянской ГЭС на основе технологии 3D-лазерного сканирования / Х. Ю, Дж. Хоу, Х. Сюй // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде. – Издательство ИОП, 2021. – Т. 784. – №. 1. – С. 1-16.

[8]. Фергюсон С., Беннетт Э., Иващенко А. Проблемы проектирования цифровых двойных талей / С. Фергюсон, Э. Беннетт, А. Иващенко // WorldPumps. – 2017. – В. 2017. – №. 4. – С. 26-28.

[9]. Повалла Д. и др. Вычислительная гидродинамическая модель водовихревой электростанции как платформа для это- и экогидравлических исследований / Д. Повалла, С. Хёрнер, О. Клейнен, Н. Мюллер, Дж. Стамм, Д. Тевенен // Энергетика. – 2021. – Т. 14. – №. 3. – С. 1-14.

[10]. Рибейро Ф. С. Л. и др. Оптимальная эксплуатация водохранилища гидроэлектростанции Жируа с использованием нелинейной оптимизации / Ф. Д. С. Л. Рибейро, Р. К. Брандао Фильо, А. Р. Гальван Фильо, Р. В. де Карвальо, К. Ж. Козльо // Международная конференция по электротехнике, связи и вычислительной технике (ICESCE) 2020 года. – IEEE, 2020. – С. 1-4.

[11]. Моханпуркар М. и др. Совместное моделирование гидроаккумулирующих установок с регулируемой скоростью в реальном времени для анализа устойчивости в переходных процессах / М. Моханпуркар, А. Оруа, Р. Овсапян, Ю. Луо, М. Сингх, Э. Мулджади, П. Доналек // Электроэнергетические системы Исследовать. – 2018. – Т. 154. – С. 276-286.

[12]. Эбрахими А. Проблемы разработки модели цифрового двойника генераторов возобновляемой энергии // 28-й международный симпозиум IEEE по промышленной электронике (ISIE), 2019. – IEEE, 2019. – С. 1059-1066.

[13]. Хуан Л. и др. Моделирование цифровых двойников и оценка рабочего состояния оборудования подстанций / Л. Хуан, Ю. Лян, Х. Хуан, Дж. Чжоу // 2021 4-я Международная конференция по энергетике, электротехнике и энергетике (SEEPE). – IEEE, 2021. – С. 159-163.

[14]. Курики А. и др. Связь воды, энергии и экосистемы: баланс конкурирующих интересов на русловой гидроэлектростанции с использованием гидролого-экогидравлического подхода / Курики, А. Н. Пиньейро, А. Сордо-Уорд, Л. Гарроте // Преобразование энергии и управление. – 2020. – Т. 223. – С. 1-14.

[15]. Чао З. и др. Электрораспределительная сеть на основе цифрового 3D-двойного панорамного моделирования / З. Чао, Л. Ичжао, Л. Жунгуй, Г. Цзюнь, З. Ми // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020.

– Т. 204. – С. 1-7.

[16]. Шкафы типов ШЭ1110, ШЭ 1111, ШЭ 1112, ШЭ 1113 комплекса унифицированных защит генераторов, трансформаторов и блоков генератор-трансформатор электростанций. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.650323.001 РЭ.

[17]. Расчет уставок релейной защиты блока генератор–трансформатор: учебное пособие / В. Е. Глазырин, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 80 с.

[18]. Бедняк С. Г., Бауман А. А. Цифровые двойники и области их применения // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 26. С. 1539-1544.

[19]. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н. В. Курганова, М. А. Филин, Д. С. Черняев, А. Г. Шаклеин, Д. Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. 2019, vol. 7. № 5. P. 105-115.

[20]. Digital twin-driven product design framework / F. Tao, F. Sui, A. Liu et al. // International Journal of Production Research. 2018. P. 1-19.

[21]. Digital Twin: Generalization, characterization and implementation / E. Van Der Horn, S. Mahadevan // Decision Support Systems. 2021. vol. 145. 113524.

[22]. Digital twin modeling for temperature field during friction stir welding / G. Chen, J. Zhu, Y. Zhao, et al. // Journal of Manufacturing Processes. 2021. № 64. P. 898-906.

[23]. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0 / J. Leng, D. Wang, W. Shen, et al. // 2021. Journal of Manufacturing Systems. № 60. P.119-137.

[24]. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования / А. Н. Васильев, Д. А. Тархов, Г. Ф. Малыхина // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. № 3. С. 521-532.

[25]. Sleiti A., Kapat J., Vesely L. Digital twin in energy industry: Proposed robust digital twin for power plant and other complex capital-intensive large engineering systems // Energy Reports. – 2022. – № 8. – P. 3704- 726;

[26]. Моравель В. И., Борисов В. А. Возможности использования цифровых двойников в задачах электроэнергетики // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». – 2022. – № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98404>.

[27]. Клаус Шваб, Николас Дэвис. Технологии четвертой промышленной революции = Shaping The Fourth Industrial Revolution. – Эксмо, 2018. – 320 с. – ISBN 978-5-04- 095565-7.

[28]. Гривз, Майкл; Викерс, Джон (17 августа 2016). «Цифровой двойник: смягчение непредсказуемого, нежелательного возникающего поведения в сложных системах». Трансдисциплинарные перспек-

тивы сложных систем. – Стр. 85-113. doi:10.1007/978-3-319-38756-7_4, ISBN 978-3-319-38754-3.

[29]. Лопатников Л. И. Чёрный ящик // Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2003. – 520 с.

[30]. Корниенко Е. В., Шиндина Л. Д. Введение // Теория управления: Учебное пособие. – Таганрог: Издатель С. А. Ступин, 2015. – С. 5-7, 170.

[31]. Шарыгин М. В., Куликов А. Л., Вуколов В. Ю., Петров А. А. Адаптивная релейная защита электрических сетей с источниками распределенной генерации // Известия РАН. Энергетика. – 2020. – № 3. – С. 60-68.

[32]. Marcel Geor, Alex Lippitt, Hayden Alves. «Full

digital substation with Process Bus-time synchronization best practice». – Digital Substation. – 2020. – С 39-43.

[33]. H. Sakoe and S. Chiba, Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition, in IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 26, no. 1, pp. 43-49, February 1978, doi: 10.1109/TASSP.1978.1163055.

[34]. A. Fedorov, V. Petrov, O. Afanasieva and I. Zlobina. Limitations of Traveling Wave Fault Location // Ural Smart Energy Conference (USEC) / Ekaterinburg. Russia. 2020. pp. 21-25. doi:10.1109/USEC50097.2020.9281153.

[35]. Чавчанидзе Г. Д. Переходные процессы в электрических цепях. Учебное пособие. – М.: МИИГ, 2007. – 158 с.

References

[1]. Huang J. et al. The application of digital twin on power industry / J. Huang, L. Zhao, F. Wei, B. Cao // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – V. 647. – №. 1. – P. 1-10.

[2]. Parvaresh A. et al. A novel deep learning backstepping controller-based digital twins technology for pitch angle control of variable speed wind turbine / A. Parvaresh, S. Abrazeh, S. R. Mohseni, M. J. Zeitouni, M. Gheisarnejad, M. H. Khooban // Designs. – 2020. – V. 4. – №. 2. – P. 1-19.

[3]. Tao F. et al. Five-dimension digital twin model and its ten applications / F. Tao, W. Liu, M. Zhang, T. Hu, Q. Qi, H. Zhang, Z. Huang // Computer integrated manufacturing systems. – 2019. – V. 25. – №. 1. – P. 1-18.

[4]. Zolin D. S., Ryzhkova E. N. Digital twins for electric grids // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2020. – P. 175-180.

[5]. Brosinsky C. et al. The role of digital twins in power system automation and control: Necessity, requirements, and benefits / C. Brosinsky, A. Kummerow, M. Richter, A. Naumann, P. Wiest, S. Nicolai, D. Westermann // ETG Congress 2021. – 2021. – P. 1-6.

[6]. Temkina V. et al. Improvement of Fiber-Optic Current Sensor Technology for Relay Protection and Commercial Metering in Power Grid / V. Temkina, A. Medvedev, A. Mayzel, A. Mokeev, E. Sivolenko // 2020 3rd International Colloquium on Intelligent Grid Metrology (SMAGRIMET). – IEEE, 2020. – P. 61-65.

[7]. Yu H., Hou J., Xu H. Research on the Digital Twin Model of Fuchunjiang Hydropower Plant Based on 3D Laser Scanning Technology / H. Yu, J. Hou, H. Xu // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – V. 784. – №. 1. – P. 1-16.

[8]. Ferguson S., Bennett E., Ivashchenko A. Digital twin tackles design challenges / S. Ferguson, E. Bennett, A. Ivashchenko // World Pumps. – 2017. – V. 2017. – №. 4. – P. 26-28.

[9]. Powalla D. et al. A computational fluid dynamics model for a water vortex power plant as platform for etho-and ecohydraulic research / D. Powalla, S. Hoerner, O. Cleyne, N. Müller, J. Stamm, D. Thévenin // Energies. – 2021. – V. 14. – №. 3. – P. 1-14.

[10]. Ribeiro F. S. L. et al. Optimal operation of the Jirau hydroelectric power plant reservoir using nonlinear optimization / F. D. S. L. Ribeiro, R. C. Brandão Filho, A. R. Galvão Filho, R. V. de Carvalho, C. J. Coelho // 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE). – IEEE, 2020. – P. 1-4.

[11]. Mohanpurkar M. et al. Real-time co-simulation of adjustable-speed pumped storage hydro for transient stability analysis / M. Mohanpurkar, A. Ouroua, R. Hovsapian, Y. Luo, M. Singh, E. Muljadi, P. Donalek // Electric Power Systems Research. – 2018. – V. 154. – P. 276-286.

[12]. Ebrahimi A. Challenges of developing a digital twin model of renewable energy generators // 2019 IEEE 28th international symposium on industrial electronics (ISIE). – IEEE, 2019. – P. 1059-1066.

[13]. Huang L. et al. Digital Twin Modeling and Operating State Assessment of Substation Equipment / L. Huang, Y. Liang, H. Huang, J. Zhou // 2021 4th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE). – IEEE, 2021. – P. 159-163.

[14]. Kuriqi A. et al. Water-energy-ecosystem nexus: Balancing competing interests at a run-of-river hydropower plant coupling a hydrologic-ecohydraulic approach / Kuriqi, A. N. Pinheiro, A. Sordo-Ward, L. Garrote // Energy Conversion and Management. – 2020. – V. 223. – P. 1-14.

[15]. Chao Z. et al. Power distribution network based on digital 3D twin panoramic modeling / Z. Chao, L. Yizhao, L. Ronggui, G. Jun, Z. Mi // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – V. 204. – P. 1-7.

[16]. Enclosures of types SHE1110, SHE1111,



SHE1112, SHE1113 of a complex of unified protections for generators, transformers and generator-transformer units of power plants. User manual. EKRA.650323.001 RE.

[17]. Calculation of relay protection settings of the generator-transformer unit: textbook / V. E. Glazyrin, A. A. Osintsev, E. I. Frolova. Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2018. – 80 p.

[18]. Bednyak S. G., Bauman A. A. Digital doubles and their applications // Innovation. Science. Education. 2021. – No. 26. – P. 1539-1544.

[19]. Introduction of digital twins as one of the key directions of digitalization of production / N. V. Kurganova, M. A. Filin, D. S. Chernyaev, A. G. Shaklein, D. E. Namiot // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, vol. 7. – № 5. – P. 105-115.

[20]. Digital twin-driven product design framework / F. Tao, F. Sui, A. Liu et al. // International Journal of Production Research. – 2018. – P. 1-19.

[21]. Digital Twin: Generalization, characterization and implementation / E. Van Der Horn, S. Mahadevan // Decision Support Systems. – 2021, vol. 145. 113524.

[22]. Digital twin modeling for temperature field during friction stir welding / G. Chen, J. Zhu, Y. Zhao, et al. // Journal of Manufacturing Processes. – 2021. – № 64. – P. 898-906.

[23]. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0 / J. Leng, D. Wang, W. Shen, et al. // – 2021. – Journal of Manufacturing Systems. – № 60. – P. 119-137.

[24]. Methods of creating digital twins based on neural network modeling / A. N. Vasiliev, D. A. Tarkhov, G. F. Malykhina // Modern information technologies and OT-education. – 2018. – No. 3. – P. 521-532.

[25]. Sleiti A., Kapat J., Vesely L. Digital twin in energy industry: Proposed robust digital twin for power plant and other complex capital-intensive large engineering systems // Energy Reports. – 2022. – № 8. – P. 3704-3726;

[26]. Moravel V. I., Borisov V. A. Possibilities of using digital twins in problems of electric power engineer-

ing // Electronic scientific and practical journal «Modern scientific research and innovations». – 2022. – No. 6. [Electronic resource]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98404>.

[27]. Klaus Schwab, Nicholas Davis. Technologies of the Fourth Industrial Revolution = Shaping The Fourth Industrial Revolution. – Eksmo, 2018. – 320 p. – ISBN 978-5-04- 095565-7.

[28]. Greaves, Michael; Vickers, John (August 17, 2016). «The digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems». Transdisciplinary perspectives on complex systems. – P. 85-113. doi:10.1007/978-3-319- 38756-7_4, – ISBN 978-3-319-38754-3.

[29]. Lopatnikov L. I. Black box // Economic and Mathematical Dictionary: Dictionary of Modern Economics. – 5th ed., reprint. and additional. – M.: Delo, 2003. – 520 p.

[30]. Kornienko E. V., Shindina L. D. Introduction // Theory of management: Textbook. – Taganrog: Izdatel S. A. Stupin, 2015. – P. 5-7. – 170 p.

[31]. Sharygin M. V., Kulikov A. L., Vukolov V. Yu., Petrov A. A. Adaptive relay protection of electric networks with distributed generation sources // Izvestiya RAS. – Energy. – 2020. – No. 3. – P. 60-68.

[32]. Marcel Geor, Alex Lippitt, Hayden Alves. «Full digital substation with Process Bus-time synchronization best practice». – Digital Substation. – 2020. – С 39-43.

[33]. H. Sakoe and S. Chiba. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition, in IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 26, no. 1, pp. 43-49, February 1978, doi: 10.1109/TASSP.1978.1163055.

[34]. A. Fedorov, V. Petrov, O. Afanasieva and I. Zlobina. Limitations of Traveling Wave Fault Location // Ural Smart Energy Conference (USEC) / Ekaterinburg. Russia. – 2020. – P. 21-25. doi: 10.1109/USEC50097.2020.9281153.

[35]. Chavchanidze G. D. Transients in electrical circuits. A study guide. – Moscow: MIIT, 2007, 158 p.

Транслитерация по BSI





ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ВИБРАЦИЙ В МАШИНАХ С ДРОБНЫМИ ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ И ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВОДОРОДНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Бабицкий Д. Ю., Топорков Д. М.

Новосибирский Государственный Технический Университет, проспект Карла Маркса, 20,
Новосибирск, Россия, 630073, тел: +7 (383) 346-13-87, факс: +7 (383) 346-13-87
e-mail: babiczkiy.2013@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.169-178

Заключение совета рецензентов: 16.01.24

Заключение совета экспертов: 29.01.24

Принято к публикации: 31.01.24

В настоящей работе проведено исследование образования магнитных вибраций в электрических машинах с дробными зубцовыми обмотками и постоянными магнитами, предлагаемыми в качестве тягового привода электротранспорта. В рамках исследования рассмотрена конструкция магнитной системы с расположением постоянных магнитов на цилиндрической поверхности ротора. Анализ проведен с использованием метода гармонических составляющих. Получены выражения, описывающие создание радиальных сил, являющихся причиной возникновения вибраций при гладком немагнитном зазоре. Результаты, полученные в настоящей работе, можно использовать при проектировании рассматриваемого класса тяговых двигателей электротранспорта.

Ключевые слова: водородный транспорт, электротранспорт, тяговый электродвигатель, дробные зубцовые обмотки, постоянные магниты, радиальные силы, вибрации.

STUDY OF MAGNETIC VIBRATIONS IN MACHINES WITH FRACTIONAL SLOT CONCENTRATED WINDINGS AND PERMANENT MAGNETS FOR HYDROGEN ELECTRIC TRANSPORT

Babitsky D. Yu., Toporkov D. M.

Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Avenue, 20,
Novosibirsk, Russia, 630073, tel: +7 (383) 346-13-87, fax: +7 (383) 346-13-87
e-mail: babiczkiy.2013@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.169-178

Бабицкий Д. Ю., Топорков Д. М. Исследование магнитных вибраций в машинах с дробными зубцовыми обмотками и постоянными магнитами для водородного электротранспорта // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 169-178

Babitsky D. Yu., Toporkov D. M. Study of magnetic vibrations in machines with fractional slot concentrated windings and permanent magnets for hydrogen electric transport // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 169-178

Current work presents an investigation of the generation of magnetic vibrations in electric machines with fractional slot concentrated windings and permanent magnets, proposed as a traction drive for electric transport, is carried out. The study considers the design of the magnetic system with the location of permanent magnets on the cylindrical surface of the rotor. The analysis is carried out using the method of harmonic components. Expressions describing the creation of radial forces, which are the cause of vibrations, at a smooth non-magnetic gap are obtained. The results obtained in this study can be used in the design of the considered class of traction motors for electric transport.

Keywords: hydrogen transport, electric transport, traction electric motor, fractional slot concentrated windings, permanent magnets, radial forces, vibrations.



Бабицкий
Денис Юрьевич
Babitsky Denis
Yurievich

Сведения об авторе:

Место работы: ассистент кафедры Электромеханики Новосибирского Государственного Технического Университета.

Образование: магистр по специальности «Электроэнергетика и электротехника», Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия, 2019.

Область научных интересов: электроэнергетика, электротехника, электрические машины, разработка электрических двигателей и электрических генераторов.

Публикации: 15 публикаций, в т.ч. 9 в изданиях, индексируемых Scopus. Индекс Хирша РИНЦ – 2.

Elibrary AuthorID: 1101240

SPIN-код: 1954-2201

Scopus Author ID: 57204826306

ORCID: 0000-0002-2044-4675

Information about the author:

Place of employment: assistant at the Department of Electromechanics of Novosibirsk State Technical University.

Education: Master of «Electric engineering and electrical technology», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2019.

Research area: electric engineering, electrical technology, electric machines, design of electric motors and electric generators.

Publications: 15 publications, including 9 in journals indexed by Scopus. RSCI Hirsch index – 2.

Elibrary AuthorID: 1101240

SPIN: 1954-2201

Scopus Author ID: 57204826306

ORCID: 0000-0002-2044-4675



Топорков
Дмитрий
Михайлович
Toporkov
Dmitriy Michailovich

Сведения об авторе:

Место работы: заведующий кафедрой Электромеханики Новосибирского Государственного Технического Университета.

Научное звание: доцент.

Ученая степень: кандидат технических наук.

Образование: магистр по специальности «Электроэнергетика и электротехника», Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия, 2012.

Область научных интересов: электроэнергетика, электротехника, электрические машины, разработка электрических двигателей и электрических генераторов.

Публикации: 67 публикаций, в т.ч. 18 в изданиях, индексируемых Scopus. Индекс Хирша РИНЦ – 5.

Elibrary AuthorID: 731870

SPIN-код: 5689-4827

Scopus Author ID: 56532417100

ORCID: 0000-0002-7606-7936

Information about the author:

Place of employment: Head of the department of Electromechanics of Novosibirsk State Technical University.

Scientific title: Associate Professor

Academic degree: Candidate of Technical Sciences.

Education: Master of «Electric engineering and electrical technology», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2012.

Research area: electric engineering, electrical technology, electric machines, design of electric motors and electric generators.

Publications: 67 publications, including 18 in journals indexed by Scopus. RSCI Hirsch index – 5.

Elibrary AuthorID: 731870

SPIN: 5689-4827

Scopus Author ID: 56532417100

ORCID: 0000-0002-7606-7936



Введение

Общий транспортный сектор генерирует около 30 % общих выбросов; на автомобильный транспорт приходится около 20 % всех выбросов углекислого газа, а на долю легковых автомобилей – 12 % [1]. Загрязнение окружающей среды становится огромной проблемой с точки зрения экономических и социальных издержек, особенно в густонаселенных городских районах. Переход на электрический транспорт позволит снизить выбросы от дорожного движения в городской среде.

Большую часть мировых энергетических потребностей транспорта можно удовлетворить за счет водорода, который является одним из немногих энергоносителей, практически не выделяющих углекислого газа [2, 3]. Водород является привлекательным источником энергии, поскольку его дешево производить, легко транспортировать, а в качестве побочного продукта его использования в топливных элементах при выработке электроэнергии остается только вода. В настоящий момент исследователями рассматривается возможность использования водорода в электро-транспорте [4-7].

На борту водородных транспортных средств размещение водорода возможно в различном виде: газообразном, криогенно жидком, связанном и т.п. [8-22].

В качестве перспективного тягового двигателя электротранспорта можно выделить синхронные машины с возбуждением от ПМ, выполненные с применением ДЗО. Данный тип электрических машин уже хорошо себя зарекомендовал и используется в различных областях промышленности [23-25]. В сравнении с классическими электрическими машинами, такие машины обладают следующими преимуществами: повышенной энергоэффективностью; меньшим расходом активных материалов; улучшенными массогабаритными показателями.

Имеющийся у авторов опыт проектирования рассматриваемого класса машин, а также результаты, приведенные в работах [26-30], показывают, что некоторые типоразмеры машин обладают повышенным уровнем шумов и вибраций, причиной возникновения которых являются магнитные силы, изменяющиеся во времени и пространстве. Наличие вибраций в тяговом узле транспортного средства является негативным фактором в процессе движения, а шумы снижают уровень комфорта пассажиров. Анализ причин образования данных негативных факторов является актуальной задачей, решаемой в рамках настоящей работы.

Таблица сокращений

Список обозначений	
ДЗО	дробная зубцовая обмотка
МДС	магнитодвижущая сила
ПМ	постоянные магниты
Буквы латинского алфавита	
F_r	радиальная сила на единицу площади
r	порядок радиальной силы
$F_{r,m}$	амплитуда гармоники радиальной силы порядка r
t	временная координата
B_δ	магнитная индукция в воздушном зазоре
F	магнитодвижущая сила
F_v	магнитодвижущая сила, создаваемая обмоткой
F_k	магнитодвижущая сила возбуждения, создаваемая постоянными магнитами
q	число пазов на полюс и фазу
c	число катушек в фазной зоне
d	знаменатель дробности q
m_z	число фазных зон
m	число фаз
F_{vm}	амплитуда v -й гармоники магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой
n	порядок пары гармоник магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой
k	номер гармоники магнитодвижущей силы возбуждения, созданной постоянными магнитами
F_{km}	амплитуда k -й гармоники магнитодвижущей силы возбуждения, созданной постоянными магнитами
p	число пар полюсов ротора

Z_1	число пазов статора
F_{v1m}	амплитуда основной прямобегающей магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой
F_{v2m}	амплитуда основной обратнобегающей магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой
F_{klm}	амплитуда основной гармоники магнитодвижущей силы возбуждения, созданной постоянными магнитами
Буквы греческого алфавита	
Ω_r	угловая частота гармоники силы порядка r
α	пространственная координата
Λ	магнитная проводимость воздушного зазора
ν	номер гармоники магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой

ω	частота протекающих по обмотке токов
ω_r	угловая частота вращения ротора
Λ_0	постоянная составляющая магнитной проводимости, соответствующая немагнитному зазору
ε	номер гармоники эквивалентной магнитной проводимости
$\Lambda_{\varepsilon m}$	амплитуда ε -й гармоники эквивалентной магнитной проводимости
μ_0	магнитная постоянная
ν_1	номер основной прямобегающей магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой
ν_2	номер основной обратнобегающей магнитодвижущей силы, создаваемой обмоткой
$\Lambda_{\varepsilon 1 m}$	амплитуда основной гармоники эквивалентной магнитной проводимости

1. Образование радиальных сил в электрических машинах

Вибрации и вызываемый ими шум, причиной которых являются магнитные силы, называют магнитными. В электрических машинах – это радиальные силы, действующие между статором и ротором. Под действием радиальных сил, изменяющихся во времени и пространстве, происходит деформация ярама статора, приводящая к его колебаниям.

Общее выражение бегущей волны радиальной силы имеет вид:

$$F_r(\alpha, t) = F_{r,m} \cos(\Omega_r t - r\alpha) \tag{1}$$

где r – порядок радиальной силы, Ω_r – угловая частота гармоники силы порядка r .

Наиболее важны случаи, когда порядок радиальных сил $r = 0, 1, 2, 3$. Эти силы могут вызывать

значительные деформации статора, поскольку период пространственной волны достаточно велик. С ростом порядка волны плечо силы уменьшается, и амплитуда колебаний падает.

На рисунке 1 изображено пространственное распределение сил различных порядков, вызывающих деформацию кольца статора:

- $r = 0$. На статор оказывается пульсирующее усилие растяжения-сжатия.
- $r = 1$. Одностороннее притяжение ротора к статору.
- $r = 2, 3$. Изгибные деформации статорного кольца. Каждому порядку радиальной силы соответствует своя форма деформации.

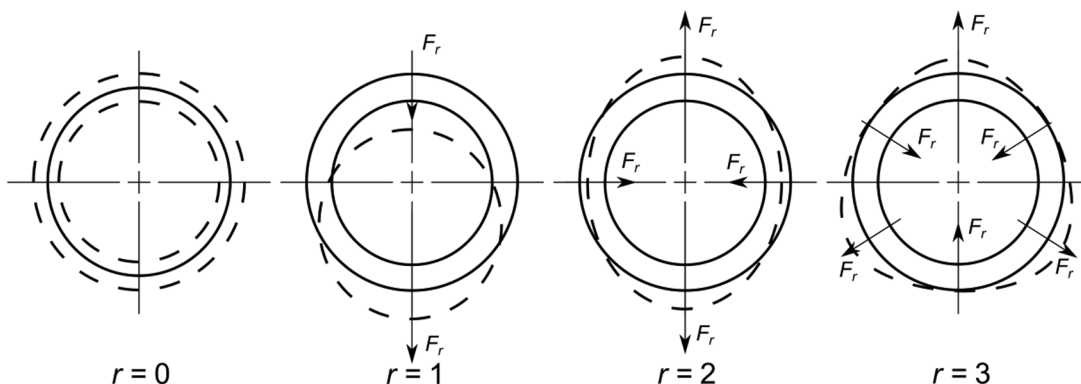


Рис. 1. Влияние радиальных сил на деформацию статора
 Fig. 1. Influence of radial forces on stator deformation

2. Методика расчета радиальных сил

По Максвеллу радиальная сила на единицу площади в любой точке воздушного зазора:

$$F_r(\alpha, t) = \frac{B_\delta^2(\alpha, t)}{2\mu_0}, \quad (2)$$

где $B_\delta(\alpha, t)$ – мгновенное значение магнитной индукции.

Если пренебречь магнитным сопротивлением стали, то мгновенное значение магнитной индукции в данной точке воздушного зазора определяется как:

$$B_\delta(\alpha, t) = [F_v(\alpha, t) + F_k(\alpha, t)] \times \Lambda(\alpha) \quad (3)$$

здесь $F_v(\alpha, t)$ – МДС, создаваемая ДЗО, $F_k(\alpha, t)$ – МДС, создаваемая ПМ, $\Lambda(\alpha)$ – магнитная проводимости воздушного зазора.

Число пазов на полюс и фазу ДЗО определяется выражением:

$$q = \frac{c}{d} < 1. \quad (4)$$

ДЗО образуются из нескольких одинаковых участков, называемых фазными зонами m_z . При этом число фазных зон кратно числу фаз m . Для трехфазных обмоток с нечетным d число фазных зон равно $m_z = 2m = 6$, а для обмоток с четным $d - m_z = m = 3$. Каждая фазная зона состоит из c числа катушек, включённых между собой последовательно, каждая из которых охватывает один зубец [31].

Особенностью рассматриваемого класса обмоток является форма создаваемой МДС. В гармоническом составе МДС присутствуют две основные гармоники, обладающие высокой амплитудой и вращающиеся в противоположных направлениях, каждая из которых может выступать в качестве рабочей. Также присутствует и ряд нерабочих гармоник: субгармоники и высшие гармоники [31].

МДС, созданная трехфазной ДЗО при протекании по ней симметричной системы

токов прямой последовательности:

$$F_v(\alpha, t) = \sum_{v=1}^{\infty} F_{vm} \cos(\omega t \mp v\alpha); \quad (5)$$

где v – номер гармоники МДС, F_{vm} – амплитуда v -й гармоники МДС, ω – частота протекающих по обмотке токов.

Номера гармоник МДС, создаваемых ДЗО, определяются выражением:

$$\mp v = \mp (m_z n \pm 1); \quad (6)$$

где $n = 0, 1, 2, 3 \dots$. В данном выражении верхние знаки относятся к прямобегающим гармоникам МДС, а нижние – к обратобегающим.

Учитывая многообразие конфигураций конструкции роторов с применением ПМ [32-34], кривую МДС возбуждения в общем виде необходимо представить в виде бесконечного гармонического ряда:

$$F_k(\alpha, t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_{km} \cos(kp(\omega_r t - \alpha)), \quad (7)$$

где $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ – номер гармоники МДС, F_{km} – амплитуда k -й гармоники МДС, p – число пар полюсов ротора, ω_r – частота вращения ротора.

В настоящей работе рассмотрен случай, когда воздушный зазор между статором и ротором изменяется вдоль внутренней поверхности сердечника статора машины за счет зубчатой конструкции статора. Данная постановка задачи справедлива при размещении ПМ с радиальной намагниченностью на поверхности цилиндрического ротора, поскольку магнитная проводимость ПМ незначительно отличается от магнитной проводимости воздуха. Пример конструкции такой магнитной системы представлен на рисунке 2.

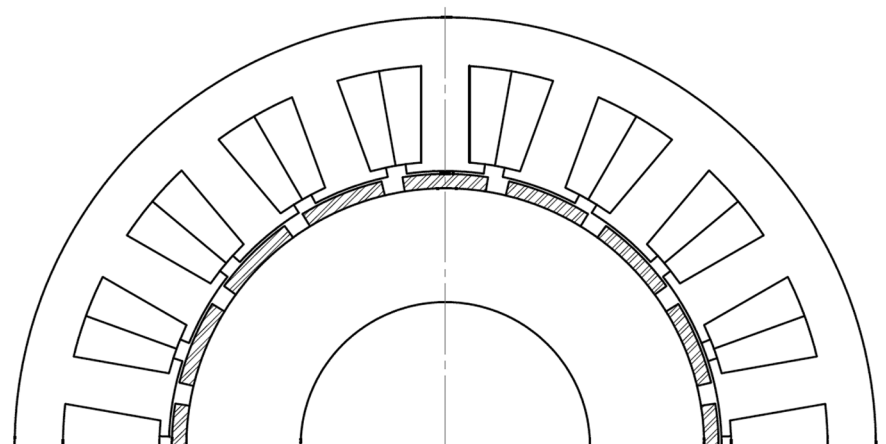


Рис. 2. Эскиз рассматриваемой магнитной системы

Fig. 2. Design of the considering magnetic system



Для исследования явлений в машинах с переменным магнитным сопротивлением вместо реальной зубчатой структуры статора рассматривается модель с гладким воздушным зазором, которому соответствует эквивалентная удельная проводимость воздушного зазора, отражающая действительный пространственный характер распределения зубцовых проводимостей. Для общего описания данную функцию необходимо представить в виде бесконечного гармонического ряда:

$$\Lambda(\alpha) = \Lambda_0 + \sum_{\varepsilon=1}^{\infty} \Lambda_{\varepsilon m} \cos(\varepsilon Z_1 \alpha), \quad (8)$$

где Λ_0 – постоянная составляющая магнитной проводимости, соответствующая немагнитному зазору, Z_1 – число пазов статора, $\varepsilon = 1, 2, 3, \dots$ – порядковый номер гармоники эквивалентный магнитной проводимости.

Используя полученные выражения (5), (7) и (8), удельную радиальную силу можно записать как:

$$F_r(\alpha, t) = \frac{1}{2\mu_0} \times \left\{ \left[\sum_{v=1}^{\infty} F_{vm} \cos(\omega t \mp v\alpha) + \sum_{k=1}^{\infty} F_{km} \cos(kp(\omega_r t - \alpha)) \right] \times \left[\Lambda_0 + \sum_{\varepsilon=1}^{\infty} \Lambda_{\varepsilon m} \cos(\varepsilon Z_1 \alpha) \right] \right\}^2. \quad (9)$$

Данное выражение позволяет определить гармоники МДС обмотки, МДС ПМ и магнитной проводимости, приводящих к образованию радиальных сил любого порядка.

3. Образование радиальных сил низкого порядка при гладком немагнитном зазоре

Наибольший интерес представляют условия создания радиальных сил при взаимодействии основных гармоник рассматриваемых параметров, поскольку они обладают наибольшей амплитудой. В настоящей работе рассмотрена модель, в которой обмотка создает лишь две основные гармоники МДС, ПМ создают

только основную гармонику МДС возбуждения, эквивалентная магнитная проводимость содержит только постоянную составляющую Λ_0 , соответствующую гладкому немагнитному зазору между статором и ротором. Тогда выражение (9) принимает вид:

$$\begin{aligned} F_r(\alpha, t) &= \frac{1}{2\mu_0} \Lambda_0^2 \times \left[F_{v1m} \cos(\omega t - v_1 \alpha) + F_{v2m} \cos(\omega t + v_2 \alpha) + F_{k1m} \cos(p\omega_r t - p\alpha) \right]^2 = \\ &= \frac{1}{2\mu_0} \Lambda_0^2 \times \left[\frac{1}{2} F_{v1m}^2 (1 + \cos(2\omega t - 2v_1 \alpha)) + \frac{1}{2} F_{v2m}^2 (1 + \cos(2\omega t + 2v_2 \alpha)) + \right. \\ &+ \frac{1}{2} F_{k1m}^2 (1 + \cos(2p\omega_r t - 2p\alpha)) + F_{v1m} F_{v2m} \cos(-(v_1 + v_2)\alpha) + F_{v1m} F_{v2m} \cos(2\omega t - (v_1 - v_2)\alpha) + \\ &+ F_{v1m} F_{k1m} \cos((\omega - p\omega_r)t - (v_1 - p)\alpha) + F_{v1m} F_{k1m} \cos((\omega + p\omega_r)t - (v_1 + p)\alpha) + \\ &\left. + F_{v2m} F_{k1m} \cos((\omega - p\omega_r)t + (v_2 + p)\alpha) + F_{v2m} F_{k1m} \cos((\omega + p\omega_r)t + (v_2 - p)\alpha) \right]. \quad (10) \end{aligned}$$

Порядок создаваемой радиальной силы определяется коэффициентом при α . Электрические машины с ДЗО выполняются многополюсными, т.е. v_1, v_2 и p имеют высокий порядок. Таким образом, ряд функций выражения (10) не приводит к образованию низкочастотных радиальных сил.

Одна из функций выражения (10) не изменяется

во времени и имеет только пространственное распределение. Такая составляющая радиальной силы только показывает наличие постоянной силы вдоль воздушного зазора и не вызывает колебаний статора.

Исключив функции, не образующие искомым радиальных сил, можно переписать выражение (10):

Порядок гармоник МДС, создаваемых ДЗО,

$$\begin{aligned} F_r(\alpha, t) &= \frac{1}{2\mu_0} \Lambda_0^2 \times \left[F_{v1m} F_{v2m} \cos(2\omega t - (v_1 - v_2)\alpha) + \right. \\ &+ F_{v1m} F_{k1m} \cos((\omega - p\omega_r)t - (v_1 - p)\alpha) + F_{v1m} F_{k1m} \cos((\omega + p\omega_r)t - (v_1 + p)\alpha) + \\ &\left. + F_{v2m} F_{k1m} \cos((\omega - p\omega_r)t + (v_2 + p)\alpha) + F_{v2m} F_{k1m} \cos((\omega + p\omega_r)t + (v_2 - p)\alpha) \right]. \quad (11) \end{aligned}$$



определяется выражением (6). Таким образом, создаваемые гармоники МДС будут отличаться для обмоток с $m_z = 6$ и $m_z = 3$. Номера основных гармоник МДС

обмотки зависят от числа с катушек в фазной зоне и определяются выражениями:

$$\mp v_{1,2} = m_z \frac{c}{2} \pm 1 = 6 \times \frac{c}{2} \pm 1 - \text{для обмоток с } m_z = 6, \quad (12)$$

$$\mp v_{1,2} = m_z \frac{c \mp 1}{2} \pm 1 = 3 \times \frac{c \mp 1}{2} \pm 1 - \text{для обмоток с } m_z = 3, \quad (13)$$

где верхние знаки относятся к прямобегающей гармонике, а нижние – к обратнотекущей.

Рассмотрим первое слагаемое выражения (11), отражающее взаимодействие гармоник МДС, созданных обмоткой между собой. Коэффициент при α определяется как:

$$r = v_1 - v_2 = \left(m_z \frac{c}{2} + 1 \right) - \left(m_z \frac{c}{2} - 1 \right) = -2 - \text{для обмоток с } m_z = 6, \quad (14)$$

$$r = v_1 - v_2 = \left(m_z \frac{c-1}{2} + 1 \right) - \left(m_z \frac{c+1}{2} - 1 \right) = 1 - \text{для обмоток с } m_z = 3. \quad (15)$$

Другие слагаемые выражения (14) отражают возможность создания радиальных сил при взаимодействии гармоник МДС обмотки с гармониками МДС возбуждения. Число пар полюсов возбуждения может быть выполнено для работы на любой основной гармонике МДС обмотки, т.е. $p = v_1$, или $p = v_2$. Аргументы этих функций выражения (11):

$$\begin{cases} (\omega \mp p\omega_r) t - (v_1 \mp p) \alpha \\ (\omega \mp p\omega_r) t + (v_2 \pm p) \alpha \end{cases}$$

Для коэффициентов при α вида $(v-p)$ имеет место образование радиальной силы порядка $r = 0$, кото-

рая образуется при взаимодействии гармоники МДС возбуждения с гармоникой МДС обмотки, имеющих одинаковый порядок.

Для случая, когда гармоника МДС возбуждения взаимодействует со второй основной гармоникой МДС обмотки, обладающей противоположным направлением вращения, имеет место образование радиальной силы порядка $r = 2$ для обмоток с $m_z = 6$ или $r = 1$ для обмоток с $m_z = 3$. Выражение коэффициента при α для данного случая аналогично (14) и (15), однако эти силы имеют различное изменение во времени, которое определяется коэффициентом при t .

Заключение

В настоящей работе получено выражение для определения радиальных сил, возникающих между статором и ротором в электрических машинах с ДЗО и ПМ. Представлены выражения радиальных сил, образованных при взаимодействии гармоник, обладающих наибольшей амплитудой, МДС обмотки, и МДС возбуждения при гладком немагнитном зазоре. Показано, что в электрических машинах с ДЗО, имеющих шесть фазных зон, имеют место радиальные силы порядка $r = 2$, вызывающие изгибные деформации статорного кольца и искривляющие статор к форме эллипса. В машинах с ДЗО с тремя фазными зонами имеют место радиальные силы порядка $r = 1$, вызывающие одностороннее притяжение ротора к статору. Образование данных радиальных сил обусловлено наличием в гармоническом составе МДС, созданной обмоткой, двух основных гармоник с высокой амплитудой. Существуют различные

способы снижения нерабочих гармоник МДС обмотки, сравнение которых представлено в [35]. Применение конструктивного решения, позволяющего снизить одну из основных гармоник МДС обмотки, приведет к уменьшению магнитных вибраций. Результаты, полученные в настоящей работе, можно использовать при проектировании рассматриваемого класса тяговых двигателей электротранспорта для улучшения их виброакустических характеристик.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ, научный проект № С23-15 «Анализ добавочных электромагнитных сил в электрических машинных с дробными зубцовыми обмотками с магнитоэлектрическим возбуждением».

Список литературы

- [1]. European Union. Commission plans legislative framework to ensure the EU meets its target for CO₂ emissions for cars. [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_07_155 (дата обращения 20.09.23 г.)
- [2]. Road map to a US reducing emissions and driving growth across the nation. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study> (дата обращения 20.09.23 г.)
- [3]. Greene D. L., Ogden J. M., Lin Z. Challenges in the designing, planning and deployment of hydrogen refueling infrastructure for fuel cell electric vehicles // ETransportation. – 2020. – Т. 6. – С. 100086.
- [4]. Parreira A., Viveiros C., Fonte P. Hydrogen as the fuel of the future and its application in electric mobility // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). – IEEE, 2022. – С. 1-6.
- [5]. Jahan I., Islam M. A., Farrok O. Hydrogen Fuel Cell Based Low Power DC Motor Driven Energy Efficient Electric Vehicle: A Comparative Analysis // 2022 4th International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI). – IEEE, 2022. – С. 1-6.
- [6]. Ometto A. A novel high efficiency hybrid power unit for hydrogen-fueled city transit bus/ Ometto A. [и др.] // 2019 Electric Vehicles International Conference (EV). – IEEE, 2019. – С. 1-5.
- [7]. D'Ovidio G., Masciovecchio C., Rotondale N. City bus powered by hydrogen fuel cell and flywheel energy storage system // 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC). – IEEE, 2014. – С. 1-5.
- [8]. Gusev A. L., Kazaryan M. A. Hydrogen Storage. Bayer Material Science (BMS) & The International Science and Technology Center (ISTC) // Research Conference. – 2007. – С. 40-41.
- [9]. Gusev A. L., Malozemova E. P., Veziroglu T. N., Hampton M. D. LH₂ ultra-long storage technology // Collection of abstracts of the IX International Student Scientific Conference «Polar Lights – 2006». Nuclear Future: Security, Economics and Law. – 2006. – С. 182-184.
- [10]. Gusev A. L. Electrosorption phenomena in layers of shield-vacuum heat insulation of hydrogen reservoirs // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE). – 2007. – Т. 4.
- [11]. Gusev A. L., Kazaryan M. A. Hydrogen Storage // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE). – 2007. – Т. 4.
- [12]. Gusev A. L., Kazaryan M. A. Hydrogen Storage. Bayer Material Science (BMS) & The International Science and Technology Center (ISTC) // Research Conference. – 2007. – С. 40-41.
- [13]. Gusev A. L. Main environmental problems of the Nizhny Novgorod region and the transition to a hydrogen economy. // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. – 2006. – Т. 1. – С. 13-24.
- [14]. Gusev A. L. Hydrogen for Progress. The Second International Conference Alternative sources of energy for big cities. – 2006. – С. 22.
- [15]. Frederic A. Lewis. Hydrogen Economy Forum in Russia. Second International Symposium on Safety and Economy of Hydrogen Transport // Platinum Metals Review. – 2003. – № 47. – Т. 4.
- [16]. Nechaev Yu. S., Filippov G. A., Gusev A. L. On the experimental and theoretical basis of developing a super hydrogen carbonaceous adsorbent for fuel-cell-powered vehicles // In: Book of Abstracts of 7th Biennial International Workshop «Fullerenes and Atomic Clusters» (IWFAC'2005). – 2005.
- [17]. Nechaev Yu. S., Gusev A. L., Gupta B. K., Srivastava O. N., Veziroglu T. N. On the experimental and theoretical basis developing a «super» hydrogen adsorbent // In: Transactions of International conference «Solid State Hydrogen Storage – Materials and Applications». – 2005.
- [18]. Nechaev Yu. S., Filippov G. A., Gusev A. L. On the experimental and theoretical basis of developing a super hydrogen carbonaceous adsorbent for fuel-cell-powered vehicles // In: Book of Abstracts of 7th Biennial International Workshop «Fullerenes and Atomic Clusters» (IWFAC'2005). – 2005.
- [19]. Nechaev Yu. S., Gusev A. L., Gupta B. K., Srivastava O. N., Veziroglu T. N. On the experimental and theoretical basis developing a «super» hydrogen adsorbent // In: Transactions of International conference «Solid State Hydrogen Storage – Materials and Applications». – 2005.
- [20]. Yu. S. Nechaev, A. L. Gusev, B. K. Gupta, O. N. Srivastava, T. N. Veziroglu. On using graphite nanofibers for hydrogen on-board storage // In: Transactions of International conference «Solid State Hydrogen Storage – Materials and Applications», 2005.
- [21]. Gusev A. L., Naumchik I. V., Penkov M. M. Increasing the safety of hydrogen systems based on optimal placement of hydrogen detectors in the thermal insulation cavities of containers and pipelines // International scientific journal Alternative energy and ecology. – 2008. – Т. 7. – С. 20-24.
- [22]. Gusev A. L. Low-temperature sensors and absorbers of hydrogen // International scientific journal for Alternative energy and ecology. – 2003. – Т. 1. – С. 110-114.
- [23]. Shevchenko A. F. Direct-drive electromechanical steering booster for passenger cars / Shevchenko A. F. [и др.] // Russian Electrical Engineering. – 2007. – Т. 78. – С. 478-480.
- [24]. Shevchenko A. F. Multipole synchronous machines with fractional $q < 1$ tooth windings and excitation with permanent magnets // Russian electrical engineering. – 2007. – Т. 78. – №. 9. – С. 451-455.
- [25]. Shevchenko A. F. Construction and design features of permanent magnet electric motors for general industrial purposes/ Shevchenko A. F. [и др.] // Russian Electrical Engineering. – 2014. – Т. 85. – С. 748-751.
- [26]. Li Y. Noise and vibration characteristics analysis on different structure parameters of permanent magnet synchronous motor / Li Y. [и др.] // 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). – IEEE, 2013. – С. 46-49.
- [27]. Zou J. Analysis of global and local force harmonics and their effects on vibration in permanent

magnet synchronous machines / Zou J. [и др.] // IEEE Transactions on energy conversion. – 2017. – Т. 32. – №. 4. – С. 1523-1532.

[28]. Chen Y. S., Zhu Z. Q., Howe D. Vibration of PM brushless machines having a fractional number of slots per pole // IEEE Transactions on Magnetics. – 2006. – Т. 42. – №. 10. – С. 3395-3397.

[29]. Xia Z. P. et al. Comparison of radial vibration forces in 10-pole/12-slot fractional slot surface-mounted and interior PM brushless AC machines / Xia Z. P. [и др.] // The XIX International Conference on Electrical Machines-ICEM 2010. – IEEE, 2010. – С. 1-6.

[30]. Zhu S. Unequal teeth design to reduce electromagnetic vibration in fractional-slot concentrated-windings permanent-magnet machine / Zhu S. [и др.] // Journal of Magnetics. – 2019. – Т. 24. – №. 4. – С. 657-667.

[31]. Shevchenko A. F., Chestyunina T. V. Analysis of magnetomotive forces of fractional-slot windings of electrical machines // Russian Electrical Engineering. – 2009. – Т. 80. – №. 12. – С. 641-645.

[32]. Charih F. Performances comparison of PM machines with different rotor topologies and similar slot and pole numbers / Charih F. [и др.] // International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. – IEEE, 2012. – С. 56-59.

[33]. Dajaku G. Novel rotor design with reduced rare-earth material for PM machines / Dajaku G. [и др.] // 2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC). – IEEE, 2019. – С. 1-7.

[34]. Chau K. T., Chan C. C., Liu C. Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2008. – Т. 55. – №. 6. – С. 2246-2257.

[35]. Babitskii D. Y. Methods to improve the harmonic composition of the magnetic field in electric machines with fractional slot winding / Babitskii D. Y. [и др.] // Russian Electrical Engineering. – 2021. – Т. 92. – №. 6. – С. 320-325.

References

[1]. European Union. Commission plans legislative framework to ensure the EU meets its target for CO₂ emissions for cars. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_07_155 (access date 20.09.23).

[2]. Road map to a US reducing emissions and driving growth across the nation. URL: <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study> (access date 20.09.23).

[3]. Greene D. L., Ogden J. M., Lin Z. Challenges in the designing, planning and deployment of hydrogen refueling infrastructure for fuel cell electric vehicles // ETransportation, 2020. vol. 6. p. 100086.

[4]. Parreira A., Viveiros C., Fonte P. Hydrogen as the fuel of the future and its application in electric mobility // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). – IEEE, 2022. – P. 1-6.

[5]. Jahan I., Islam M. A., Farrok O. Hydrogen Fuel Cell Based Low Power DC Motor Driven Energy Efficient Electric Vehicle: A Comparative Analysis // 2022 4th International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI). – IEEE, 2022. – P. 1-6.

[6]. Ometto A. A novel high efficiency hybrid power unit for hydrogen-fueled city transit bus / Ometto A. [et al.] // 2019 Electric Vehicles International Conference (EV). IEEE, 2019. – P. 1-5.

[7]. D'Ovidio G., Masciovecchio C., Rotondale N. City bus powered by hydrogen fuel cell and flywheel energy storage system // 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC). – IEEE, 2014. – P. 1-5.

[8]. Gusev A. L., Kazaryan M. A. Hydrogen Storage. Bayer Material Science (BMS) & The International Science and Technology Center (ISTC) // Research Conference, 2007. – P. 40-41.

[9]. Gusev A. L., Malozemova E. P., Veziroglu T. N., Hampton M. D. LH₂ ultra-long storage technology // Collection of abstracts of the IX International Student

Scientific Conference «Polar Lights – 2006». Nuclear Future: Security, Economics and Law, 2006. – P. 182-184.

[10]. Gusev A. L. Electrosorption phenomena in layers of shield-vacuum heat insulation of hydrogen reservoirs // Alternative Energy and Ecology (ISJAE), 2007, vol. 4.

[11]. Gusev A. L., Kazaryan M. A. Hydrogen Storage // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE), 2007, vol. 4.

[12]. Gusev A. L., Kazaryan M. A. Hydrogen Storage. Bayer Material Science (BMS) & The International Science and Technology Center (ISTC) // Research Conference, 2007. – P. 40-41.

[13]. Gusev A. L. Main environmental problems of the Nizhny Novgorod region and the transition to a hydrogen economy. // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, 2006. vol. 1. p. 13-24.

[14]. Gusev A. L. Hydrogen for Progress. The Second International Conference Alternative sources of energy for big cities, 2006. – P. 22.

[15]. Frederic A. Lewis. Hydrogen Economy Forum in Russia. Second International Symposium on Safety and Economy of Hydrogen Transport // Platinum Metals Review, 2003. – № 47. – Vol. 4.

[16]. Nechaev Yu. S., Filippov G. A., Gusev A. L. On the experimental and theoretical basis of developing a super hydrogen carbonaceous adsorbent for fuel-cell-powered vehicles // In: Book of Abstracts of 7th Biennial International Workshop «Fullerenes and Atomic Clusters» (IWAFA'2005), 2005.

[17]. Nechaev Yu. S., Gusev A. L., Gupta B. K., Srivastava O. N., Veziroglu T. N. On the experimental and theoretical basis of developing a «super» hydrogen adsorbent // In: Transactions of International conference «Solid State Hydrogen Storage – Materials and Applications», 2005.

[18]. Nechaev Yu. S., Filippov G. A., Gusev A. L. On the experimental and theoretical basis of developing a super hydrogen carbonaceous adsorbent for fuel-cell-



powered vehicles // In: Book of Abstracts of 7th Biennial International Workshop «Fullerenes and Atomic Clusters» (IWAFAC'2005), 2005.

[19]. Nechaev Yu. S., Gusev A. L., Gupta B. K., Srivastava O. N., Veziroglu T. N. On the experimental and theoretical basis developing a «super» hydrogen adsorbent // In: Transactions of International conference «Solid State Hydrogen Storage – Materials and Applications», 2005.

[20]. Yu. S. Nechaev, A. L. Gusev, B. K. Gupta, O. N. Srivastava, T. N. Veziroglu. On using graphite nanofibers for hydrogen on-board storage // In: Transactions of International conference «Solid State Hydrogen Storage – Materials and Applications», 2005.

[21]. Gusev A. L., Naumchik I. V., Penkov M. M. Increasing the safety of hydrogen systems based on optimal placement of hydrogen detectors in the thermal insulation cavities of containers and pipelines // International scientific journal Alternative energy and ecology, 2008. – Vol. 7. – P. 20-24.

[22]. Gusev A. L. Low-temperature sensors and absorbers of hydrogen // International scientific journal for Alternative energy and ecology, 2003. – Vol. 1. – P. 110-114.

[23]. Shevchenko A. F. Direct-drive electromechanical steering booster for passenger cars / Shevchenko A. F. [et al.] // Russian Electrical Engineering, 2007. – Vol. 78. – P. 478-480.

[24]. Shevchenko A. F. Multipole synchronous machines with fractional $q < 1$ tooth windings and excitation with permanent magnets // Russian electrical engineering, 2007. – Vol. 78. – №. 9. – P. 451-455.

[25]. Shevchenko A. F. Construction and design features of permanent magnet electric motors for general industrial purposes / Shevchenko A. F. [et al.] // Russian Electrical Engineering, 2014. – Vol. 85. – P. 748-751.

[26]. Li Y. Noise and vibration characteristics analysis on different structure parameters of permanent magnet synchronous motor / Li Y. [et al.] // 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). IEEE, 2013. – P. 46-49.

[27]. Zou J. Analysis of global and local force harmonics and their effects on vibration in permanent

magnet synchronous machines / Zou J. [et al.] // IEEE Transactions on energy conversion, 2017. – Vol. 32. – №. 4. – P. 1523-1532.

[28]. Chen Y. S., Zhu Z. Q., Howe D. Vibration of PM brushless machines having a fractional number of slots per pole // IEEE Transactions on Magnetics. – 2006. – Vol. 42. – №. 10. – P. 3395-3397.

[29]. Xia Z. P. et al. Comparison of radial vibration forces in 10-pole/12-slot fractional slot surface-mounted and interior PM brushless AC machines / Xia Z. P. [et al.] // The XIX International Conference on Electrical Machines-ICEM 2010. IEEE, 2010. – P. 1-6.

[30]. Zhu S. Unequal teeth design to reduce electromagnetic vibration in fractional-slot concentrated-windings permanent-magnet machine / Zhu S. [et al.] // Journal of Magnetics. – 2019. – Vol. 24. – №. 4. – P. 657-667.

[31]. Shevchenko A. F., Chestyunina T. V. Analysis of magnetomotive forces of fractional-slot windings of electrical machines // Russian Electrical Engineering. – 2009. – Vol. 80. – №. 12. – P. 641-645.

[32]. Charif F. Performances comparison of PM machines with different rotor topologies and similar slot and pole numbers / Charif F. [et al.] // International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. IEEE, 2012. – P. 56-59.

[33]. Dajaku G. Novel rotor design with reduced rare-earth material for PM machines / Dajaku G. [et al.] // 2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC). IEEE, 2019. – P. 1-7.

[34]. Chau K. T., Chan C. C., Liu C. Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2008. – Vol. 55. – №. 6. – P. 2246-2257.

[35]. Babitskii D. Y. Methods to improve the harmonic composition of the magnetic field in electric machines with fractional slot winding / Babitskii D. Y. [et al.] // Russian Electrical Engineering. – 2021. – Vol. 92. – №. 6. – P. 320-325.

Транслитерация по BSI





ВОЗМОЖНОСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВОДОРОДНОГО РЫНКА В КАЗАХСТАНЕ



**Куришбаев А.¹, Габдуллин М.², Аманжолова Р.², Эм Т.², Сагин Ж.²,
Бурлибаева Д.³, Алиханов К.⁴, Серикканов А.⁴, Сарсекова Д.¹, Кинг Р.²**

¹ Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан,
rector@kaznaru.edu.kz, sarsekova.dani@kaznaru.edu.kz

² Казахско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан,
m.gabdullin@kbtu.kz, r_amanzholova@kbtu.kz, t_em@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz, r.king@kbtu.kz

³ Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан,
diana.burlibayeva@yandex.kz

⁴ Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан,
k.alikhanov.nas@gmail.com, a.serikkanov.nas@gmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.179-207

Заключение совета рецензентов: 18.01.24

Заключение совета экспертов: 22.01.24

Принято к публикации: 31.01.24

Казахстан является одной из стран мира, наиболее пострадавших от изменения климата и нехватки воды. Последствиями стало изменение режима осадков, более частые экстремальные температуры и увеличение засушливости. Водную безопасность большинство стран мира связывают с важностью научных инвестиций, форум-сайт-исследований в программы адаптации к глобальному изменению климата, антропогенных чрезвычайных событий, увеличением частоты и продолжительности наводнений, засух и пожаров, с ростом населения, интенсивности сельского хозяйства, индустриализации, приводящей к снижению уровня грунтовых вод. Влажность почвы на уровне корней снижается, усиливая процессы опустынивания и засоления почв. В связи с этим стратегией многих стран становится увеличение инвестиций в программы научных исследований воды-почвы, прямая кооперация с совместными научно-практическими исследованиями агентств чрезвычайной безопасности и сельского хозяйства, широкое вовлечение населения в совместные программы с учеными-исследователями. В представленном обзоре проанализированы и предложены варианты усиления устойчивого развития Казахстана с более эффективным использованием водных ресурсов и развитием внутреннего водородного рынка. В Казахстане рассматриваются варианты регионов производства водорода, в том числе на Западе Казахстана, Мангистауской области, с использованием воды Каспийского озера. Альтернативный вариант, обсуждаемый в данном обзоре, связан с созданием мощностей по производству водорода в Северном Казахстане, где будет ис-

Куришбаев А., Габдуллин М., Аманжолова Р., Эм Т., Сагин Ж., Бурлибаева Д., Алиханов К., Серикканов А., Сарсекова Д., Кинг Р. Возможности эффективного использования водных ресурсов и водородного рынка в казахстане // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 179-207
Kurishbaev A., Gabdullin M., Amanzholova R., Em T., Sagin J., Burlibayeva D., Alikhanov K., Serikkanov A., Sarsekova D., King R. Foresight for efficient use of water resources and the hydrogen market in kazakhstan // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 179-207

пользоваться часть воды от 16,5 куб. км воды, ежегодно уходящей в Северный Ледовитый океан из Казахстана через Россию. Кроме того, в Северном Казахстане имеются мощности по производству электроэнергии, уголь. В кооперации с Россией может быть использован природный газ, а также водные ресурсы России, в том числе из Северного Ледовитого океана. Изменение климата, повышение температуры ведет к повышению уровня океанов – прибрежные зоны океанов, острова будут уходить под воду. Стимулирование развития технологий по использованию вод из сточных рек, впадающих в океаны, становится актуальным во многих странах мира.

Ключевые слова: Central Asia, foresight, вода, водород, Казахстан, наводнения, засухи, устойчивое развитие.

FORESIGHT FOR EFFICIENT USE OF WATER RESOURCES AND THE HYDROGEN MARKET IN KAZAKHSTAN

Kurishbaev A.¹, Gabdullin M.², Amanzholova R.², Em T.², Sagin J.², Burlibayeva D.³, Alikhanov K.⁴, Serikkanov A.⁴, Sarsekova D.¹, King R.²

¹ Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan,
rector@kaznaru.edu.kz, sarsekova.dani@kaznaru.edu.kz

² Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan,
m.gabdullin@kbtu.kz, r_amanzholova@kbtu.kz, t_em@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz, r.king@kbtu.kz

³ Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan,
diana.burlibayeva@yandex.kz

⁴ National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan,
k.alikhanov.nas@gmail.com, a.serikkanov.nas@gmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.179-207

Referred: 18.01.24

Received in revised form: 22.01.24

Accepted: 31.01.24

Kazakhstan is one of the countries in the world most affected by climate change and water shortages. The consequences include changes in precipitation patterns, more frequent extreme temperatures, and increased aridity. Most countries of the world associate water security with the importance of scientific investments, foresight studies in adaptation programs to global climate change, man-made emergency events, an increase in the frequency and duration of floods, droughts and fires, population growth, agricultural intensity, industrialization leading to a decrease in water levels. groundwater. Soil moisture at the root level decreases, intensifying the processes of desertification and soil salinization. In this regard, the strategy of many countries is to increase investment in water-soil scientific research programs, direct cooperation with joint scientific and practical research of emergency security agencies and agriculture, and widespread involvement of the population in joint programs with research scientists. The presented review analyzes and proposes options for strengthening the sustainable development of Kazakhstan with more efficient use of water resources and the development of the domestic hydrogen market. In Kazakhstan, scenarios and regions for hydrogen production are being considered, including in Western Kazakhstan, the Mangystau region, using the water of the Caspian Lake. The alternative region is considered in this review involves the creation of hydrogen production facilities in Northern Kazakhstan, which will use part of the water from 16.5 cubic meters. km of water that annually flows into the Arctic Ocean from Kazakhstan through Russia. In addition, in Northern Kazakhstan there are capacities to produce electricity with big coal reserves. In cooperation with Russia, natural gas can be used, as well as Russian water resources, including those from the Arctic Ocean. Climate change and rising temperatures lead to rising ocean levels; coastal zones of the oceans and islands will go under water. Stimulating the development of technologies for the use of water from the rivers flowing into the oceans is becoming relevant in many regions of the world.

Keywords: Central Asia, foresight, water, hydrogen, Kazakhstan, floods, drought, sustainable development.



Куришбаев
Ахылбек
Кажигулович
Kurishbayev Akhylbek
Kazhigulovich

Сведения об авторе: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный аграрный университет.

Область научных интересов: сельское и водное хозяйство.
<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>

Author information: doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Kazakh National Agrarian University.

Research area: agriculture and water management.
<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>



Габдуллин
Маратбек
Тулeбергенoвич
Gabdullin Maratbek
Tulebergenovich

Сведения об авторе: PhD, кандидат физико-математических наук, профессор, Казахстанско-Британский технический университет (КБТУ).

Область научных интересов: физика плазмы, наноматериалы и нанотехнологии, водородная энергетика.
<https://orcid.org/0000-0003-4853-3642>

Author information: PhD, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Kazakh-British Technical University (KBTU).

Research area: Plasma Physics, Nanomaterials and Nanotechnology, Hydrogen Energy.
<https://orcid.org/0000-0003-4853-3642>



Аманжолова
Раушан Шапагатовна
Amanzholova Raushan
Shapagatovna

Сведения об авторе: магистр, Казахский агротехнический университет.

Область научных интересов: умные города и умные системы, водная инженерия.
<https://orcid.org/0000-0001-9129-1074>

Author information: MS, Kazakh Agrotechnical Research University.

Research area: Smart city and smart system, water engineering.
<https://orcid.org/0000-0001-9129-1074>



Эм
Тимур Олегович
Em Timur Olegovich

Сведения об авторе: магистр, Казахстанско-Британский Технический университет.

Область научных интересов: информационные системы, водные ресурсы, программирование.
<https://orcid.org/0009-0007-6859-1053>

Author information: MS, Kazakh-British Technical University.

Research area: Information technologies, water resources, programming.
<https://orcid.org/0009-0007-6859-1053>



Сагинтаев
Жанай Матаевич,
Sagin Janay

Сведения об авторе: PhD, Западно-Мичиганский Университет, КБТУ, профессор.

Область научных интересов: Инженерная Геоматика, Водные ресурсы.
https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=h0V2zs4AAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

Author information: PhD, Western-Michigan University, KBTU, professor.

Research area: Geomatics Engineering, Water Resources.
https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=h0V2zs4AAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate





Бурлибаева
Диана Маликовна
Diana Burlibaeva

Сведения об авторе: PhD, Институт географии и водной безопасности, Казахстан.
Область научных интересов: Гидрология, гидрохимия, экологический сток.
<https://orcid.org/0000-0002-2385-8611>

Author information: PhD, Institute of Geography and Water Security, Kazakhstan.

Research area: Hydrology, Hydrochemistry, Ecological flow.
<https://orcid.org/0000-0002-2385-8611>



Алиханов
Куантар Дауленович
Alikhanov Kuantar
Daulenovych

Сведения об авторе: PhD, Казахский национальный аграрный университет, Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан.
Область научных интересов: сельское хозяйство.
<https://orcid.org/0000-0001-9514-7678>

Author information: PhD, Kazakh National Agrarian University, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Research area: Agriculture.
<https://orcid.org/0000-0001-9514-7678>



Серикканов
Абай Серикканович
Serikkanov Abay
Serikkanovich

Сведения об авторе: кандидат физико-математических наук, Физико-технический институт, Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан.
Область научных интересов: возобновляемая энергетика, водные ресурсы.
<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>

Author information: Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Physics and Technology, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Research area: Renewable energy, water resources.
<https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>



Сарсекова
Дани Нургисаевна
Sarsekova Dani
Nurgisaevna

Сведения об авторе: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Казахский национальный аграрный университет.
Область научных интересов: лесопользащитные лесные полосы, лесная гидрология, изменение климата.
<https://orcid.org/0000-0003-0537-4936>

Author information: Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian University.

Research area: Forest shelterbelts, forest hydrology, climate change.
<https://orcid.org/0000-0003-0537-4936>



Кинг Ребекка
King Rebecca

Сведения об авторе: бакалавр гуманитарных наук в области географии, Делавэрский университет.
Область научных интересов: геопроцессорные технологии.
<https://orcid.org/0009-0000-9098-9411>

Author information: Bachelor of Arts in Geography, University of Delaware.

Research area: Geospatial Technology.
<https://orcid.org/0009-0000-9098-9411>



Таблица сокращений

<i>Буквы латинского алфавита</i>	
106C: 16N:1P	(C)углерод, (N) азот, (P) фосфор, соотношение-коэффициент Редфилда для анализа процессов фотосинтеза растений устойчивого поступления элементов
CERC	CanadaExcellenceResearchChairs, Руководители передовых исследований Канады
FEMA HAZUS	FederalEmergencyManagementAgency, Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям моделирование ЧС
Flood- MAR	ManagedAquiferRecharge, наводнения-Пополнение водоносного горизонта, управление паводками
ASR	AquiferStorageandRecovery, Хранение и восстановление водоносных горизонтов
Ag-MAR	Agriculture-ManagedAquiferRecharge, сельское хозяйство-Пополнение водоносного горизонта для CX
SDR	SocialDiscountRate, социальные ставки дисконтирования
SRTP	SocialRateofTimePreference, социальная норма временных предпочтений
SOC	Socialopportunitycostofcapital, социальная альтернативная стоимость капитала
SWAT	SoilandWaterAssessmentTool, оценочное моделирование состояния почвы и воды
RRBC	RedRiverBasinCommission, Бассейновый совет Красной реки
DWPI	Derwent World Patents Index, Мировой патентный индекс Дервент
IPC	International Patent Classification, Международная патентная классификация
SMR	Steam methane reforming, Паровая конверсия метана
HRS	Hydrogenrefuelingstations, водородные заправочные станции

CCUS	Carbon Capture, UsageandStorage; Улавливание, использование и хранение углерода
NRCan	Natural Resources Canada; Природные ресурсы Канады
CI	Carbon Intensity; Углеродная ёмкость
ATR	Auto-thermal reforming; Автотермический риформинг
SAPIF	Saudi Arabian Public Investment Fund; Государственный инвестиционный фонд Саудовской Аравии
<i>Буквы русского алфавита</i>	
СХ	Сельское хозяйство
ЧС	Чрезвычайное событие
ЭУ	Экосистемные услуги
МПК	Международная патентная классификация
ПЭМ	Полимерно-электролитные мембраны.
ЕС	Европейский союз
ПАО	Публичное акционерное общество
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
МЭА	Международное энергетическое агентство
ЦА	Центральная Азия
<i>Размерности</i>	
км ³	Кубический километр
см ³	Кубический сантиметр
мм ³	Кубический миллиметр
%	Процент
°С	Градус Цельсия



Введение

Казахстан является одним из регионов мира, наиболее пострадавших от изменения климата и нехватки воды. Изменение режима осадков, более частые экстремальные температуры с увеличением усиления пиков наводнений и увеличение засухливости – всё это оказывает негативное воздействие на устойчивое развитие экономики, сельскохозяйственное производство, ставя под угрозу продовольственную и экологическую безопасность [1]. Водную безопасность большинство стран мира связывает с важностью научных инвестиций, форсайт-исследований в программы адаптации к глобальному изменению климата, антропогенных чрезвычайных событий, увеличением частоты и продолжительности наводнений, засух и пожаров, с ростом населения, интенсивности сельского хозяйства, индустриализации, приводящей к снижению уровня грунтовых вод [2]. Влажность почвы на уровне корней снижается, тем самым усиливаются процессы опустынивания и засоления. [3]. В связи с этим многие страны выбрали своей стратегией: увеличение инвестиций в программы научных исследований воды-почвы; прямую кооперацию с совместными научно-практическими исследованиями агентств по чрезвычайной безопасности и сельскому хозяйству; широкое вовлечение населения в совместные программы с учеными-исследователями. Оптимальное решение многих проблем, как и лечение многих болезней людей, связано с правильной диагностикой болезни. Также успешность проведения любого проекта базируется на правильной диагностике ситуации, мониторинге прошлого, прогноза, анализа будущего, оценке текущих ресурсов, моделировании на правдивых входных данных, адаптации потребностей технологий на том, что реально есть. Как и в любой семье – оптимально жить по доходам, сопоставляя свои расходы. Большинство проблем водных ресурсов связано со следующими факторами: слабой научной поддержкой профессионального проектного управления водными ресурсами, с научно необоснованным финансовым прогнозом расходов, с отсутствием рабочей кооперации, с отсутствием единых баз данных платформ моделирования различных ведомств и министерств Казахстана – включая ведомства чрезвычайных ситуаций, водного и сельского хозяйства, внутренних дел и индустрии. В качестве решения проблемы водных ресурсов предлагается использовать стратегию единого взаимосвязанного организма – объединить в общую базу-платформу: гидрометеорологию осадков; перемещение поверхностно-подземных вод; точки

потребителей; точки болезней, заражения, плохого качества воды – все это с научной оценкой финансовых расходов на смоделированный спрогнозированный участок проблемы. Многие страны в настоящее время интенсивно вкладываются в научные работы ученых-исследователей, в развивающие прикладные научные программы по сельскому хозяйству (СХ), адаптированные к чрезвычайным ситуациям (ЧС): наводнениям, засухам, пожарам, землетрясениям. В программы финансирования вовлекаются страховые компании. Усиливаются полномочия ученых-исследователей прикладных Институтов Водной Безопасности по управлению практическими программами СХ, речными бассейновыми комитетами, включая трансграничные. Акцентируется внимание на более эффективном использовании системы восполнения, возобновления подземных вод; экономии финансовых расходов путем устранения строительства поверхностных дамб, резервуаров. Предлагаются различные возможности эффективного использования водных ресурсов и водородного рынка в Казахстане. Казахстан нацелен на увеличение забора воды из Каспийского моря для реализации проекта HYRASIA ONE по производству зеленого водорода с инвестициями в 50 миллиардов евро. Анализ эффективности и альтернативы таким проектам практически отсутствует. Требуются более устойчивые программы, способные убедить и повлиять на лица, принимающие решения в Казахстане, в ЦА. Потенциалом для производства и устойчивого использования природного «белого» водорода на подземных геологических «фабриках» в Казахстане являются альтернативные исследования ресурсов подземных вод. Казахстан богат природными ресурсами – рудными породами, обогащенными железом, минералами, ураном, которые необходимы для реакций серпентинизации железорудных пород и по урановым реакциям распада радиолиза с выделением природного водорода из подземных вод. Исследования подземных геологических «фабрик» требуют значительных усилий и нуждаются в стимулировании развития в Казахстане. Правильная классификация подземных вод и научные исследования необходимы для разделения ресурсов питьевых подземных вод, колодцев и территорий, где потенциально могут располагаться подземные геологические «фабрики», производящие природный «белый» водород. Анализ возможностей для масштабной целевой программы по улучшению устойчивости водных ресурсов с развитием водородного рынка проаннотирован в данной работе.

1. Права, полномочия и финансирование ведущих ученых Водной Безопасности

По аналогии действующих в Канаде-США программ Canada US Excellence Research Chairs (CERC, https://www.cerc.gc.ca/about-au_sujet/index-eng.aspx)

оптимально предоставить права и финансирование ведущим ученым с инновационными технологиями (Рис. 1).

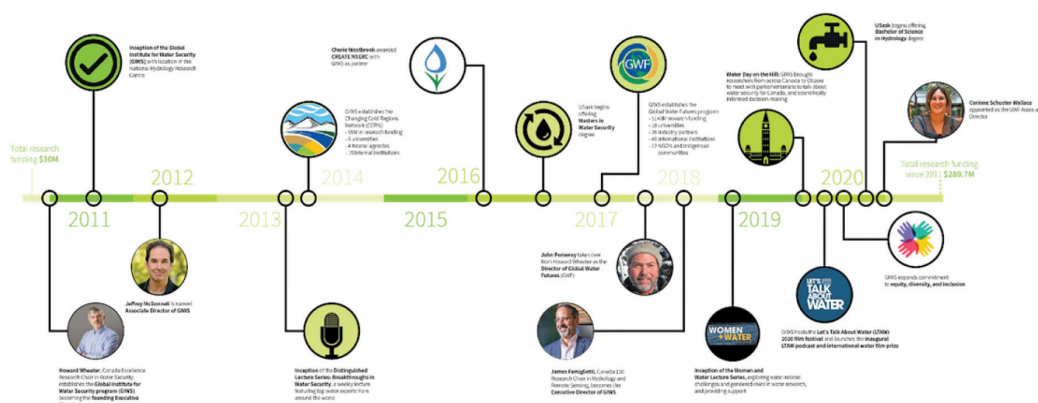


Рис. 1. Диаграмма Института Водной Безопасности с финансированием водных проектов ученых-исследователей Саскатчеванского Бассейна Канады-США с 30 миллионов долларов в 2011 году до 290 миллионов долларов в 2020 году [4]

Fig. 1. Institute for Water Security diagram with funding for water projects of scientists in the Saskatchewan Basin of Canada-USA from 30 million dollars in 2011 to 290 million dollars in 2020 [4]

2. Моделирование ЧС с финансовой аналитикой FEMA HAZUS США Канада

Адаптировать Единую геоинформационную базу данных моделирования чрезвычайных ситуаций Канады-США FEMA HAZUS (<https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus>) по предоставлению стандартизированных инструментов и данных для оценки риска землетрясений, наводнений, ураганов,

засух, пожаров с экономическим анализом и сценариями планирования финансовых расходов (Рис. 2) в кооперации со страховыми компаниями, Министерствами СХ, ЧС, водных ресурсов и ирригации (ВРИ) Казахстана.



Рис. 2. Единая геоинформационная база данных моделирования чрезвычайных ситуаций FEMA HAZUS по оценке рисков землетрясений, наводнений, ураганов, засух, пожаров с финансовыми расчетами [5]

Fig. 2. Unified geographic information database for modeling emergency situations FEMA HAZUS for assessing the risks of earthquakes, floods, hurricanes, droughts, fires with financial expenses calculation [5]

Экономическая польза, эффективность от внедрения проактивных действий, мероприятий заранее до ЧС, использование комбинированных действий с технологиями FEMA HAZUS оценены Федеральным Агентством по ЧС 1:10. Каждый доллар, вложенный заранее до ЧС, экономит до 10 долларов на послед-

ствиях ЧС [6]. По мере того, как число и стоимость погодных и климатических катастроф усиливаются, Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям FEMA США все больше инвестирует в проактивные действия подготовки для эффективного реагирования на них. Каждый год в течение последних пяти лет в

США происходит более 20 бедствий стоимостью более 20 миллиардов долларов [6]. Стратегия FEMA США – стать более дальновидным, а не реактивным. Изменение климата требует планирования на десятилетия вперед, но в прошлом это не входило в обязанности FEMA. Сейчас же FEMA США интенсивно вкладывается в исследовательские работы по модели-

рованию сценариев по ЧС на десятки лет вперед.

В Министерстве ЧС Казахстана программы, аналогичные FEMA HAZUS США, плохо отработаны. При инвестициях в программы, аналогичные FEMA HAZUS, нескольких миллионов долларов, система может сэкономить десятки миллионов долларов на последствиях ЧС Казахстана.

3. Накопление паводковых вод в подземных горизонтах Flood-MAR

Адаптировать программы Канады-США Flood-MAR (<https://floodmar.org/>) по накоплению дренажных паводковых вод по технологиям искусственного восполнения подземных вод. Зависимость от поверхностных вод и строительство водохранилищ создают экологические проблемы с потерями воды в виде

испарений. США-Канада, осознавая свои ошибки, устраняют поверхностные водохранилища и развивают больше технологий Flood-MAR по использованию и восполнению подземных водных ресурсов для последующего применения подземных вод во время засух (Рис. 3).

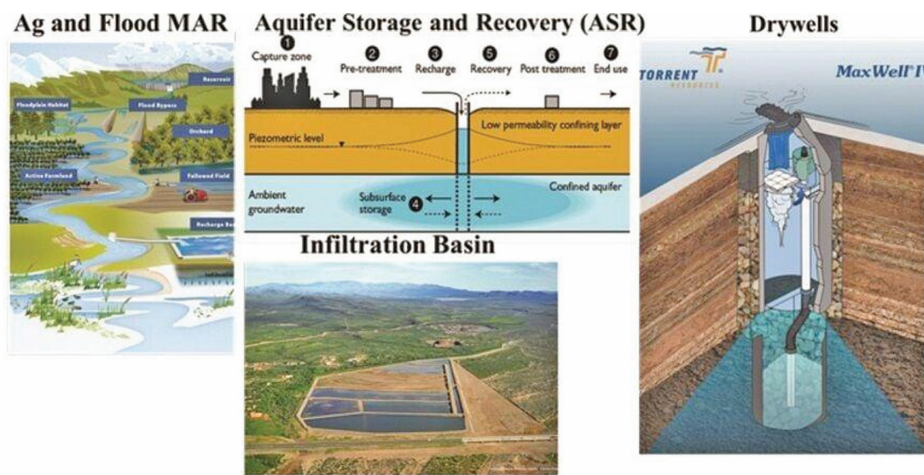


Рис. 3. Схемы различных управляемых систем пополнения водоносных горизонтов [7]
 Fig. 3. Different Managed Aquifer Recharge (MAR) technologies [7]

В США в Калифорнии, ввиду усиления кризиса с водой, правительство призывает население, фермеров использовать больше технологии Flood-MAR, стимулируя финансированием грантами и льготными кредитами, наряду с этим прекратив поддержку строительства дамб-резервуаров [8]. Польза, эффективность от внедрения программ Flood-MAR – в повышении гибкости в управлении водными ресурсами, устойчивости к засухе, в региональной самодостаточности увеличения водоснабжения, защите от наводнений [9]. Инвестиции в Flood-MAR имеют высокую отдачу. MAR обеспечивает ценные социальные выгоды и способствует сохранению ресурсов подземных вод [10]. Не существует единого мнения относительно подходящего метода оценки социальной ставки дисконтирования (SDR) для проектов социальной инфраструктуры. Двумя наиболее часто используемыми альтернативами являются социальная норма временных предпочтений (SRTP) и социальная альтернативная стоимость капитала (SOC). SRTP – это скорость, с которой общество готово отложить единицу текущего потребления в обмен на большее потребление в будущем. При использовании этого подхода, не-

давние оценки SDR в Великобритании находились в диапазоне 3,5-3,75 %. Совет экономических консультантов США предлагает проверить на чувствительность предложения по социальной инфраструктуре с использованием альтернативных ставок дисконтирования, предлагая ставки 3 % и 7 %. При использовании чувствительности затрат и выгод MAR к изменениям ставки дисконтирования с использованием ставок 3 %, 5 % и 8 % и выгод схем MAR, исходя из срока жизни проекта 30 и 50 лет [9]. В то же время, если проанализировать экономический эффект от Flood-MAR с позиции рационального использования бюджетных финансов на ЧС по наводнениям, то по оценке Федерального Агентства FEMA США по ЧС – 1:10 – на каждый доллар, вложенный заранее до ЧС, экономится до 10 долларов на последствиях ЧС [6]. При расходах в 10 миллионов долларов на последствиях наводнений, внедрение технологий Flood-MAR может сэкономить 9 миллионов долларов, при начальной инвестиции заранее в 1 миллион долларов на Flood-MAR. Более того, эффективность использования для сельского хозяйства Ag-MAR демонстрирует, что существует потенциал для увеличения региональ-

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

ного пополнения запасов на 7-13 %, увеличения потребления сельскохозяйственных культур на 9-12 % и увеличения потребления естественной растительности – на 20-30 %. Ag-MAR имеет большой потенциал для повышения долгосрочной устойчивости водных ресурсов в сельскохозяйственных регионах [11].

4. Единая ГИС базы данных моделирования Министерств СХ Канады-США SWAT

Адаптировать Единую геоинформационную базу данных моделирования Министерства СХ Канады-США SWAT (<https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool>, <https://www.weg.uoguelph.ca/weg-model-development/>), мониторинга состояния почв и водных ресурсов, с моделированием качества и количества поверхностных и грунтовых вод, прогнозирования воздействия на окружающую среду землепользования, с методами управления земельными ресурсами и изменением климата. SWAT (Рис. 4) широко используется для оценки предотвращения и борьбы с эрозией почвы, контроля загрязнения из рассредоточенных источников и регионального управления в водоразделах [12].

В Казахстане Министерства ЧС, Водных ресурсов и Сельского хозяйства дезинтегрированы, каждое Министерством само по себе. Совместные программы кооперации, аналогичные Flood-MAR, в Казахстане плохо отработаны.

SWAT в денежное выражение, аналогично FEMA HAZUS США по ЧС. Обе программы моделирования используются на геоинформационной платформе как plug-in вставки с системы обработки ГИС данных и имеют единые ГИС стандарты [13]. В дополнение к тому, что SWAT может быть использован в тандеме с FEMA HAZUS США по ЧС, SWAT способствует более эффективному планированию и использованию водных ресурсов с анализом почвы и расходов удобрений с качеством воды. SWAT позволяет фермерским хозяйствам оптимизировать расходы до 70 % с подготовкой моделей оптимального переустройства землепользования со всех посевов и пастбищных угодий по анализу чистой приведенной стоимости десяти-



Рис. 4. База данных моделирования программа Министерств СХ Канады-США SWAT мониторинга состояния почв и водных ресурсов с моделированием качества и количества поверхностных и грунтовых вод и прогнозирования воздействия на окружающую среду землепользования, с методами управления земельными ресурсами и изменения климата, источник [12].

Инструменты моделирования имитируют функционирование экосистем и их взаимодействие с деятельностью человека, помогая принимать решения и оценивать стратегии управления. Это приводит к принятию обоснованных решений, которые балансируют человеческое развитие и защиту окружающей среды. Среди этих моделей Инструмент оценки почвы и воды (SWAT) выделяется своей способностью моделировать множество биофизических процессов, которые могут быть связаны с предоставлением экосистемных услуг (ЭУ). SWAT успешно применяется для оценки ЭУ, дополнительно помогая переводить результаты

тилетних прибылей ферм и коэффициентов экономической эффективности снижения нагрузки США [14]. Если, к примеру, расходы фермера составляют около 10000 долларов, то при эффективном использовании технологий моделирования SWAT расходы можно оптимизировать до 70 %, а это 7000 долларов, и тогда у фермера будет меньшая сумма расходов – около 3000 долларов.

В Казахстане программы аграрного моделирования, аналогичные программам моделирования Министерства СХ США SWAT, плохо отработаны.

5. Бассейновые комитеты для адаптации в Центральной Азии

В Канаде-США применяется научное совместное управление трансграничными речными бассейнами, такими как: Саскачеванский речной бассейн, Глобальный Институт Водной Безопасности, Бассейновый комитет Канады-США Canada-US Red River Basin Commission (<https://www.redriverbasincommission.org/>). Создание аналогичных комитетов в Центральной Азии, в том числе Казахстана с Киргизией по совместному владению водными ресурсами, водохранилищами; обоюдной ответственностью содержания, финансирования, ведения безопасности, подготовке единой геоинформационной базы данных моделирования чрезвычайных ситуаций FEMA HAZUS по оценке риска землетрясений, наводнений, засух, а также накоплению вод Flood-MAR, позволит более эффективно сотрудничать по ЧС. Академии, совместно с Министерствами СХ, ЧС, ВРИ Казахстана, усилить работу бассейновых комитетов (Рис. 5, 6) с вовлечением ученых; создать пилотную программу научно-исследовательских программ по Чу-Таласкому Бассейновому Комитету, в составе двух областей Кыргызстана, Чуйской и Талаской, а также Жамбылской области Казахстана, в кооперации с бассейновыми комитетами и Институтами Водной Безопасности Канады-США (<https://water.usask.ca/>, <https://waterforfood.nebraska.edu/>). Ученым Академии наладить программы исследований, обучения, повышения

квалификации и прямого участия в конференциях, совместных проектах Канады-США с Казахстаном и Кыргызстаном.

Бассейновое управление через бассейновые комитеты позволяет более эффективно и открыто управлять водными ресурсами речных бассейнов самим жителям, фермерам, организациям, находящимся в бассейне рек. Риски ЧС снижаются, водопотребление на единицу выращенной продукции становится более прогнозируемым. Устраняется дорогостоящая бюрократическая система административного министерского управления, водные ресурсы управляются бассейновыми пользователями водных ресурсов. Финансовый доход увеличивается в несколько раз при одинаковом объеме используемой воды на единицу выращенной продукции путем согласованного использования программ прогноза, таких как FEMA HAZUS США, Flood-MAR, SWAT.

Потенциал для устойчивого развития заключается в сокращении расходов на дорогостоящие бюрократические системы администрирования и внедрение современных технологий с правом собственности на ресурсы жителей, пользователей водными ресурсами в пределах бассейна, преобразованием прав на воду с системой рыночных экологических программ водопользования с возможностями для естественного самовосстановления водных ресурсов.

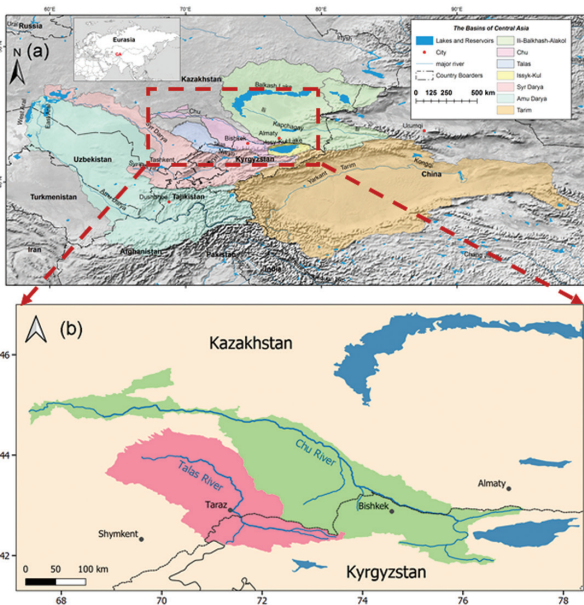


Рис. 5. (а) Бассейны Южной Центральной Азии.

(б) Бассейн рек Чу-Талас Киргизстан-Казахстан

Fig. 5. (a) Basins of South Central Asia. (b) Chu-Talas Basin, Kyrgyz-Kazakhstan

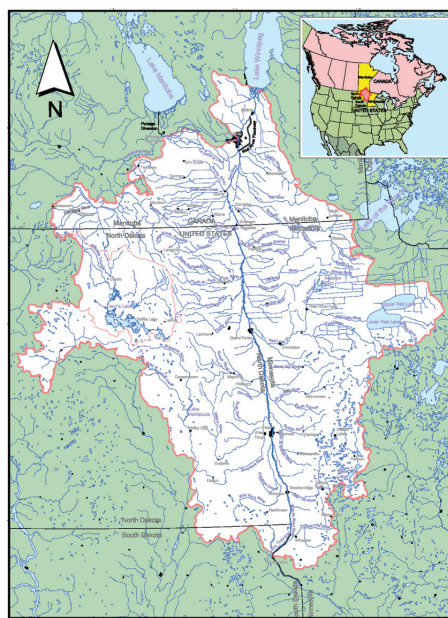


Рис. 6. Один из трансграничных бассейнов Канады-США [4]

Fig. 6. One of the Canada-US transboundary basins [4]

SPACE

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

SPACE

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

6. Снего-, водо-, лесозащитные полосы со сбором паводков Flood-MAR

Адаптировать программы Канады-США Министерств СХ по научным программам повышения лесистости, обязать землепользователей к обеспечению посадок и содержанию леса вдоль всех водоемов на расстоянии от берега эквидистантной полосой, рав-

ной ширине водоема, мест накопления снего- водо- задержания (<https://forestthreats.org/news/in-the-news/us-forests-provide-83-million-people-with-half-their-water-threat-center-science-highlighted-by-american-geophysical-union>).

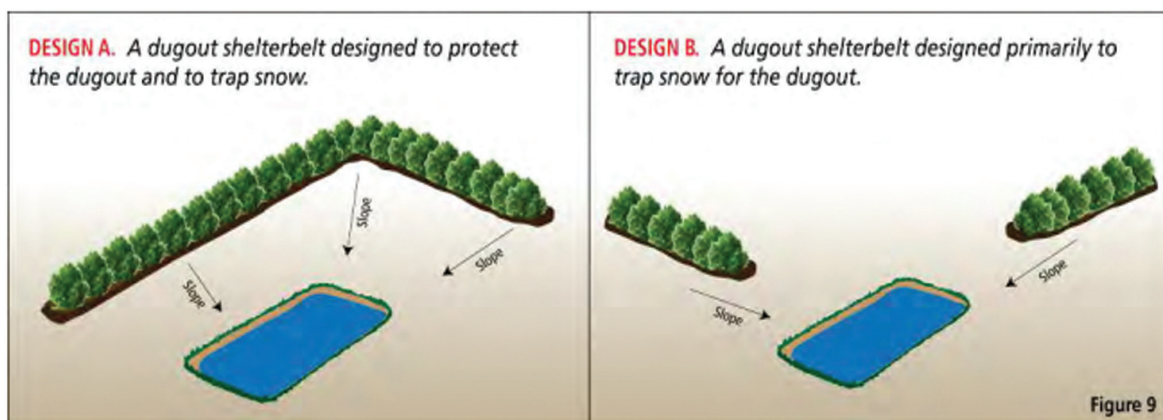


Рис. 7. Программы Канады-США Министерств СХ по научным программам повышения лесистости, обязанности землепользователей к обеспечению посадок и содержанию леса вдоль водоемов, накоплению снего-паводков [15]

Fig. 7. The Canada-USA Ministries of Agriculture programs to increase forest cover by requiring the land users to ensure planting and maintenance of forests along reservoirs to increase the snow accumulation and flood mitigation activities [15]

Программы комбинированного использования лесонасаждений для снего- водоудержания с технологиями Flood-MAR интенсивно продвигаются в США-Канаде с дружелюбными инструкциями, программами повышения квалификации в колледжах с грантовой системой стимулирования населения фермеров. В среднем общая продуктивность системы комбинированного использования лесонасаждений для сельских полей увеличивается на 30 % по сравнению с обычным выращиванием сельхозкультур. Финансовые выгоды варьируются в зависимости от типа внедренной Агролесомелиоративной системы [16]. Финансовые выгоды от Агролесоводства можно, в основном, оценивать четырьмя различными

критериями:

- а) критерий прямого вывода из компонента дерева/кустарника;
 - б) критерий косвенного усиления производительности, вызванного компонентами деревьев/кустарников;
 - в) критерий уменьшения количества внешних факторов при поддержке деревьев/кустарников [17].
- В дополнение – расширение экосистемных услуг, таких, как повышение устойчивости, увеличение биоразнообразия, уменьшение углерода и улучшение качества воды с более стабильной предсказуемой системой водообеспечения путем снего- водоудержания по технологиям Flood-MAR.

7. Тренды по развитию водородных хабов

В реализации водородно-водных программ эффективное производство водорода является одной из важнейших задач. Комплексный анализ патентов, связанных с производством водорода, проведен за 2018-2023 годы. Исследование с использованием индекса мировых патентов, данных Derwent World Patents Index (DWPI, Web of Science, Clarivate Analytics) [19], включает библиометрический анализ, оценку технологий и обновление технологий в области производства водорода. Проанализированы технологии, используемые для производства водорода и освещены последние технологические обновления в производстве водорода, которые включают новые источники получения водорода, разработку устройства, обновленный метод обработки и разработку катализаторов.

Водород считается зеленой или чистой системой, поскольку водород можно производить из возобновляемого сырья, такого как вода и биомасса. Китай, США, Япония лидируют по количеству публикаций о патентах на водород. Анализ кодов Международной патентной классификации (МПК) International Patent Classification (IPC) [20] показывает, что электролиз стал доминирующим методом производства водорода: за 10 лет было опубликовано в общей сложности 611 патентов. Следом за ним следует разложение неорганических соединений, таких как аммиак, с использованием различных методов, таких как термическое разложение и фотолит, с 464 патентами, выданными за тот же период.

Краткое описание способов получения водорода, их преимущества и недостатки

Метод	Преимущества	Недостатки
<p>Паровая конверсия метана Steam methane reforming (SMR) [4, 5]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – На данный момент это самый дешевый и устойчивый способ производства водорода в промышленных масштабах. – Процесс очень энергоэффективен: на каждый килограмм произведенного водорода расходуется относительно мало энергии. 	<ul style="list-style-type: none"> – В качестве основного сырья используют ископаемое топливо, особенно природный газ. – Этот процесс также приводит к значительным выбросам углекислого газа в качестве побочного продукта, что способствует изменению климата.
<p>Частичное окисление Partial oxidation [6, 7, 8]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обеспечивает более высокий выход водорода по сравнению с SMR. – Гибкость в выборе сырья, поскольку в качестве сырья можно использовать различные углеводороды, включая природный газ, пропан и жидкое топливо. – Может быть интегрирован с технологиями улавливания углерода для смягчения воздействия на окружающую среду. 	<ul style="list-style-type: none"> – Производит оксид углерода и диоксид углерода в качестве побочного продукта, что способствует выбросам парниковых газов, если не используются технологии улавливания и хранения углерода (CCS). – Потребляет значительное количество энергии, поскольку процесс требует высоких температур.
<p>Автотермический риформинг Auto-thermal reforming [7, 10]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Более высокий выход водорода по сравнению с частичным окислением, что делает его более эффективным при производстве водорода. – Производимый синтез-газ можно отрегулировать так, чтобы он имел желаемое соотношение водорода и монооксида углерода, что делает его пригодным для различных последующих процессов, включая синтез метанола. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вырабатывает углекислый газ в качестве побочного продукта, что способствует выбросам парниковых газов. – Требуются значительные затраты энергии для достижения и поддержания высоких температур, что влияет на общую энергоэффективность.
<p>Разложение аммиака Ammonia decomposition [11, 12, 13]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Потенциальный метод получения водорода без выбросов углекислого газа, что делает его экологически чистым методом. – Аммиак содержит высокое содержание водорода, что делает его потенциальным носителем для хранения и транспортировки водорода. 	<ul style="list-style-type: none"> – Требуют высоких температур и могут быть энергоемкими, что может повлиять на общую эффективность. – Зависимость от катализатора, что делает этот метод реакции сложным и дорогостоящим.
<p>Электролиз Electrolysis [4, 14, 15, 16]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Экологичный метод производства водорода, поскольку он может работать от возобновляемых источников, таких как солнечная или ветровая энергия. – В процессе не образуются вредные побочные продукты, что делает его очень экологически чистым. 	<ul style="list-style-type: none"> – Для работы требуется значительное количество энергии, что делает его менее эффективным, чем SMR. – Оборудование, необходимое для этого процесса, может быть дорогим, что может привести к увеличению стоимости производства водорода.
<p>Газификация биомассы Biomass gasification [4, 13, 20]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Газификация биомассы является возобновляемым и устойчивым источником производства водорода с использованием органических отходов, таких как древесина, сельскохозяйственные или пищевые отходы. – Этот процесс также производит другие ценные побочные продукты, такие как биоуголь, который можно использовать в качестве удобрения для почвы. 	<ul style="list-style-type: none"> – Газификация биомассы не так эффективна, как SMR или электролиз, а выход водорода ниже, чем в этих процессах. – Этот процесс может оказаться более сложным в управлении и эксплуатации, поскольку требует тщательного контроля температуры и давления.
<p>Фотобиологическое и фотоэлектрохимическое расщепление воды. Photobiological and photoelectrochemical water splitting [19, 21, 22]</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Оба метода являются экологически чистыми методами производства водорода, поскольку в них можно использовать солнечную энергию в качестве основного источника энергии. – Эти процессы не производят никаких вредных побочных продуктов, что делает их очень экологически чистыми. 	<ul style="list-style-type: none"> – Оба метода все еще находятся на экспериментальной стадии и еще не получили эффективного масштабирования для промышленного производства. – Процесс требует дорогостоящего оборудования, что может увеличить стоимость производства водорода.

Метод	Преимущества	Недостатки
Плазменный реформинг Plasma reforming [23, 24, 25]	<ul style="list-style-type: none"> – Потенциал производства зеленого водорода при использовании возобновляемого сырья. – Можно использовать универсальное сырье, включая природный газ, биогаз, биомассу и отходы. – Эффективно преобразовывать углеводороды в водород без выбросов углекислого газа. 	<ul style="list-style-type: none"> – Энергоемкость, поскольку процесс требует значительного количества электроэнергии для генерации и поддержания плазменной дуги, что может повлиять на ее стоимость. – Требует сложных инженерных и эксплуатационных требований из-за экстремальных температур и контроля плазмы. – Все еще находится на ранней стадии разработки и требует дальнейших исследований и оптимизации.

Оценка тенденций патентной активности по странам дает представление о потенциальном рынке водорода по странам. Учитывая потенциал водорода, значительные усилия в области исследований и разработок направляются на производство и применение водорода внутри стран. Многие страны активно инвестируют в эту область исследований. Ниже представлена тенденция патентной активности по странам. Лидируют Китай, США, Япония по количеству выданных патентов на технологию производства водорода, продемонстрировав существенный рост патентной активности, начиная с 2018 года до 2023 года. Европа, Австралия, Южная Корея также активно участвуют в патентной деятельности, связанной с

технологией производства водорода. Страны стали ведущими в области водородных технологий благодаря таким факторам, как сильная государственная поддержка, стратегическое планирование, рыночный потенциал, технологический прогресс и совместные инновации [26]. Четко определенная национальная водородная стратегия страны с четкими целями способствовала скоординированным усилиям и комплексному планированию в водородном секторе. Чтобы поддержать развитие водородных технологий, правительства стран ввели политику развития водородных программ, осуществляя интенсивное финансирование научных исследований (Рис. 8).

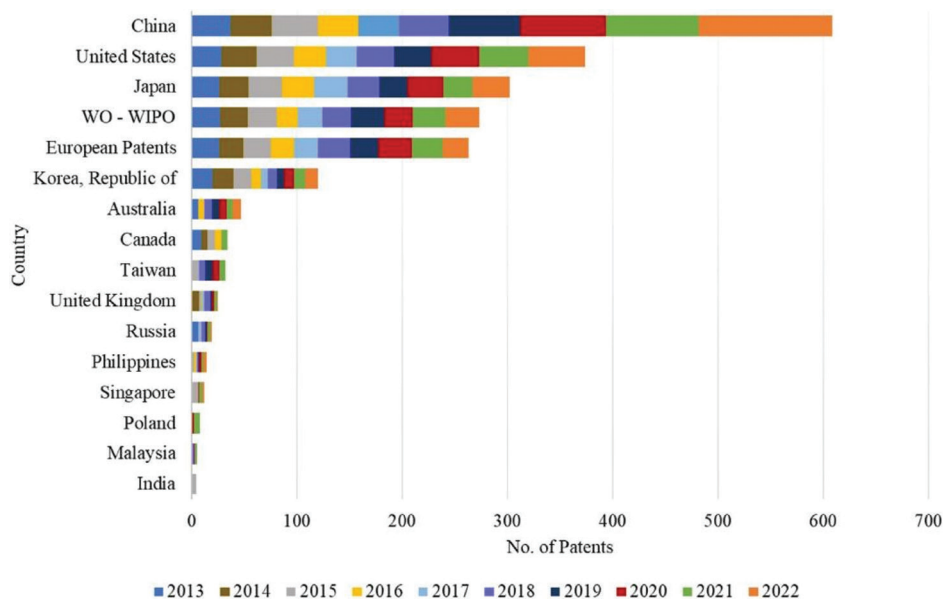


Рис. 8. Динамика патентных публикаций по странам мира [26]
Fig. 8. Dynamics of patent publications by countries [26]

Патентный анализ с использованием кодов Международной патентной классификации (МПК) International Patent Classification (IPC) [20], как показано на рис. 9, представляет преобладающие технологические тенденции в производстве водорода. Электролиз воды является доминирующим методом:

за последнее пятилетие было опубликовано 611 патентов. Вторая по величине патентная классификация посвящена разложению неорганических соединений, особенно аммиака: за тот же период было выдано 464 патента.

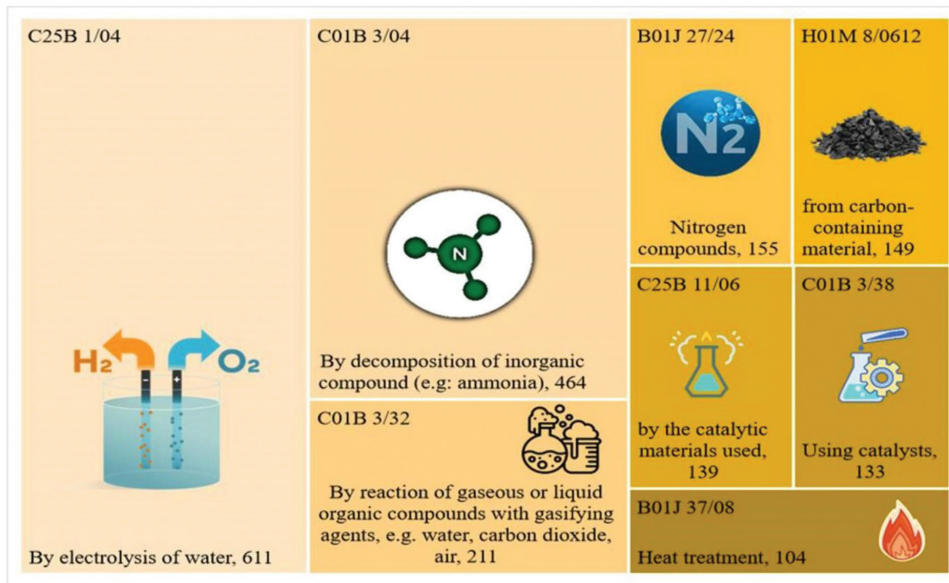


Рис. 9. Категории патентов на производство водорода МПК (IPC) [20]. Электролиз воды, производство водорода из воды, является доминирующим методом с 611 патентами [20]

Fig. 9. Hydrogen Production Patent Categories (IPC) [20]. Water electrolysis, the production of hydrogen from water, is the dominant method with 611 patents [20]

США и Канада также интенсивно финансируют научные работы ученых исследователей в кооперации с Индустрией по созданию Водородных хабов (Рис. 10), тем самым способствуя увеличению публикации и количеству патентов по водороду для развития сво-

его внутреннего рынка использования водорода. Это в свою очередь способствует использованию новых технологий и технических решений аграрными корпорациями, ирригационными и транспортными машинами для работ по производству продовольствия.

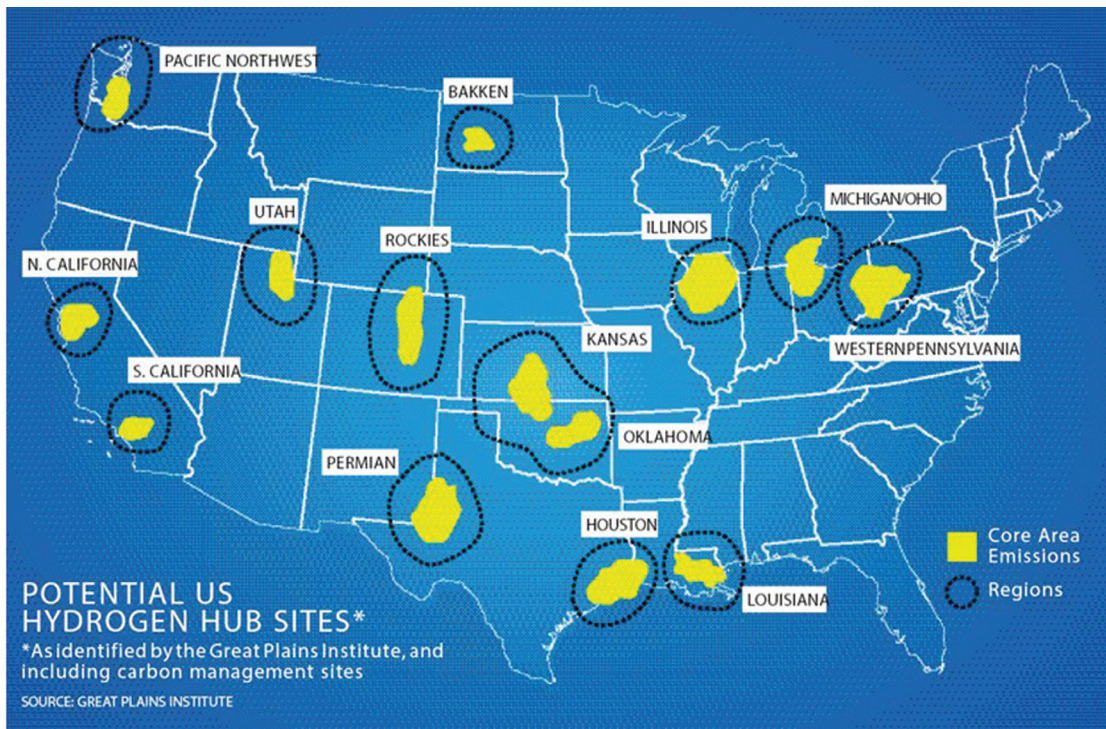


Рис. 10. Развиваемые водородные хабы на территории США [27]

Fig. 10. Developing hydrogen hubs in the United States [27]



8. Водород Китая

Китай является крупнейшим в мире производителем водорода, производя 33 миллиона тонн водорода в год, что составляет треть от общего мирового производства. Производство осуществляется в основном на нефтяных или угольных установках нефтеперерабатывающих или химических заводов, производство которого из угля остается дешевле, чем электролиз природного газа или воды, по цене около 0,7-1,2 юаня (0,1-0,19 доллара США) за куб. метр. Благодаря благоприятной политике правительства, в Китае наблюдается быстрый рост производства водорода: с 25 миллионов тонн в 2020 году до 33 миллионов тонн в 2021 году. Производство водорода планируется довести до 120 миллионов тонн к 2060 году. Хотя производство водорода в Китае набирает обороты, в развитии водородной отрасли все еще далеко не гладко. Многие

проблемы требуют решения по всей производственной цепочке. Общая стоимость производства водорода на основе возобновляемых источников относительно высока. Центральные и местные органы власти разработали ряд стратегий и планов по созданию благоприятной бизнес-среды и расширению масштабов отрасли. Отсутствие технологических ноу-хау в процессе производства, хранения и транспортировки водорода приводит к низкой эффективности и более высокой стоимости. Недостаточное развитие автомобильной промышленности. Хотя правительство более активно продвигает электромобили, водородными транспортными средствами, как правило, являются автобусы и тяжелые грузовики: на дорогах Китая всего 7000 автомобилей [45].

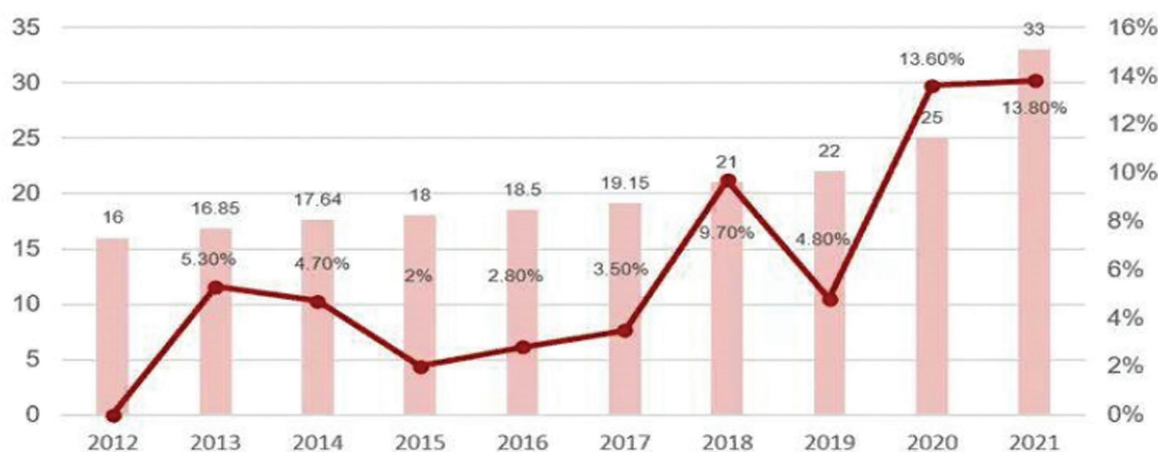


Рис. 11. Рост производства водорода в Китае [45]

Fig. 11. Growth of hydrogen production in China [45]

Китайский водородный альянс прогнозирует, что производство водорода на основе возобновляемых источников энергии может достичь 100 миллионов тонн к 2060 году, что составляет 20 процентов конечного потребления энергии в Китае. Как отмечается в последнем плане, китайское правительство уделяет все большее внимание технологическим исследованиям и инновациям, связанным с водородом. Акцент отражает стремление страны преодолеть нынешнюю нехватку знаний, опыта и инфраструктуры в производстве низко углеродных форм водорода. Например, текущая конкурентоспособность Китая связана с технологией щелочного электролиза, которая хорошо зарекомендовала себя и дешева, но гораздо менее совместима с прерывистыми возобновляемыми источниками энергии, чем электролизеры с полимерно-электролитными мембранами (ПЭМ). Электролизеры ПЭМ занимают менее 10 % китайского рынка, на котором доминируют щелочные электролизеры. Водородная энергетика также является частью планов Китая в отношении ряда других отраслей, таких, как

транспортные средства на новой энергии. Например, план развития отрасли транспортных средств на новой энергии предусматривает увеличение мощности водородных заправочных станций (HRS) с 72 единиц в середине 2020 года до 2000 единиц к 2035 году, демонстрируя тесную взаимосвязь развития водородной энергетики. Инвестиции в «зеленую» энергетику в Китае открывают значительные, но зачастую труднодоступные возможности. С одной стороны, Китай имеет амбициозные планы по декарбонизации и превращению в мирового лидера в области зеленых технологий, что приведет к многочисленным инвестициям и стимулам для развития смежных отраслей. С другой стороны, в энергетическом секторе традиционно доминируют государственные предприятия, многие отечественные компании получают субсидии, которые подрывают иностранную конкуренцию, а цели правительства в области энергетической безопасности рискуют усилить скептицизм в отношении зависимости от иностранных поставщиков.

9. Водород России

Несколько десятилетий назад Россия начала активно изучать возможность формирования базовой технологии производства водорода, также анализируются возможные объемы экспорта водородного топлива. По планам Минэнерго РФ, к 2035 году на долю России должно приходиться около 15-16 % мирового рынка водорода. Стоит отметить, что на уровень экономического развития и уровень благосостояния граждан России значительное влияние оказывает экспорт углеводородов, поэтому диверсификация производственных мощностей за счет формирования нового направления – производства водорода, является логичной и целесообразной. Однако существующие бизнес-модели являются препятствием для развития водородной энергетики в стране. Российские энергетические корпорации еще не готовы к энергетическому переходу. В будущем это может негативно отразиться на их экспорте и прибылях. Как показал

пилотный проект использования водорода на общественном транспорте в Санкт-Петербурге в конце 2019 года, крупные российские города могут стать успешным примером применения этих технологий, в связи с чем в будущем они могут положительно повлиять на имидж России и позволят восстановить и укрепить сотрудничество со странами ЕС. Потенциал этого сотрудничества отмечен в Энергетической стратегии России до 2035 года, которая была опубликована в один день со Стратегией развития водородной энергетики в Германии. В Энергетической стратегии России большие надежды возлагаются на водород, и отмечается, что он имеет значительный экспортный потенциал и является продуктом с высокой добавленной стоимостью. Ярким примером производства водорода в РФ является компания ПАО «Татнефть», запустившая в этом году проект нефтеперерабатывающего комплекса «ТАНЕКО» в Нижнекамске.

10. Водород США

Министерство энергетики Соединенных Штатов Америки опубликовало План развития гидроэнергетики в стране, согласно которому особое внимание уделяется развитию водородных технологий, увеличению объемов его производства, транспортировки, хранения, а также увеличение доли его использования в различных сферах. Одной из ключевых задач Плана является использование низко углеродных источников энергии для производства водорода. К низко углеродным источникам энергии относятся возобновляемые источники энергии (ВИЭ), атомная энергетика, а также ископаемое топливо – углекислый газ, который планируется улавливать, использовать и хранить (Carbon Capture, Usage and Storage: CCCS). В рамках инициативы «H2@Scale», запущенной Министерством энергетики США в начале 2020 года, проводится исследование возможности разработки ядерно-энергетических систем, производящих одновременно водород и низко углеродную электроэнергию. Среди десятков проектов, финансируемых в рамках этой инициативы, один будет реализован тремя коммерче-

скими электроэнергетическими компаниями в США в сотрудничестве с Национальной лабораторией Айдахо Министерства энергетики. Проект будет включать в себя технические и экономические оценки, а также экспериментальную демонстрацию производства водорода на нескольких атомных электростанциях в США. Одна из электроэнергетических компаний, участвующих в проекте, Exelon, являющаяся крупнейшим производителем низко углеродной электроэнергии в США, в настоящее время предпринимает шаги по установке электролизера с полимерной электролитической мембраной мощностью в один мегаватт и соответствующей мощностью инфраструктуры на одной из своих атомных электростанций. С помощью этой системы, которая может быть введена в эксплуатацию к концу 2023 года, можно будет наглядно увидеть экономическую целесообразность производства водорода методом электролиза для удовлетворения потребностей систем, связанных с производством электроэнергии на месте, а также возможность масштабирования в будущем.

11. Водород Саудовской Аравии

Саудовская Аравия осознала необходимость диверсифицировать свою энергетическую структуру и снизить зависимость от нефти и газа. Королевство реализует несколько инициатив, направленных на повышение энергоэффективности, увеличение использования возобновляемых источников энергии и изучение новых источников энергии, таких как водород. Страна поставила амбициозные цели по внедрению возобновляемых источников энергии и планирует увеличить долю возобновляемых источников энер-

гии в своем энергетическом балансе до 50 % к 2030 году. В 2019 году министр энергетики принц Абдель Азиз бен Салман объявил о запуске Национальной водородной стратегии, цель которой – сделать страну крупным игроком на мировом рынке водорода. Стратегия направлена на производство голубого водорода из природного газа с использованием технологии улавливания и хранения углерода (Carbon Capture, Usage and Storage: CCCS), а также зеленого водорода из возобновляемых источников энергии [46, 47].



План направлен на производство 1,2 миллиона тонн зеленого водорода и удовлетворение 10 % мировой потребности в водороде к 2030 году. Кроме того, Государственный инвестиционный фонд Саудовской Аравии (SAPIF) инвестирует в несколько энергетических проектов по всему миру, включая совместное предприятие Power и Air Products, которое построит завод по производству экологически чистого водорода и аммиака стоимостью в 5 миллиардов долларов в Неоме, Саудовская Аравия [48]. Завод будет иметь мощность 1,2 ГВт и производить 650 тонн зеленого водорода в сутки. Энергетическая политика страны призывает к переходу к более диверсифицированному и устойчивому энергетическому балансу с упором на расширение использования возобновляемых источников энергии и разработку новых источников энергии, таких как водород. Национальная водородная стратегия и инвестиции страны в глобальные водородные проекты потребовали приверженности тому, чтобы стать крупным игроком на водородном рынке и внести свой вклад в глобальный переход к низко углеродной экономике. Саудовская Аравия имеет потенциал стать крупным игроком на мировом рынке зеленого водорода, и долгосрочная карта производства зеленого водорода может помочь стране реализовать этот потенциал.

Фаза 2023-2025 гг.: В этот период основное внимание должно быть уделено созданию необходимой инфраструктуры для производства экологически чистого водорода. Это включает в себя развитие возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнца, а также создание предприятий по производству водорода. Правительству следует стимулировать частные инвестиции в проекты возобновляемой энергетики и установить партнерские отношения с международными компаниями, имеющими опыт в производстве экологически чистого водорода.

Фаза 2025-2030 гг.: на этом этапе целью должно стать увеличение производства зеленого водорода и

сделать его более экономически конкурентоспособным по сравнению с традиционным производством водорода. Правительство должно продолжать инвестировать в возобновляемые источники энергии и поощрять частный сектор делать то же самое. Создание внутреннего рынка экологически чистого водорода должно стать приоритетом с целью снижения зависимости от традиционного ископаемого топлива.

Фаза 2030-2035 гг.: к этому моменту производство зеленого водорода должно быть хорошо налажено в стране. Фокус должен сместиться на увеличение экспорта зеленого водорода из стран, особенно в Азию и Европу. Правительству следует установить партнерские отношения со странами, которые стремятся перейти на возобновляемые источники энергии, особенно со странами с высоким спросом на водород.

Фаза 2035-2040 гг.: Заключительный этап долгосрочной карты должен быть сосредоточен на максимизации потенциала производства зеленого водорода в стране. Это включает в себя расширение производства зеленого водорода, увеличение экспорта и разработку новых применений зеленого водорода, например, на транспорте и в промышленности. Правительству также следует инвестировать в исследования и разработки, чтобы еще больше снизить стоимость производства зеленого водорода и повысить его эффективность. Долгосрочная карта производства зеленого водорода в стране должна быть сосредоточена на создании необходимой инфраструктуры, увеличении производства и конкурентоспособности, расширении экспорта и разработке новых приложений. Это потребует значительных инвестиций времени, ресурсов и опыта, но потенциальные выгоды, как экономические, так и экологические, значительны. При правильной стратегии и поддержке Саудовская Аравия может стать лидером в производстве экологически чистого водорода и ключевым игроком в переходе к более устойчивому энергетическому будущему.

12. Водород Канады

Водородная стратегия Канады призвана стимулировать инвестиции и партнерство, чтобы сделать Канаду глобальным поставщиком водорода и увеличить его внутреннее производство. Это изменит канадский энергетический сектор, заявили в NRCan, Федеральном департаменте природных ресурсов. Канада в настоящее время входит в десятку крупнейших производителей водорода в мире, производя около 3 миллионов тонн водорода в год, и страна выиграет от растущего глобального спроса на водород на рынке, который, как ожидается, достигнет почти 12 триллионов канадских долларов к 2050 году, согласно данным в NRCan. Стратегия также будет дополнена Стандартом чистого топлива, который будет стимулировать инвестиции и рост топливного

сектора Канады путем стимулирования разработки и внедрения экологически чистых видов топлива, таких как водород. Поскольку Канада в настоящее время является четвертым по величине поставщиком природного газа в мире, ожидается, что голубой водород будет играть важную роль в канадской водородной экономике. В частности, упоминается газовая стратегия провинции Альберта (Alberta's Natural Gas Vision and Strategy), которая предусматривает крупномасштабное производство водорода из природного газа в сочетании с технологией улавливания и хранения углерода (CCCS). «Система снабжения водородом в Канаде может включать как крупные централизованные предприятия в богатых природным газом провинциях или в регионах с высоким уровнем



распространения недорогих возобновляемых источников энергии, так и мелкокомасштабное распределенное электролитическое производство вблизи центров спроса», – говорится в документе. «Предполагается, что цены на водород, включая транспортировку, достигнут 1,50-3,50 канадских долларов/кг по мере масштабного производства и инвестиций в инфраструктуру». Внедрение водорода будет в первую очередь сосредоточено на энергоемких областях, где он обеспечивает преимущества перед альтернативными низкоуглеродными вариантами. Речь идет о перевозках на дальние расстояния, обеспечении теплом промышленности и зданий, промышленных процессах, а также о производстве электроэнергии. Канада планирует экспортировать водород, но стратегия не устанавливает конкретных целей. В документе определены пять целевых рынков: США, ЕС, Китай, Южная Корея и Япония. Также отмечается, что Канадские технологии топливных элементов используются в 80 % соответствующих водородных проектах по всему миру. Промышленность и правительства провинций будут играть ключевую роль в определении того, какие пути производства водорода будут реализованы в какие сроки в Канаде, при этом правительство будет играть роль в разработке политики, например, устанавливая пределы углеродной ёмкости CI (Carbon Intensity), а промышленность будет определять наиболее экономичные пути, которые соответствуют пределу. В целом, ожидается, что будет развиваться сбалансированный региональный подход к развитию поставок водорода в Канаду за счет сочетания источников ископаемого топлива и чистой электроэнергии. Такая диверсификация источников топлива наилучшим образом позволит увеличить объемы производства для поддержки развития внутреннего и экспортного рынков. На стоимость производства водорода различными способами влияют технические и экономические факторы, включая стоимость сырья (природного газа, электроэнергии), капитальные затраты и текущие эксплуатационные расходы. По данным МЭА,

топливо и сырье являются крупнейшим компонентом производственных затрат и составляют от 45 % до 75 % в зависимости от того, где в мире производится водород. Согласно отчету Азиатско-Тихоокеанского исследовательского центра за 2018 год, в Канаде наблюдается одна из самых низких в мире себестоимость производства как SMR+CCUS, так и гидроэлектролиза. Это ценовое преимущество дает Канаде возможность практически немедленно начать производство дешевого водорода с низким содержанием хлора. В настоящее время масштабное производство водорода с низким выходом углерода CI в Канаде обходится дешевле при использовании ископаемого топлива по сравнению с методами электролиза. Хотя в Канаде цены на электроэнергию конкурентоспособны по сравнению с международными рынками, для производства водорода по целевым ценам затраты должны находиться в диапазоне 40/МВтч. Промышленные тарифы с высокими пиковыми нагрузками и структуры тарифов, не учитывающие преимущества декарбонизации, могут стать барьером на пути электролиза. Углеродная ёмкость CI производства водорода – это метод сравнения выбросов парниковых газов водорода на протяжении всего жизненного цикла при его перемещении от первичного источника энергии/сырья к поставляемому энергетическому товару. Конечное использование также иногда может учитываться при анализе жизненного цикла, но для простоты здесь оно отделено от выбросов на пути производства. В случае водорода, полученного из природного газа посредством SMR + CCUS, сюда входят выбросы в процессе добычи, необходимые для восстановления газа, а также выбросы, образующиеся в процессе SMR или ATR (за вычетом любых CCUS). Выбросы при добыче в Канаде различаются по регионам, и на национальном и провинциальном уровне предпринимаются усилия по снижению выбросов за счет таких мер, как сокращение неорганизованных выбросов метана и электрификация оборудования, добывающего по течению.

Заключение: рекомендации по усилению роли ученых Казахстана

В Казахстане важно усилить роль ученых, участие ученых Национальной Академии наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан в программах и проектах, включая:

- По аналогии действующих в США-Канаде программ создания Водородных хабов (<https://nebraskaexaminer.com/2023/04/06/nebraska-two-partner-states-bid-to-be-hydrogen-hub-that-could-bring-1-billion-in-federal-funds/>) подготовить потенциальные регионы, карты территорий по созданию Водородных хабов для внутреннего пользования Казахстана в кооперации с учеными-исследователями и Индустрией США.

- Усилить кооперацию с ведущими учеными

Японии, Китая, США по водородным технологиям для развития внутреннего водородно-водного рынка в Казахстане.

- Создать условия ученым Казахстана развивать альтернативные регионы для производства водорода с научными исследованиями, в том числе изучения возможностей производства водорода на Севере Казахстана в кооперации с Россией и Китаем, используя водные ресурсы России в производстве водорода для внутреннего пользования водорода в Казахстане. Из Казахстана в Россию в Северный Ледовитый океан ежегодно уходит 16,5 км³ воды, эту воду оптимально использовать для производства водорода и использования его на юге Казахстана. (Рис. 13, 14).

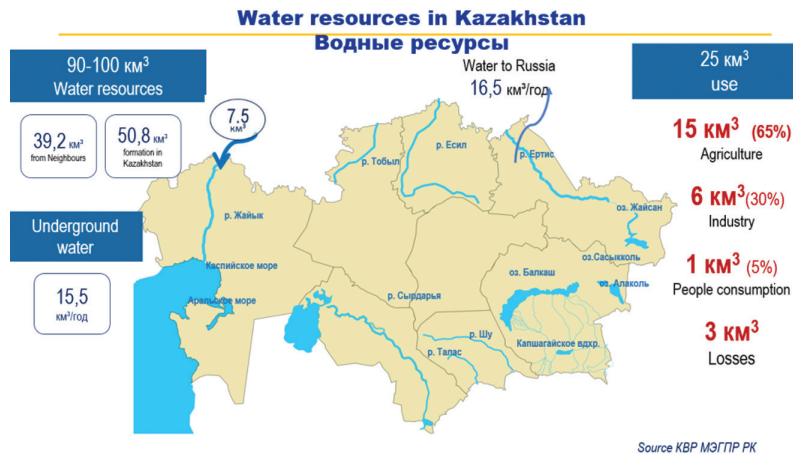
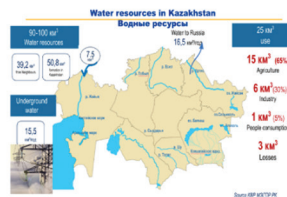


Рис. 12. Компилированная схема по продвижению водородно-водных технологий по данным Министерств водных ресурсов Республики Казахстан

Производство Водорода на Севере Казахстана с Россией



Японская компания <https://www.iwatani.com/>



Доставка фермерам и использование ирригационными машинами с Аммиачным удобрением на юге Казахстана



Fig. 12. A compiled scheme for the promotion of hydrogen-water technologies, according to the Ministry of Water Resources of the Republic of Kazakhstan

Российско-Китайско-Казахстанская кооперация по водороду и аммиачным удобрениям на Севере Казахстана



Китай является крупнейшим в мире производителем водорода:
33 млн тонн в 2021 году
120 млн тонн в 2060 году

Нефтегазовые и угольные установки Китая 0,7 юань (0,1 \$ США) за 1 м³ водорода

Природный газ Казахстан 22,06 тенге (0,05 \$ США) за 1 м³ газа

Водород – Аммиачные удобрения

Рис. 13. Российско-Китайско-Казахстанская кооперация по Водороду и Аммиачным удобрениям на Севере Казахстана

Fig. 13. Russian Chinese-Kazakhstan cooperation on Hydrogen and Ammonia fertilizers in the North of Kazakhstan

Сложность реализации Казахстанского проекта HYRASIA ONE связана с проблемами доступности водных ресурсов и стоимости электроэнергии в Западном Казахстане, Мангистауской области. Будет разумно разработать альтернативные проекты с разумными затратами и без ущерба для природы. Альтернативный проект, связанный с созданием мощностей по производству водорода в Северном Казахстане, которые будут использовать часть воды от 16,5 куб. км воды, ежегодно утекающей в Северный Ледовитый океан из Казахстана через Россию. Кроме того, в Се-

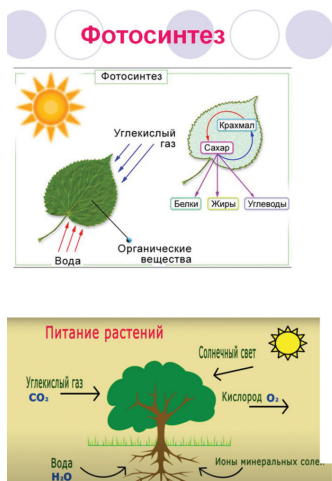
верном Казахстане имеются мощности по производству дешевой электроэнергии, дешевый уголь и природный газ из России, также водные ресурсы России, в том числе из Северного Ледовитого океана. В 2024 г. человечество перейдет критический уровень повышения температуры, что приведет к катастрофическому повышению уровня океанов, прибрежные зоны океанов, острова будут уходить под воду (<https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/12/08/climate-change-threshold-cop28-dubai/>). Опреснение и промышленное использование воды из бессточных



озер, таких как Каспий и Арал, на континентах оптимально законодательно запретить. Более рационально стимулировать развитие технологий по использованию вод из сточных рек, впадающих в океаны.

Северный Казахстан располагает мощностями по производству электроэнергии, включая воду и электричество с разумными расходами. Технологии России и Китая по производству водорода и аммиака, включая из угля (**Gray Hydrogen**), природного газа (**Blue Hydrogen**) и воды (**Green Hydrogen**) будут оптимально адаптированы на Севере Казахстана. В этом случае ресурсы электроэнергии и ресурсов (воды, природного газа и воды) будут с разумными расходами, технологии производства более взаимосвязаны и эффективны в цепочке производства водорода и аммиака. Аммиак широко используется для производства сельскохозяйственных удобрений и в настоящее время является лучшим решением для отрасли удобрений. В Казахстане единственный производитель аммиака Каззот в Актау (<https://www.kazazot.kz/>), с объемом около 300000 тонн аммиака в год, это примерно 10 % производительности Тольяттиазот.

Аммиачные удобрения оптимально использовать в комбинации с фосфорными удобрениями, которым занимается компания Казфосфатом (<https://www.kpp.kz/>), добывающая фосфориты в Каратау. Водородные и аммиачные удобрения целесообразно будет поставлять из Северо-Казахстанской области в Южный, Западный и Центральный Казахстан, в Приарале, в соседние страны, регионы Центральной Азии для усиления более устойчивого развития сельского хозяйства. Для процессов фотосинтеза растений важно устойчивое поступление элементов для усиления элементного состава биомассы. Средний элементный состав по макроэлементам углероду (C), азоту (N) и фосфору (P) предлагался Редфилдом, а соотношение 106C:16N:1P, называемое «Коэффициент Редфилда». Предлагаемая кооперация России, Китая и Казахстана позволит более эффективно развивать производство Водорода и Аммиачных удобрений на Севере Казахстана, с учетом интересов местных жителей, флоры и фауны, с более разумным отношением к природным ресурсам (Рис. 14).



Для процессов фотосинтеза растений важно устойчивое поступление элементов, усиление элементного состава биомассы. Средний элементный состав по макроэлементам: углероду (C), азоту (N) и фосфору (P) предлагался Редфилдом, соотношение **106C : 16N : 1P**, называемое «Коэффициент Редфилда».

Рис. 14. Процесс фотосинтеза растений по устойчивому поступлению элементов, усилению элементного состава биомассы, 106C:16N:1P, «Коэффициент Редфилда»

Fig. 14. The process of plant photosynthesis by the steady supply of elements, strengthening the elemental composition of biomass, 106C:16N:1P, «Redfield coefficient»

Водородно-аммиачно-фосфатные удобрения важны для восстановления почвы, биомассы растительности Казахстана. Здоровье земли, натуральный баланс почвы Казахстана был нарушен агрессивной политикой освоения целинных земель Казахстана со времен Хрущева, когда туда были направлены тысячи эшелонов машин и тракторов, мощных почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов, создавались сотни совхозов и машинно-тракторных станций, возникло много новых поселков. В первые годы освоения целинных земель страна действительно получала большие урожаи, так называемые «миллиарды пудов хлеба», с середины 1950-х годов – от половины до трети всего производимого в СССР хлеба. Вскоре массовая распашка целинных земель с оборотом пласта в условиях равнинного рельефа и сильных ветров, привела к появлению так называемых «черных» или

«пыльных» бурь, в результате нарушения экологического равновесия и эрозии почв в 1962-1963 годах. Тонкий верхний слой плодородной почвы Казахстана был уничтожен, земля стала малопродуктивна. Почва быстро теряет свое плодородие, становится непригодной к дальнейшему использованию, произошла деградация земель на значительных площадях Казахстана [49]. Процесс деградации земель происходит повсеместно во многих регионах под влиянием природных явлений и антропогенных факторов, сопровождаемых потерей растительного покрова и продуктивности, смывом и выдуванием плодородного слоя с изменением физико-механических свойств почв [50]. Всё это негативно отразилось на урожайности сельскохозяйственных культур, на окружающей среде, на экосистеме в целом и продолжается по текущее время в Казахстане (Рис. 16-22).



Рис. 15. Нарушение почвы и пути восстановления здоровья почвы усилением лесных насаждений [49, 50]
Fig. 15. Soil disturbance and ways to restore soil health by strengthening forest plantations [49, 50]



Рис. 16. Восстановление речных водосборов путем усиления лесонасаждений [Горохов Юрий Иванович, yi-gorohov@yandex.ru Биосферные Проекты и Конференции – Yandex Disk]
Fig. 16. Restoration of river catchments by strengthening afforestation [Yuri Ivanovich Gorokhov, yi-gorohov@yandex.ru Биосферные Проекты и Конференции – Yandex Disk]



Degraded Areas

Reduced Productivity
+
Landuse
+
Human Footprint

■ Degraded Areas

Data Sources: Trends.Earth [2022], Conservation International. Available online at: <http://trends.earth>; ESA WorldCover project [2021]. Contains modified Copernicus Sentinel data (2021) processed by ESA WorldCover consortium. Cassort et al. In review. An operational approach to near real time global high resolution mapping of the terrestrial Human Footprint. Science Advances.

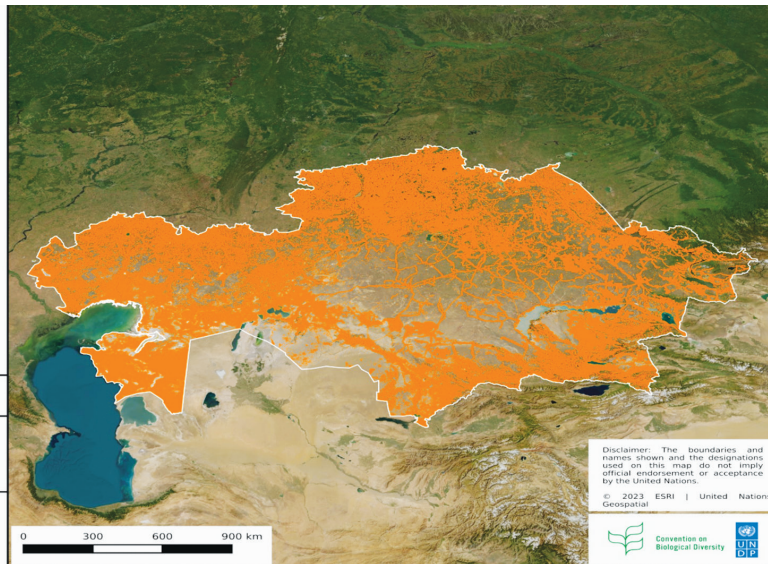
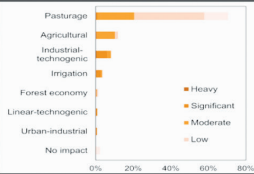


Рис. 17. Дegradация земель Казахстана [UNDP]
Fig. 17. Land degradation in Kazakhstan [UNDP]

Degradation of Landscape

■ Heavy
■ Significant
■ Moderate
■ Low
■ Insignificant or absent



Data Sources: Kazakhstan National Atlas

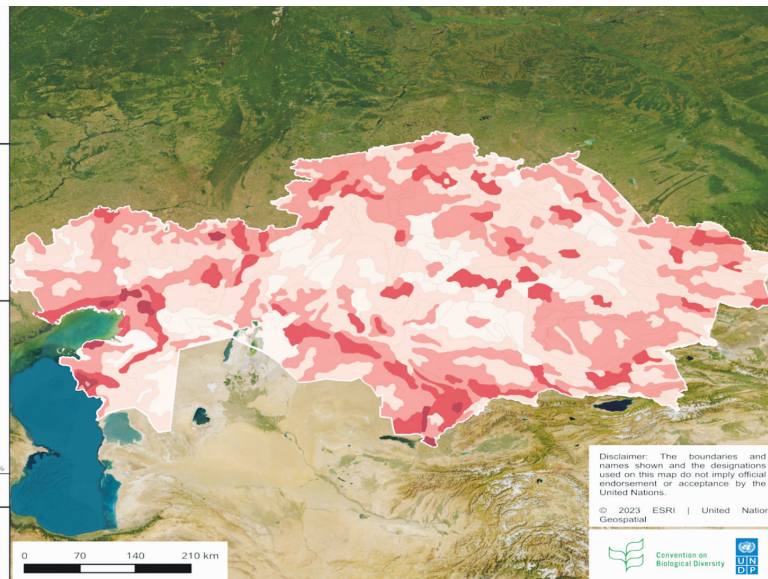
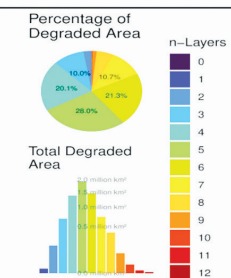


Рис. 18. Дegradация земельного покрова, почв Казахстана [UNDP]
Fig. 18. UNDP Degradation of land cover, soils in Kazakhstan [UNDP]

Degraded Areas - World Atlas on Desertification Convergence of Evidence



Data Sources: Trends.Earth [2022], Conservation International. Available online at: <http://trends.earth>; ESA WorldCover project [2021]. Contains modified Copernicus Sentinel data (2021) processed by ESA WorldCover consortium. Cassort et al. In review. An operational approach to near real time global high resolution mapping of the terrestrial Human Footprint. Science Advances. Chetel, M., et al. (Eds.) [2019]. World Atlas of Desertification. Publication Office of the European Union, Luxembourg.

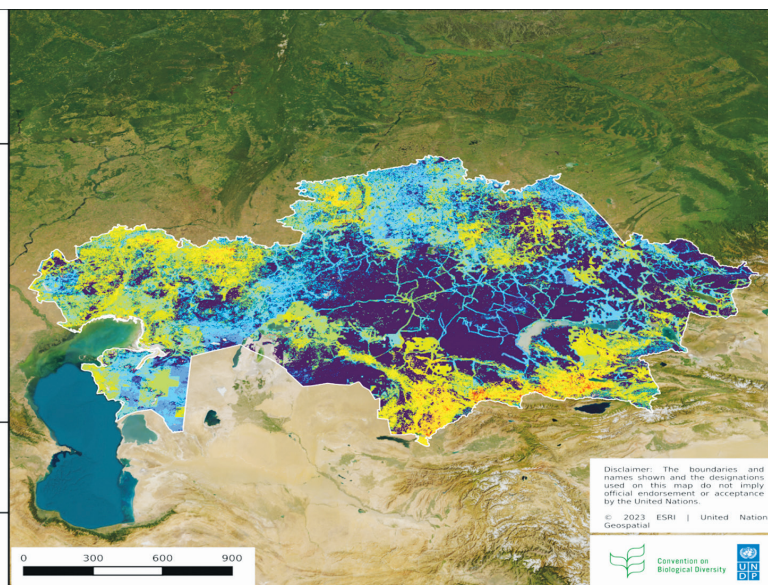


Рис. 19. Опустынивание деградированных земель, почв Казахстана [UNDP]
Fig. 19. Desertification of degraded lands, soils of Kazakhstan [UNDP]



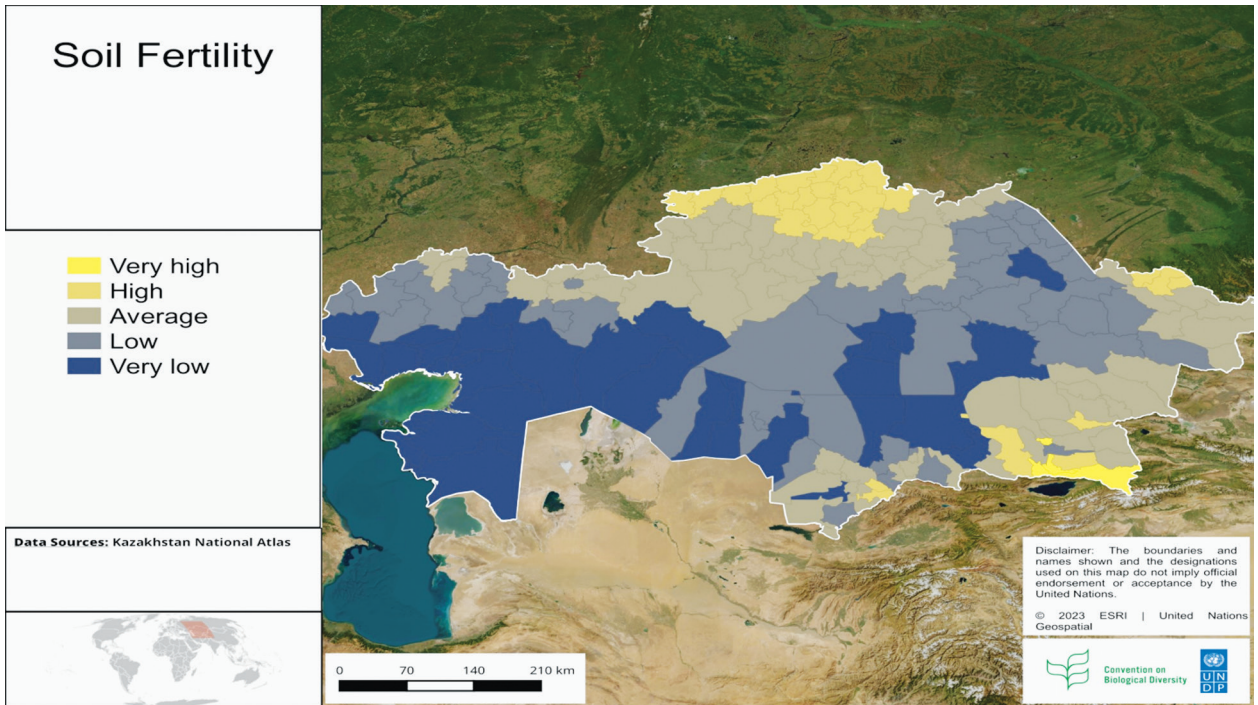


Рис. 20. Низкая производительность почв Казахстана [UNDP]
 Fig. 20. Low soil productivity in Kazakhstan [UNDP]

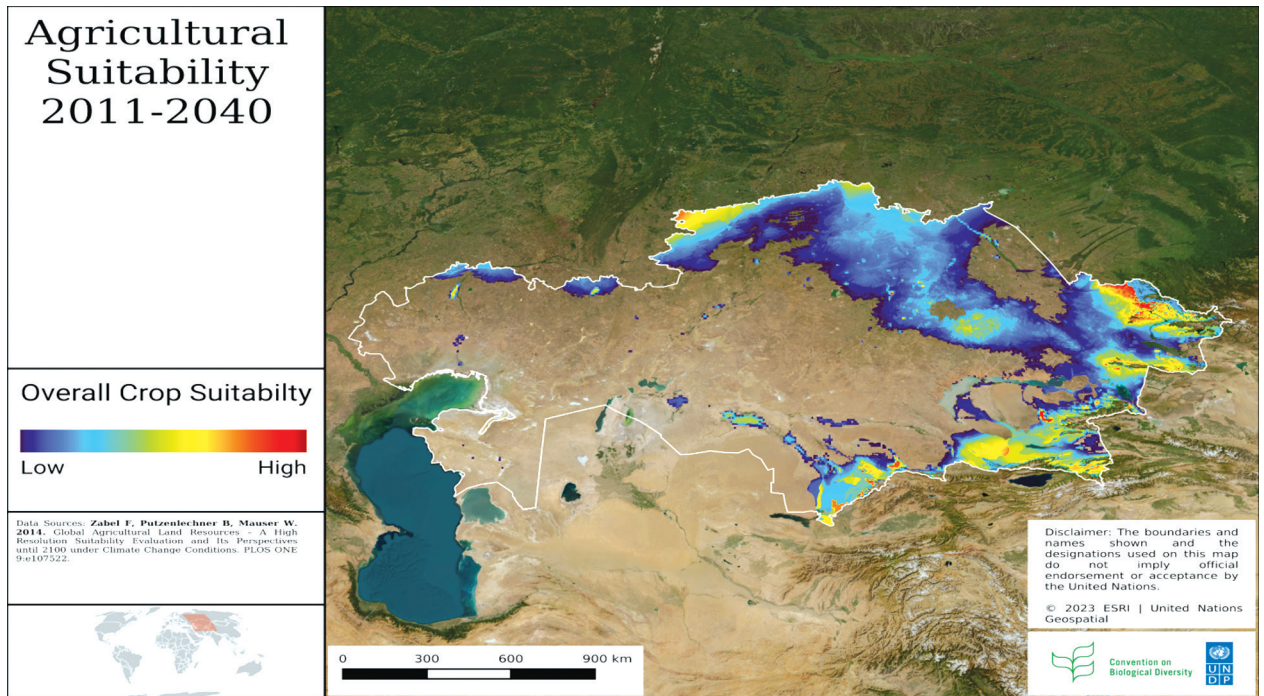
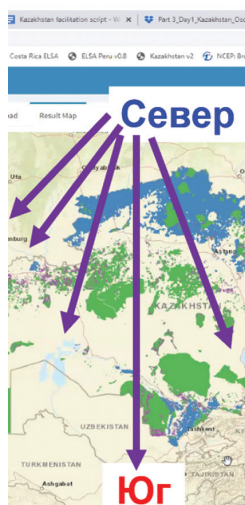


Рис. 21. Прогноз слабой устойчивости земель сельского хозяйства [UNDP]
 Fig. 21. Forecast of weak sustainability of agricultural land [UNDP]

Вода и электричество, также природный газ с углем и водой будут стоить недорого на Севере Казахстана, что сделает производство водорода разумным по расходам. Японская компания Toshiba уже протестировала технологии производства водорода в контейнерах более семи лет (<https://www.global.toshiba/ww/news/corporate/2015/04/pr2001.html>). Ана-

логичный подход можно применить и к установке модулей по производству водорода и аммиака. В этом случае ресурсы электроэнергии и воды могут быть более взаимосвязанными и эффективными для следующей цепочки производства водорода и аммиака с поставками с Севера на Юг (Рис. 22).

Водород и аммиачные удобрения с Севера на Юг



В Казахстане единственный производитель аммиака Казазот в Актау <https://www.kazazot.kz/>, с объемом около 300000 тонн аммиака в год, это примерно 10% производительности Тольяттиазот. Аммиачные удобрения оптимально использовать в комбинации с фосфорными удобрениями, которым занимается Казфосфатом <https://www.kpp.kz/>, добывающая фосфориты в Каратау. Полноценное Карбон-Аммино-Фосфатное питание растений **106C:16N:1P**, улучшит здоровье почвы, природы

Рис. 22. UNDP Водород и аммиачные удобрения с Севера на Юг
 Fig. 22. Hydrogen and ammonia fertilizers from North to South

Аммиак широко используется для производства сельскохозяйственных удобрений. Производство «зеленого» аммиака – процесс получения аммиака – на 100 % возобновляемый и безуглеродный. Во всем мире на производство удобрений приходится около 1,1 % ежегодных выбросов углерода из-за использования ископаемой энергии в качестве сырья (примерно 80 % производства использует природный газ, а на уголь приходится примерно 15 %). Зеленый аммиак в настоящее время по сокращению выбросов является лучшим решением для отрасли удобрений. Водород и аммиачные удобрения целесообразно будет поставлять с Северо-Казахстанской области в Южно-, Западно- и Центрально-Казахстанскую области, регионы с проблемами водных ресурсов. В этом случае транспортировка Водорода будет оправдана по затратам, поскольку транспортировка его будет осуществляться аналогично транспортировке энергии, нефти, газа, бензина, дизельного топлива на заправочные станции. Водород будет в категории энергоресурсов. Водные ресурсы считаются дешевым, в основном бесплатным природным ресурсом, поэтому подходы к водосбережению сложно реализовать в Казахстане (<https://www.mdpi.com/2073-4441/15/3/482>). Внедрение рынка водорода в Казахстане усилит заинтересованность в более эффективном использовании водных ресурсов с вторичным использованием воды в качестве энергии. Водородные двигатели производят воду на выходе, и эта вода будет поступать в Южные регионы Казахстана, регионы с дефицитом воды. Такой подход будет более рациональным вместо строительства различных каналов, плотин и водохранилищ, которые являются популярными видами строительства в Казахстане с высокими потерями на испарение, достигающими 90 % в большинстве

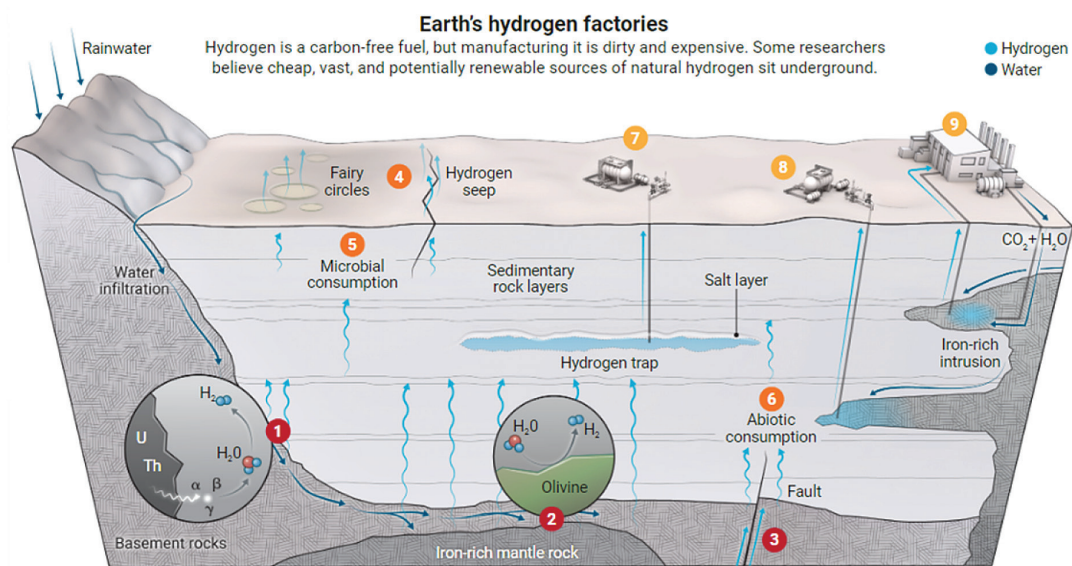
регионов Южного Казахстана. Вырабатываемая из водородных двигателей вода потребует обогащения соответствующим количеством удобрений, предприятиями-производителями технологий капельного, дождевального орошения. Технологии капельного и дождевального орошения от производителей выиграют от использования чистой энергии водорода и высококачественных аммиачных удобрений для их систем капельного распыления, не засоряя при этом их системы с узкими трубками. Эта взаимосвязанная цепочка производства водорода и аммиачных удобрений для устойчивого сельского хозяйства требуют экспертов и технических специалистов, которые будут вместе работать над этой программой. Эти усилия требуют надлежащей поддержки в наращивании потенциала техников по водороду для использования этих новых источников энергии и удобрений. Сбалансированное использование природных ресурсов и устойчивое использование минеральных удобрений в сочетании с экологически чистыми технологиями, в том числе устойчивым водопользованием, ответственным отношением к природе и биоразнообразию, требуют соответствующих знаний и передовых ирригационных технологий при научной поддержке.

В настоящее время многие страны ведут работы по разведке природного «белого» водорода, практически идет «золотая лихорадка» вложений поиска геологического «белого» водорода. Как пример, в районе трансграничного бассейна реки Мозель-Саар, границ Франции и Германии, обнаружены крупнейшие в мире подземные запасы геологического «белого» водорода. На территории бывших заброшенных, более 20 лет назад, угольных шахт, обнаружены большие объемы природного геологического «белого» водорода, оценочный объем – до 250 млн тонн [51].



Подземным водородным «фабрикам» (Рис. 23) важно пополнять запасы воды для физико-химических окислительных процессов серпентинизации, производства водорода под землей [52, 53]. В Казахстане отсутствуют исследования по разведке «белого» водорода и отсутствуют механизмы стимулирования вовлечения в программы «золотой лихорадки», посвященных

выявлению подземных геологических «фабрик». Однако такие программы могут способствовать улучшению региональной устойчивости, и будет эффективно Казахстану подключиться к таким программам исследований, представляющим большие возможности для устойчивого развития Казахстана.



Generation

1 Radiolysis

Trace radioactive elements in rocks emit radiation that can split water. The process is slow, so ancient rocks are most likely to generate hydrogen.

2 Serpentinization

At high temperatures, water reacts with iron-rich rocks to make hydrogen. The fast and renewable reactions, called serpentinization, may drive most production.

Рис. 23. Подземные водородные «фабрики» [53]

Fig. 23. Underground hydrogen «factories» [53]

Для повышения устойчивости водных ресурсов необходимы значительные усилия по исследованию водных ресурсов на всех уровнях, включая ресурсы подземных вод. Сочетание изменения климата и плохого управления человеком, а также неустойчивые проектные программы ухудшают состояние воды в Казахстане, Центральной Азии, включая установление связей различных гидрохимических типов подземных вод с физико-географическими, геолого-структурными и геохимическими особенностями территории. Казахстану будет выгодно провести масштабные исследования по определению местоположения потенциальных подземных геологических «фабрик», производящих природный «белый» водород. Казахстан богат природными ресурсами, геологическими полезными ископаемыми, в том числе месторождениями урана, железнорудных пород, которые создают благоприятные условия для радиолитического распада и реакций серпентинизации с получением природного водорода из подземных вод. Для улучшения водной

устойчивости Казахстана в регионе необходимы дальнейшие исследования с классификацией, картографированием источников воды, местоположений водоносных горизонтов подземных вод, которые могут быть использованы для потребления, а также потенциальных мест подземных геологических «фабрик», производящих природный «белый» водород.

Благодарность

Данная статья подготовлена в рамках проекта No. AP19679749 «Картографирование защитных лесных полос, их влияние на урожайность и водные ресурсы, перспективы расширения, с применением геопространственных технологий в Акмолинской области» грантового финансирования Министерства Науки и Высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы, а также при поддержке Школы Информационных Технологий и Инженерии (ШИТИ), Казахстанско-Британского Технического Университета (КБТУ).



Список литературы

[1]. UNECE, GIZ Germany, 2023, Зеленая Центральная Азия: усиление регионального диалога по климату, окружающей среде и безопасности, https://unece.org/sites/default/files/2023-06/6_1_Milow_RUS.pdf

[2]. Проект Тысячелетия, 2023. Глобальная задача 2. Как обеспечить каждому достаточное количество чистой воды без конфликтов? <https://www.millennium-project.org/challenge-2/>

[3]. Hassani, A., Azapagic, A. & Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communication* 12, 6663 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>

[4]. Глобальный Институт Водной Безопасности, Саскатчеванский Бассейн, Канада-США, <https://water.usask.ca/about/index.php#top>, https://www.cerc.gc.ca/news_room-salle_de_presse/spotlight-pleins_feux/wheater_saskatchewan-eng.aspx, <https://www.redriverbasincommission.org/>

[5]. Единая геоинформационная база данных моделирования чрезвычайных ситуаций США-Канады FEMA HAZUS <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/ hazus>, <https://www.usehazus.com/canadianhug/>

[6]. US FEMA, 2023, expenses estimations, <https://www.smartcitiesdive.com/news/fema-climate-billion-dollar-weather-disaster-resilience/685250/>

[7]. Накопление дренажных паводковых вод по технологиям искусственного восполнения подземных вод Канады-США, Flood-MAR, <https://floodmar.org/>, <https://inowas.webspace.tu-dresden.de/>, <https://teresa.webspace.tu-dresden.de/>

[8]. США, стимулирование населения, фермеров использовать больше технологии Flood-MAR с финансированием грантами и льготными кредитами, <https://water.ca.gov/Work-With-Us/Grants-And-Loans>

[9]. Perrone, 2016, Benefits and Economic Costs of Managed Aquifer Recharge in California, <https://escholarship.org/uc/item/7sb7440w>

[10]. Ross, A. Benefits and Costs of Managed Aquifer Recharge: Further Evidence. *Water* 2022, 14, 3257. <https://doi.org/10.3390/w14203257>

[11]. Richard G. Niswonger, Eric D. Morway, Enrique Triana, Justin L. Huntington, 2017, Managed aquifer recharge through off-season irrigation in agricultural regions, *Water Resources Research* Volume 53, Issue 8 p. 6970-6992

[12]. База данных моделирования программы Министерств С/Х Канады-США SWAT мониторинга состояния почв и водных ресурсов с моделированием качества и количества поверхностных и грунтовых вод и прогнозирования воздействия на окружающую среду землепользования, с методами управления

земельными ресурсами и изменением климата, <https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool>, <https://www.weg.uoguelph.ca/weg-model-development/>

[13]. Garcia, X. (2023). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to quantify the economic value of ecosystem services. – *River*, 2, 173-185. <https://doi.org/10.1002/rvr2.47GARCIA|185>

[14]. Xia Vivian Zhou, Christopher D. Clark, Sujithkumar Surendran Nair, Shawn A. Hawkins, Dayton M. Lambert, *Environmental and economic analysis of using SWAT to simulate the effects of switchgrass production on water quality in an impaired watershed, Agricultural Water Management, Volume 160, 2015, ISSN 0378-3774*, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.018>

[15]. Программы Канады-США Министерств СХ по научным программам повышения лесистости, обязанности землепользователей обеспечению посадок и содержанию леса вдоль всех водоемов на глубину ширины водоема, мест накопления снегопаводков [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/\\$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf)

[16]. Agroforestry economic benefits, <https://regenfarmer.com/economic-benefits-of-agroforestry/#:~:text=Research%20show%20that%20over%20a,type%20of%20agroforestry%20system%20implemented.>

[17]. Agroforestry design software, <https://regenfarmer.com/agroforestry-planning-software/>

[18]. Водородный проект Казахстана, 2023, <https://hyrAsia.energy/>, <https://invest.gov.kz/ru/media-center/press-releases/kazakhstan-obespechit-evrosoyuz-zelenym-vodorodom/>, <https://eenergy.media/news/27563>, https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/opresnitelnyiy-zavod-zelenyy-vodorod-tokaev-obsudil-516115/

[19]. Derwent Innovations Index on Web of Science, 2023, <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/derwent-innovations-index-on-web-of-science/>

[20]. International Patent Classification (IPC), 2023, <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>

[21]. Ishaq H., Dincer I., Crawford C. A review on hydrogen production and utilization: challenges and opportunities. *Int. J Hydrogen Energy*, 2022;47(62):26238e64

[22]. Kaiwen L., Bin Y., Tao Z. Economic analysis of hydrogen production from steam reforming process: a literature review. *Energy Sources B Energy Econ Plann* 2018; 13(2):109e15.

[23]. Hohn K. L., Lin Y. C. Catalytic partial oxidation of methanol and ethanol for hydrogen generation. *ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials* 2009; 2(10):927e40.

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

[24]. Rabenstein G., Hacker V. Hydrogen for fuel cells from ethanol by steam-reforming, partial-oxidation and combined auto-thermal reforming: a thermodynamic analysis. *J Power Sources*, 2008; 185(2):1293e304.

[25]. Rafelt J. S., Clark J. H. Recent advances in the partial oxidation of organic molecules using heterogeneous catalysis. – *Catal Today*, 2000; 57(1e2):33e44.

[26]. Vousoughi P., Eyvazi M. Hydrogen production: overview of technology options and membrane in auto-thermal reforming including partial oxidation and steam reforming. *Int. J. of Membrane Science and Technology*, 2015; 2(1):56e67.

[27]. Shaofeng G., Zexue D., Xuhong M. Research progress of ammonia decomposition catalysts for hydrogen generation. – *Acta Pet Sin*, 2022; 38(6):1506.

[28]. Afif A. et al. Ammonia-fed fuel cells: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2016; 60:822e35.

[29]. Wijayanta A. T. et al. Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: comparison review. *Int. J Hydrogen Energy*, 2019; 44(29):15026e44.

[30]. Keipi T., Tolvanen H., Kontinen J. Economic analysis of hydrogen production by methane thermal decomposition: comparison to competing technologies. *Energy Conversion and Management*, 2018; 159:264e73.

[31]. Ursu' a A. et al. Integration of commercial alkaline water electrolysis with renewable energies: limitations and improvements. *Int. J Hydrogen Energy*, 2016; 41(30):12852e61

[32]. Rashid M. et al. Hydrogen production by water electrolysis: a review of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis. *Int. J Eng Adv Technol*, 2015; 4(3):80e93.

[33]. Dulta K. et al. Biohydrogen production and its bioeconomic impact: a review. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2022; 4(3):219e30.

[34]. Rathi, B., Kumar, P., Rangasamy, G., Rajendran, S. A critical review on Biohydrogen generation from biomass, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 115-138, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.182>

[35]. Ananthi, V., Ramesh, U., Balaji, P., Kumar, P., Govarthanan, M., Arun, A. A review on the impact of various factors on biohydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 33-45, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.046>.

[36]. Tao J. et al. Technologies integration towards bio-fuels production: a state-of-the-art review. *Applications in Energy and Combustion Science* 2022:100070.

[37]. Song H. et al. Recent development of biomass gasification for H2 rich gas production. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 10:100059.

[38]. Garcia G. et al. A comprehensive review of

hydrogen production from methanol thermochemical conversion for sustainability. *Energy* 2021; 217:119384

[39]. Wang S., Faravelli T., Yang H. Special issue of thermo- chemical conversion of biomass. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 11:1e3.

[40]. Liu L. et al. Reforming of tar from biomass gasification in a hybrid catalysis-plasma system: a review. *Appl Catal B Environ*, 2019; 250:250e72.

[41]. Budhraj N., Pal A., Mishra R. Plasma reforming for hydrogen production: pathways, reactors and storage. *Int. J Hydrogen Energy*, 2023; 48(7):2467e82.

[42]. Shi C. et al. A review of different catalytic systems for dry reforming of methane: conventional catalysis-alone and plasma-catalytic system. *J CO2 Util*, 2021; 46:101462

[43]. Fan L., Tu Z., Chan SH. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: a review. *Energy Rep*, 2021; 7:8421e46.

[44]. Президент Байден подписал закон-программу «Региональные центры чистого водорода» (H2Hubs) до десяти проектов водородных хабов имеют право на федеральное финансирование на сумму до 1,25 миллиарда долларов каждый, <https://www.whitecase.com/insight-alert/hydrogen-hub-projects-awarded-7-billion-us-department-energy>

[45]. China's Hydrogen Strategy – Present & Future State. – URL: <https://www.asiaperspective.com/china-hydrogen-energy/>

[46]. R. R. Esily, Y. Chi, D. M. Ibrahim, Y. Chen Hydrogen strategy in decarbonization era: Egypt as a case study *Int. J. Hydrogen Energy* (2022)

[47]. W. Cheng, S. Lee How green are the national hydrogen strategies? *Sustainability*, 14 (3) (2022), p. 1930

[48]. H. Aly Royal dream: city branding and Saudi Arabia's NEOM Middle East-Topics & Arguments, 12 (2019), pp. 99-109

[49]. Кирюшин В. И. Начало освоения целинных земель, *Уроки Целины*, 2015, <https://histrf.ru/read/articles/nachalo-osvoeniia-tsielinykh-ziemiel-event>

[50]. Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию. Деградация земель, 2001, http://www.mkurca.org/temy/degradaciya_zemel/

[51]. Bettayeb K., 2023. A gigantic hydrogen deposit in northeast France? accessed on 12 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[52]. Erussard V., 2023. Energy Observer. What potential for natural hydrogen? accessed on 15 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[53]. Hand. E., 2023. Hidden Hydrogen: Does Earth hold vast stores of a renewable, carbon-free fuel? accessed on 16 January 2024. <https://www.science.org/content/article/hidden-hydrogen-earth-may-hold-vast-stores-renewable-carbon-free-fuel>, doi: 10.1126/science.adh1460

References

- [1]. UNECE, GIZ Germany, 2023, Green Central Asia: strengthening regional dialogue on climate, environment, and security https://unece.org/sites/default/files/2023-06/6_1_Milow_RUS.pdf
- [2]. Millennium Project 2023. Global challenge 2. How to provide everyone with enough clean water without conflict? <https://www.millennium-project.org/challenge-2/>
- [3]. Hassani, A., Azapagic, A. & Shokri, N. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communication* 12, 6663 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>
- [4]. Global Institute for Water Security, Saskatchewan Basin, Canada-USA, <https://water.usask.ca/about/index.php#top>, https://www.cerc.gc.ca/news_room-salle_de_presse/spotlight-pleins_feux/wheater_saskatchewan-eng.aspx, <https://www.redriverbasincommission.org/>
- [5]. Unified geographic information database for modeling emergency situations of the USA-Canada FEMA HAZUS <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus>, <https://www.usehazus.com/canadianhug/>
- [6]. US FEMA, 2023, expenses estimations, <https://www.smartcitiesdive.com/news/fema-climate-billion-dollar-weather-disaster-resilience/685250/>
- [7]. Accumulation of drainage flood waters using artificial groundwater replenishment technologies, Canada-USA, Flood-MAR, <https://floodmar.org/>, <https://inowas.webspace.tu-dresden.de/>, <https://teresa.webspace.tu-dresden.de/>
- [8]. USA, encouraging the population and farmers to use more Flood-MAR technology with funding from grants and soft loans, <https://water.ca.gov/Work-With-Us/Grants-And-Loans>
- [9]. Perrone, 2016, Benefits and Economic Costs of Managed Aquifer Recharge in California, <https://escholarship.org/uc/item/7sb7440w>
- [10]. Ross, A. Benefits and Costs of Managed Aquifer Recharge: Further Evidence. *Water*, 2022, 14, 3257. <https://doi.org/10.3390/w14203257>
- [11]. Richard G. Niswonger, Eric D. Morway, Enrique Triana, Justin L. Huntington, 2017, Managed aquifer recharge through off-season irrigation in agricultural regions, *Water Resources Research* Volume 53, Issue 8 p. 6970-6992
- [12]. Modeling database program of the Ministries of Agriculture Canada-USA SWAT for monitoring the state of soils and water resources with modeling the quality and quantity of surface and ground water and predicting the environmental impact of land use, with methods of land management and climate change, <https://data.nal.usda.gov/dataset/swat-soil-and-water-assessment-tool>, <https://www.weg.uoguelph.ca/weg-model-development/>
- [13]. Garcia, X. (2023). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to quantify the economic value of ecosystem services. *River*, 2, 173-185. <https://doi.org/10.1002/rvr2.47GARCIA|185>
- [14]. Xia Vivian Zhou, Christopher D. Clark, Sujithkumar Surendran Nair, Shawn A. Hawkins, Dayton M. Lambert, *Environmental and economic analysis of using SWAT to simulate the effects of switchgrass production on water quality in an impaired watershed, Agricultural Water Management*, Volume 160, 2015, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.018>
- [15]. The Canada-USA Ministries of Agriculture programs to increase forest cover by requiring the land users to ensure planting and maintenance of forests along reservoirs to increase the snow accumulation and flood mitigation activities [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/\\$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf)
- [16]. Agroforestry economic benefits, <https://regenfarmer.com/economic-benefits-of-agroforestry/#:~:text=Research%20show%20that%20over%20a,type%20of%20agroforestry%20system%20implemented>
- [17]. Agroforestry design software, <https://regenfarmer.com/agroforestry-planning-software/>
- [18]. Hydrogen project of Kazakhstan, 2023, <https://hyrAsia.energy/>, <https://invest.gov.kz/ru/media-center/press-releases/kazakhstan-obespechit-evrosoyuz-zelenym-vodorodom/>, <https://eenergy.media/news/27563>, https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/opresnitelnyiy-zavod-zelenyy-vodorod-tokaev-obsudil-516115/
- [19]. Derwent World Patents Index on Web of Science, 2023, <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/derwent-innovations-index-on-web-of-science/>
- [20]. International Patent Classification (IPC), 2023, <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>
- [21]. Ishaq H., Dincer I., Crawford C. A review on hydrogen production and utilization: challenges and opportunities. *Int. J Hydrogen Energy* 2022; 47(62):26238e64
- [22]. Kaiwen L., Bin Y., Tao Z. Economic analysis of hydrogen production from steam reforming process: a literature review. *Energy Sources B Energy Econ Plann*, 2018; 13(2):109e15.
- [23]. Hohn K. L., Lin Y. C. Catalytic partial oxidation of methanol and ethanol for hydrogen generation. *ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials*, 2009; 2(10):927e40.
- [24]. Rabenstein G., Hacker V. Hydrogen for fuel cells from ethanol by steam-reforming, partial-oxidation and combined auto-thermal reforming: a thermodynamic analysis. *J Power Sources* 2008; 185(2):1293e304.
- [25]. Rafelt J. S., Clark J. H. Recent advances in the partial oxidation of organic molecules using heterogeneous

catalysis. *Catal Today*, 2000; 57(1e2):33e44.

[26]. Vousoughi P., Eyvazi M. Hydrogen production: overview of technology options and membrane in auto-thermal reforming including partial oxidation and steam reforming. *Int. J. of Membrane Science and Technology*, 2015; 2(1):56e67.

[27]. Shaofeng G, Zexue D, Xuhong M. Research progress of ammonia decomposition catalysts for hydrogen generation. *Acta Pet Sin* 2022;38(6):1506.

[28]. Afif A. et al. Ammonia-fed fuel cells: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2016; 60:822e35.

[29]. Wijayanta A. T. et al. Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: comparison review. *Int. J Hydrogen Energy*, 2019; 44(29):15026e44.

[30]. Keipi T., Tolvanen H., Kontinen J. Economic analysis of hydrogen production by methane thermal decomposition: comparison to competing technologies. *Energy Conversion and Management*, 2018; 159:264e73.

[31]. Ursu, A. et al. Integration of commercial alkaline water electrolysis with renewable energies: limitations and improvements. *Int. J Hydrogen Energy*, 2016; 41(30):12852e61

[32]. Rashid M. et al. Hydrogen production by water electrolysis: a review of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis. *Int. J Eng Adv Technol*, 2015; 4(3):80e93.

[33]. Dulta K. et al. Biohydrogen production and its bioeconomic impact: a review. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2022; 4(3):219e30.

[34]. Rathi, B., Kumar, P., Rangasamy, G., Rajendran, S. A critical review on Biohydrogen generation from biomass, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 115-138, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.182>

[35]. Ananthi, V., Ramesh, U., Balaji, P., Kumar, P., Govarthanan, M., Arun, A. A review on the impact of various factors on biohydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 52, Part C, 2024, Pages 33-45, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.046>.

[36]. Tao J. et al. Technologies integration towards bio-fuels production: a state-of-the-art review. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022:100070.

[37]. Song H. et al. Recent development of biomass gasification for H₂ rich gas production. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 10:100059.

[38]. Garcia G., et al. A comprehensive review of hydrogen production from methanol thermochemical conversion for sustainability. *Energy*, 2021; 217:119384

[39]. Wang S., Faravelli T., Yang H. Special issue of

thermo-chemical conversion of biomass. *Applications in Energy and Combustion Science*, 2022; 11:1e3.

[40]. Liu L. et al. Reforming of tar from biomass gasification in a hybrid catalysis-plasma system: a review. *Appl Catal B Environ* 2019; 250:250e72.

[41]. Budhraj N., Pal A., Mishra R. Plasma reforming for hydrogen production: pathways, reactors and storage. *Int. J Hydrogen Energy*, 2023; 48(7):2467e82.

[42]. Shi C. et al. A review of different catalytic systems for dry reforming of methane: conventional catalysis-alone and plasma-catalytic system. *J CO₂ Util* 2021; 46:101462

[43]. Fan L., Tu Z., Chan SH. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: a review. *Energy Rep*, 2021; 7:8421e46.

[44]. President Biden signed into law the Regional Hydrogen Hubs (H₂Hubs) program, with up to ten hydrogen hub projects eligible for up to \$1.25 billion in federal funding each. <https://www.whitecase.com/insight-alert/hydrogen-hub-projects-awarded-7-billion-us-department-energy>

[45]. China's Hydrogen Strategy – Present & Future State. – URL: <https://www.asiaperspective.com/china-hydrogen-energy/>

[46]. R. R. Esily, Y. Chi, D. M. Ibrahim, Y. Chen Hydrogen strategy in decarbonization era: Egypt as a case study *Int. J. Hydrogen Energy* (2022)

[47]. W. Cheng, S. Lee How green are the national hydrogen strategies? *Sustainability*, 14 (3) (2022), p. 1930

[48]. H. Aly Royal dream: city branding and Saudi Arabia's NEOM Middle East-Topics & Arguments, 12 (2019), pp. 99-109

[49]. Kiryushin V. I. The beginning of the development of virgin lands, *Lessons from Virgin Lands*, 2015, <https://histrf.ru/read/articles/nachalo-osvoeniia-tsielinnikh-ziemiel-event>

[50]. Interstate Commission on Sustainable Development, *Land Degradation*, 2001, http://www.mkurca.org/temy/degradaciya_zemel/

[51]. Bettayeb K., 2023. A gigantic hydrogen deposit in northeast France? accessed on 12 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[52]. Erussard V., 2023. Energy Observer. What potential for natural hydrogen? accessed on 15 January 2024. <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

[53]. Hand. E., 2023. Hidden Hydrogen: Does Earth hold vast stores of a renewable, carbon-free fuel? accessed on 16 January 2024. <https://www.science.org/content/article/hidden-hydrogen-earth-may-hold-vast-stores-renewable-carbon-free-fuel>, doi: 10.1126/science.adh1460

Транслитерация по BSI



ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

ENERGY AND ECOLOGY

ПРОБЛЕМЫ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ

PROBLEMS OF UNHEALTHY ATMOSPHERIC EMISSIONS BY HEAT-ELECTRIC GENERATING PLANTS

Статья поступила в редакцию 11.01.24 Ред. Рег. № 298-001-24

The article has entered in publishing office 11.04.24 Ed. Reg. No. 298-001-24

УДК 662.933.22

**ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Синельников Д. С.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
e-mail: sinelnikovden@hotmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.208-213

Заключение совета рецензентов: 16.01.24

Заключение совета экспертов: 18.01.24

Принято к публикации: 29.01.24

Угольная генерация долгое время была и по сей день является одним из лидеров в мировом производстве электроэнергии. По данным Международного энергетического агентства на текущий момент доля угольной генерации составляет около 39 %. Не смотря на общемировой тренд – декарбонизацию, глобальная выработка энергии с использованием угля неуклонно растет. В 2019 году рост угольной генерации составил около 1,5 %. На 2019 год мировые доказанные запасы угля сосредоточены в США (23 %), Российской Федерации (15 %), Австралии (14 %) и Китае (13 %) и составляют около 1070 миллиардов тонн. Потребление высокосернистых вязких мазутов в качестве растопочного, резервного или основного топлива приводит к выбросам помимо токсичных оксидов серы, азота и углерода, но и таких вредных веществ как бенз(а)пирен и пентаоксид ванадия. При образовании оксидов серы растет температура точки росы уходящих газов, что приводит к образованию серной кислоты и, как следствие, к частым ремонтам хвостовых частей котельных агрегатов из-за их коррозии. В статье представлен обзор современных технологий растопки пылеугольных котельных агрегатов, а также представлена оригинальная технология электровоспламенения и опыт внедрения на действующих энергопредприятиях.

Ключевые слова: пиролиз, электрохимический генератор, воздух, КПД, удельный расход, теплоемкость, мощность.

Синельников Д. С. Технология электрического воспламенения пылеугольного топлива и перспективы ее использования //Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 208-213

Sinelnikov D. S. Technology of electric ignition of pulverized coal fuel and prospects of its use // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 208-213



TECHNOLOGY OF ELECTRIC IGNITION OF PULVERIZED COAL FUEL AND PROSPECTS OF ITS USE

Sinelnikov D. S.

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
e-mail: sinelnikovden@hotmail.com

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.208-213

Referred: 16.01.24

Received in revised form: 18.01.24

Accepted: 29.01.24

Coal-fired generation has long been and still is one of the leaders in global power generation. According to the International Energy Agency, the current share of coal-fired generation is about 39%. Despite the global trend of decarbonization, global coal-fired power generation is steadily growing. In 2019, the growth of coal-fired generation amounted to about 1,5 %. As of 2019, global proven coal reserves are concentrated in the United States (23 %), the Russian Federation (15 %), Australia (14 %) and China (13 %) and amount to about 1,070 billion tons. Consumption of high-sulfur viscous fuel oils as a stoking, reserve or main fuel leads to emissions of such harmful substances as benz(a) pyrene and vanadium pentoxide in addition to toxic sulfur, nitrogen and carbon oxides. At formation of sulfur oxides the dew point temperature of flue gases increases, which leads to formation of sulfuric acid and, as a consequence, to frequent repairs of tail parts of boiler units due to their corrosion. The article presents a review of modern technologies of pulverized coal-fired boiler units ignition, and also presents the original technology of electric ignition and the experience of implementation at the operating energy enterprises.

Keywords: pyrolysis, electrochemical generator, air, efficiency, specific flow rate, heat capacity, power.



Синельников
Денис Сергеевич

Denis S. Sinelnikov

Сведения об авторе:

Место работы: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», доцент «Тепловые электрические станции».

Образование: Новосибирский государственный технический университет.

Научное звание: доцент.

Ученая степень: кандидат технических наук.

Область научных интересов: Оптимизация режимов работы энергоблоков ТЭЦ, Повышение эффективности ТЭС на органическом топливе, разработка экологических систем для ТЭС на органическом топливе.

Публикации: более 50 научных трудов, в том числе 1 монография, 12 изобретений.

Author information:

Place of employment: Novosibirsk State Technical University», Associate Professor «Thermal Power Plants».

Education: Novosibirsk State Technical University.

Scientific title: Associate Professor.

Academic degree: PhD in Engineering.

Scientific interests area: Optimization of operation modes of TPP power units, Improving the efficiency of TPPs using fossil fuels, development of environmental systems for TPPs using fossil fuels.

Publications: More than 50 scientific papers, including 1 monograph, 12 inventions.

Введение

Угольная генерация долгое время была и по сей день является одним из лидеров в мировом производстве электроэнергии. По данным Международного энергетического агентства на текущий момент доля угольной генерации составляет около 39 % [1]. Не смотря на общемировой тренд – декарбонизацию, глобальная выработка энергии с использованием угля неуклонно растет. В 2019 году рост угольной генера-

ции составил около 1,5 %. На 2019 год мировые доказанные запасы угля сосредоточены в США (23 %), Российской Федерации (15 %), Австралии (14 %) и Китае (13 %) и составляют около 1070 миллиардов тонн [2]. В 2020 году в связи с пандемией новой коронавирусной инфекции выработка энергии на угольных станциях немного сократилась [3]. Низкосортные угли, такие как бурые угли или лигниты составляют

более 40 % общемировых запасов [4-6]. Что говорит о необходимости перехода на сжигание данных видов углей.

Сжигание угольного топлива в современной промышленности требует разработки современных систем пуска угольных котельных агрегатов без исполь-

зования мазута [7]. Мазут используется для пуска котлов и поддержания горения факела при переходных режимах работы или при низких нагрузках котла [8]. При этом использование мазута имеет ряд недостатков как технических, так и экологических [9].

Таблица сокращений	
Аббревиатуры	
ЭлВС	Электро-Воспламенительная система
СО РАН	Сибирское отделение Российской академии наук
ООО	Общество с ограниченной ответственностью
АО	Акционерное общество
ТЭЦ	Теплоэлектроцентраль
США	Соединенные штаты Америки
СБР	Система безмазутного розжига

1. Краткий анализ аналогов и прототипов

Развитие методов сжигания и поиск способов отказа и сокращения использования высокорекреационных топлив ведется с 50-х годов 20-го века.

Из этих работ можно выделить несколько направлений:

- Применение муфельного воспламенения;
- Применение катализаторов (изменение теплотехнических свойств топлива при помощи различных добавок);
- Механическая активация угля (микро (ультра) помол топлива);
- Применение плазменного воспламенения;
- Использование альтернативного растопочно-го топлива, водорода.

Газообразный водород обладает высокой реакционной способностью и поэтому имеет очень высокую скорость ламинарного горения за счет кинетических, тепловых и диффузионных эффектов. Кинетический эффект вносит наибольший вклад в увеличение скорости пламени, в то время как диффузионные эффекты настолько малы, что ими можно пренебречь [10, 11]. Кроме того, из-за явления водородного охрупчивания, на которое влияют концентрация водорода и рабочее давление [12], увеличение содержания водорода может повлиять на механическую структуру стальных материалов, используемых в трубопроводах. Трудности с внедрением водорода в энергетический сектор все еще сохраняются. Водород может быть получен из различных ресурсов, что делает его более перспективным по сравнению с невозобновляемыми ресурсами.

Муфельные горелки. Основной принцип муфельной технологии – это термическая подготовка пылеугольного топлива в специальных предтопках (муфельных горелках) перед подачей в топочную камеру котла. Воспламенение топлива в муфельной горелке производится за счет температурного излу-

чения от стенок. Следовательно, основным вопросом является способ нагрева муфеля. Недостатками данной технологии является необходимость первичного подвода энергии для разогрева муфеля. Высокая степень недожога угольной пыли при подаче угольной пыли в разогретый муфель. Требования к материалам изготовления, в некоторых случаях – к системе охлаждения.

Применение катализаторов. Данный способ основан на том, что в сжигаемое топливо вносятся соединения или вещества с целью улучшения процессов горения. По сравнению с традиционными способами сжигания органического топлива применение катализаторов позволяет снизить требования к материалам, упростить управление процессом, а также улучшить экологические характеристики работы оборудования. К недостаткам данной технологии стоит отнести высокую стоимость катализаторов и ограниченность применения данной технологии.

Механическая активация (микропомол). Данный способ основан на тонком измельчении и механической активации компонентов угля, что позволяет работать в самостоятельном, самоподдерживающемся автотермическом режиме без дополнительного подвода энергии [13]. Основными недостатками применения технологии микропомола является необходимость размещения сложной системы пылеприготовления (устанавливаются дополнительные мельницы-дезинтеграторы). Промышленных образцов высокопроизводительных мельниц-дезинтеграторов пока нет, наличие в системе изнашивающихся частей (била мельниц или пальцев в дезинтеграторе), требующих частой замены (срок службы «пальцев» дезинтегратора около 300 часов непрерывной работы), требуется инициатор воспламенения, что еще более усложняет компоновку оборудования.



2. Краткая информация о технологии, экспериментальной части и результаты эксперимента

Большинство указанных недостатков нивелируется Электро-Воспламенительной Системой (ЭлВС). Оригинальная технология была разработана сотрудниками ООО «Сибирские энергетические решения» совместно с ООО «ЗиО-Энерджи» при поддержке «Новосибирский Государственный технический университет» и Института Теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН. Первый патент Новосибирскими разработчиками был получен в 2009 году [14]. По принципу воздействия на пылеугольное топливо, данная технология основана на ином механизме воспламенения – электрохимическом, что инициирует протекание гетерогенных химических процессов воспламенения и горения топлива при низких температурах [15]. Это позволяет производить воспламенение и факельное сжигание различного по техническому составу топлива в режимах, недоступных для традиционной плазменной системы [14-18]. При работе системы ЭлВС высокое напряжение в межэлектродном пространстве инициирует процессы колебательного воз-

буждения, диссоциации молекул и ионизации атомов газа, что резко увеличивает количество частиц с энергией, превышающей порог энергетического барьера химической реакции горения, за счёт чего и обеспечивается воспламенение топливной смеси при низкой температуре [17]. Для проведения испытаний воспламенения низкосортных углей был собран испытательный стенд, состоящий из бункера пыли с устройством подачи топлива, пылепровода, трассы подачи сжатого воздуха, смесителя эжекционного типа, трассы подачи первичного воздуха, дутьевого вентилятора, 2-х блоков электродов (1 пара электродов в каждом) подключенных к источнику питания, горелки вихревого типа и дымососа. К одному из электродных блоков подводился только воздух на охлаждение электродов за счет разряжения в горелке. Для проведения испытаний АО «ПАВЛОДАРЭНЕРГО» была предоставлена угольная пыль с Павлодарской ТЭЦ-3. Пылевоздушная смесь подавалась тангенциально через второй электродный блок в вихревую горелку (Рис. 1).

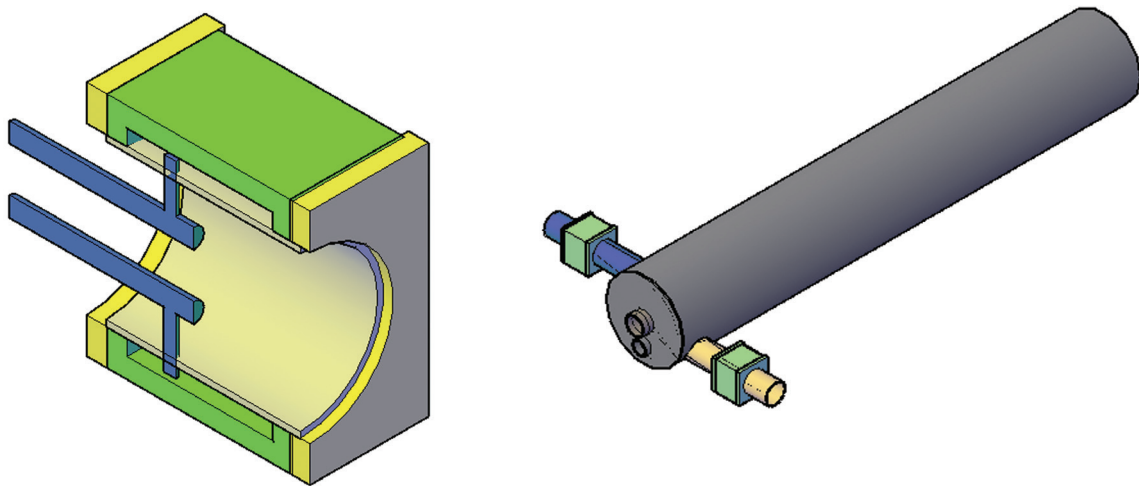


Рис. 1. Модель горелочного устройства и устройство электродного блока

Fig. 1. Burner model and electrode block design

Испытания проводились при температурах первичного и вторичного воздуха, равных температуре в помещении лаборатории (20-23 °С). Процесс испытаний воспламенения представленных образцов угольной пыли выполнялся в два этапа.

Первый этап. Растопка горелочного устройства производилась из холодного состояния. Подача топлива осуществлялась с помощью шнекового пылепитателя посредством эжектора. В работе участвовало 2 блока электродов. Пылевоздушная смесь проходила сквозь один из блоков. При данных условиях получить устойчивое воспламенение пылевоздушной смеси не удалось. Возможной причиной полученного результата, по мнению авторов, является высокая зольность Экибастузских углей. В связи с высокой

зольностью, подводимой энергии оказалось недостаточно для преодоления энергетического барьера для обеспечения устойчивого воспламенения.

Второй этап имел принципиальное отличие. Условия оставались прежними, но был произведен предварительный прогрев топочной камеры горелочного устройства. Прогрев производился бурными углями Ирша-Бородинского разреза (данный тип углей воспламеняется из холодного состояния [19]). После того, как горелочное устройство было прогрето до ≈ 450 °С, была организована подача испытуемого топлива. Время прогрева составило около 4-х минут. При условии предварительного прогрева топливо успешно воспламенилось.

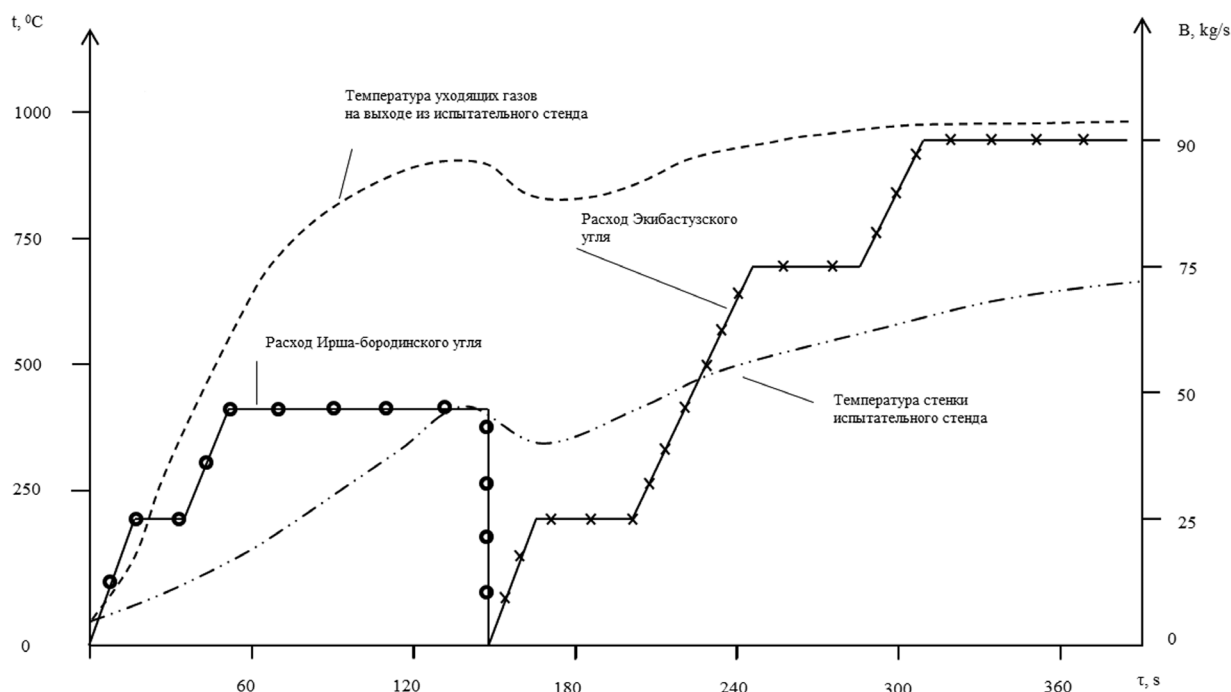


Рис. 2. Режимные показатели сжигания угольной пыли на испытательном стенде в табл. 4.

Fig. 2. Operating parameters for combustion of coal dust on a test bench in table. 4.

Заключение

Разработано и промышленно опробовано техническое решение по организации системы безмазутного розжига. Система безмазутного розжига позволяет стабильно воспламенять холодную угольную пыль в течении 2-5 секунд с момента включения пылепитателя. Горелочные устройства, оборудованные СБР, возможно использовать в качестве для подсветки и подхвата основного факела. Применение СБР позво-

ляет растопить котел, не выходя за штатное время растопки.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках программы развития НГТУ.

Список литературы

- [1]. Резкий подъем угольной энергетики выводит ее на новый рекорд в 2021 году, угрожает целям «чистого нуля». <https://www.iea.org/news/coal-power-s-sharp-rebound-is-taking-it-to-a-new-record-in-2021-threatening-net-zero-goals>.
- [2]. Statistical Review of World Energy 2021. 70th edition. BP p.l.c. 2021. 69 с.
- [3]. Yang Z., Guo F., Xia Y., Xing Y., Gui X. Improved floatability of low-rank coal through surface modification by hydrothermal pretreatment. *J Clean Prod* 2020;246:119025.
- [4]. Wang D., Xu M., He J, Wang L. Flotation of low rank coal using dodecane after pretreatment by dielectric barrier discharge (DBD) air plasma. *Fuel* 2019; 251: 543–50.
- [5]. Yu X., Luo Z., Gan D. Desulfurization of high sulfur fine coal using a novel combined beneficiation process. *Fuel* 2019;254:115603. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.06.011>.
- [6]. Chaurasia R. C., Sahu D., Nikkam S. Cleaning of coal by multi gravity separator. *Trans Indian Inst Met* 2018; 71(6):1487–95.
- [7]. V. A. Pinchuk, T. A. Sharabura, A. V. Kuzmin. The effect of water phase content in coal-water fuel on regularities of the fuel ignition and combustion, *Fuel Process. Technol.* 191 (2019) 129–137, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.04.011>.
- [8]. D. T. Pio, L.A.C. Tarelho, T.F.V. Nunes, M. F. Baptista, M.A.A. Matos, Co-combustion of residual forest biomass and sludge in a pilot-scale bubbling fluidized bed, *J. Clean. Prod.* 249 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119309>. Article number 119309.
- [9]. D. T. Pio, L.A.C. Tarelho, T.F.V. Nunes, M. F. Baptista, M.A.A. Matos, Co-combustion of residual forest biomass and sludge in a pilot-scale bubbling fluidized bed, *J. Clean. Prod.* 249 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119309>. Article number 119309.
- [10]. Kapdan I. K., Kargi F. Bio-hydrogen pro-

duction from waste materials. *Enzym Microb Technol* 2006;38:569e82. <https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2005.09.015>

[11]. Tang C. L., Huang Z. H., Law C. K. Determination, correlation, and mechanistic interpretation of effects of hydrogen addition on laminar flame speeds of hydrocarbon-air mixtures. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2011. Vol. 33.P. 921–928.

[12]. Abdin Z., Zafaranloo A., Rafiee A., M'erida W, Lipinski' W, Khalilpour KR. Hydrogen as an energy vector. *Renew Sustain Energy Rev* 2020; 120:109620.

[13]. Messerle, V., A. Ustimenko, O. Lavrichshev. 2021. Plasma-fuel systems for clean coal technologies, *Proc. Inst. Civ. Eng* 174:79-83. DOI: 10.1680/jener.19.00053.

[14]. Наумов Ю. И. Патент RU №2410603, С 1, МКИ F23 Q 5/00, F23Q13/00, 2009.

[15]. Десятков Г. А., Мусин Н. У., Сайченко А. Н.,

Энгельшт В. С. Патент SU №1636647, А1, МКИ F23Q 5/00, 1989.

[16]. Жуков М. Ф., Карпенко Е. И., Перегудов В. С. и др. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 304 с. – Низкотемпературная плазма. Т.16.

[17]. Кондратьев В. И., Е. Е. Никитин. Кинетика и механизм газофазных реакций. М.: Наука, 1975.

[18]. Ягодников Д. А., Воронетский А. В. Влияние внешнего электрического поля на особенности процессов воспламенения и горения. *Физика горения и взрыва*. 1994, № 3, с. 3-12.

[19]. Sinelnikov, D. S., Shikhotinov A. V. 2022. *Thermal Engineering* 69:902–907. DOI: 10.1134/S0040601522100081

References

[1]. The sharp rise of coal power is taking it to a new record in 2021, threatening “net zero” goals. <https://www.iea.org/news/coal-power-s-sharp-rebound-is-taking-it-to-a-new-record-in-2021-threatening-net-zero-goals>.

[2]. Statistical Review of World Energy 2021. 70th edition. BP p.l.c. 2021. 69 p.

[3]. Yang Z., Guo F., Xia Y., Xing Y., Gui X. Improved floatability of low-rank coal through surface modification by hydrothermal pretreatment. *J Clean Prod* 2020;246:119025.

[4]. Wang D., Xu M., He J, Wang L. Flotation of low rank coal using dodecane after pretreatment by dielectric barrier discharge (DBD) air plasma. *Fuel* 2019; 251:543–50.

[5]. Yu X., Luo Z., Gan D. Desulfurization of high sulfur fine coal using a novel combined beneficiation process. *Fuel* 2019;254:115603. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.06.011>.

[6]. Chaurasia R. C., Sahu D., Nikkam S. Cleaning of coal by multi-gravity separator. *Trans Indian Inst Met* 2018; 71(6):1487–95.

[7]. V. A. Pinchuk, T. A. Sharabura, A. V. Kuzmin. The effect of water phase content in coal-water fuel on regularities of the fuel ignition and combustion, *Fuel Process. Technol.* 191 (2019) 129–137, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.04.011>.

[8]. D. T. Pio, L.A.C. Tarelho, T.F.V. Nunes, M. F. Baptista, M.A.A. Matos, Co-combustion of residual forest biomass and sludge in a pilot-scale bubbling fluidized bed, *J. Clean. Prod.* 249 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119309>. Article number 119309.

[9]. D. T. Pio, L.A.C. Tarelho, T.F.V. Nunes, M. F. Baptista, M.A.A. Matos, Co-combustion of residual forest biomass and sludge in a pilot-scale bubbling fluidized bed, *J. Clean. Prod.* 249 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119309>. Article number 119309.

[10]. Kapdan I. K., Kargi F. Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzym Microb Technol* 2006;38:569e82. <https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2005.09.015>

[11]. Tang C. L., Huang Z. H., Law C. K. Determination, correlation, and mechanistic interpretation of effects of hydrogen addition on laminar flame speeds of hydrocarbon-air mixtures. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2011. Vol. 33.P. 921–928.

[12]. Abdin Z., Zafaranloo A., Rafiee A., M'erida W, Lipinski' W, Khalilpour KR. Hydrogen as an energy vector. *Renew Sustain Energy Rev* 2020; 120:109620.

[13]. Messerle, V., A. Ustimenko, O. Lavrichshev. 2021. Plasma-fuel systems for clean coal technologies, *Proc. Inst. Civ. Eng* 174:79-83. DOI: 10.1680/jener.19.00053.

[14]. Naumov Yu. I. Patent RU No. 2410603, С 1, МКИ F23 Q 5/00, F23Q13/00, 2009.

[15]. Desyatkov G. A., Musin N. U., Saichenko A. N., Engelsht V. S. Patent SU No. 1636647, А1, МКИ F23Q 5/00, 1989.

[16]. Zhukov M. F., Karpenko E. I., Peregudov V.S. et al. Plasma oil-free firing of boilers and stabilization of the combustion of a pulverized coal torch. *Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company RAS*, 1995. – 304 p. – Low temperature plasma. Т.16.

[17]. Kondratyev V.I., E.E. Nikitin. Kinetics and mechanism of gas-phase reactions. М.: Nauka, 1975.

[18]. Yagodnikov D. A., Voronetsky A. V. The influence of an external electric field on the features of ignition and combustion processes. *Physics of combustion and explosion*. 1994, no. 3, p. 3-12.

[19]. Sinelnikov, D. S., Shikhotinov A. V. 2022. *Thermal Engineering* 69:902–907. DOI: 10.1134/S0040601522100081

Транслитерация по BSI





ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОЧИСТКИ ТРУБОПРОВОДОВ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Щеклеин С. Е.¹, Сергеев А. Н.¹, Сурганов О. А.¹, Шастин А. Г.¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия
s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.214-224

Заключение совета рецензентов: 22.01.24

Заключение совета экспертов: 25.01.24

Принято к публикации: 30.01.24

В процессе эксплуатации энергоблоков АЭС в трубопроводах различных систем происходит накопление радиоактивных отложений, создающих впоследствии высокие дозовые нагрузки на персонал, выполняющий работы по демонтажу данных трубопроводов в рамках ремонта или вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС.

Приведены экспериментальные результаты абразивной очистки металлических поверхностей от накопившихся загрязнений, имитирующих радиоактивные отложения пароводяных контуров ядерно-энергетических установок. Проведено сравнение качества очистки поверхностей различными абразивными составами с применением стандартизированного визуального метода. Даны рекомендации о дальнейших шагах по развитию методов бездемонтажной внутритрубной абразивной дезактивации.

Ключевые слова: дезактивация, абразив, алунд, купершлак, диатомит, радиоактивные отходы, радиоактивность.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFICIENCY OF ABRASIVE CLEANING OF NUCLEAR POWER INSTALLATIONS'S PIPELINES

Shcheklein S. E.¹, Sergeyev A. N.¹, Surganov O. A.¹, Shastin A. G.¹

¹ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia
s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.214-224

Referred: 22.01.24

Received in revised form: 25.01.24

Accepted: 30.01.24

In the course of operation of NPP power units, radioactive deposits accumulate in the pipelines of various systems, which subsequently create high dose loads on the personnel performing work on the dismantling of these pipelines as

Щеклеин С. Е., Сергеев А. Н., Сурганов О. А., Шастин А. Г. Экспериментальное исследование эффективности абразивной очистки трубопроводов ядерно-энергетических установок // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 214-224

Shcheklein S. E., Sergeyev A. N., Surganov O. A., Shastin A. G. Experimental study of the efficiency of abrasive cleaning of nuclear power installations's pipelines // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 214-224



part of the repair or decommissioning of NPP power units.

There are experimental results of abrasive cleaning of metal surfaces from accumulated contaminants which imitate radioactive deposits of steam-water circuits of nuclear power plants. The quality of cleaning surfaces with various abrasive compositions was compared with using a standardized visual method. Recommendations are given on further steps in the development of non-dismantling in-line abrasive decontamination methods.

Keywords: decontamination, abrasive, alundum, cooper slag, diatomite, radioactive waste, radioactivity.



Щеклеин
Сергей Евгеньевич
Sergey E. Shcheklein

Сведения об авторе: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972 г.).

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок, проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков, продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС, солнечная энергетика, ветровая энергетика, биоэнергетика.

Научный руководитель ряда реализованных инновационных проектов в т.ч. «Энергоэффективный дом для села», «Системы солнечного энергоснабжения автономных потребителей специального назначения», «Солнечные системы охранной сигнализации» и др.

Член редколлегии журналов «Известия вузов. Ядерная энергетика», международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология», международного научного журнала «Гелиотехника». Заслуженный энергетик России, лауреат Национальной экологической премии им. В. И. Вернадского, действительный член Международной энергетической академии. Индекс Хирша РИНЦ – 17.

Публикации: более 500 научных трудов, в том числе 5 монографий, 85 изобретений.

Author information: Doctor of technical science, professor, Urals Federal University, head of Atomic Stations and Renewable Energy Sources Department.

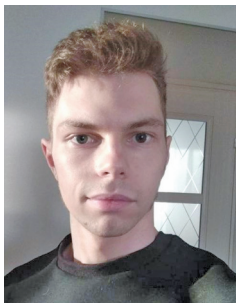
Education: Urals Polytechnic Institute (1972).

Scientific interests area: nuclear power unit's thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics.

A scientific director of several realized innovation projects, including «The energoefficient house for the village», «Special systems of individual consumer solar energy supply», «The solar systems for the guarding alarm» etc.

A member of the editorial board of «Institute of Higher Education News. Nuclear Power», International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology magazine, International Scientific Journal «Heliotechnics». An Honoured power engineering specialist of Russian Federation, Laureate of the Vernadsky National Environmental Prize, a member of International Energy Academy. Hirsch Index INDEX – 17.

Publications: more than 500 scientific works, including 5 monographs, 85 inventions.



Сергеев
Александр Николаевич
Aleksandr N. Sergeev

Сведения об авторе: студент кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Образование: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (2023 г.).

Область научных интересов: обращение с радиоактивными отходами, радиационная безопасность человека и окружающей среды.

Публикации: 2 доклада на научных конференциях.

Information about the author: student of the Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources of the Ural Energy Institute of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.

Education: Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin (2023).

Research interests: radioactive waste management, radiation safety of humans and the environment.

Publications: 2 papers at the Science Conferences.





Сурганов
Олег Алексеевич
Oleg A. Surganov

Сведения об авторе: ассистент кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, инженер филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Белоярская атомная станция».

Образование: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (2019 г.).

Область научных интересов: обращение с радиоактивными отходами, радиационная безопасность человека и окружающей среды.

Публикации: 5 докладов на научных конференциях.

Information about the author: assistant of the Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources of the Ural Energy Institute of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, engineer of the Beloyarsk Nuclear Power Plant.

Education: Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin (2019).

Research interests: radioactive waste management, radiation safety of humans and the environment.

Publications: 5 papers at the Science Conferences.



Шастин
Арнольд Георгиевич
Arnold G. Shastin

Сведения об авторе: кандидат технических наук, профессор кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Образование: Уральский политехнический институт (1961).

Область научных интересов: Сфера деятельности – атомная энергетика.

Руководил рядом производственных подразделений Белоярской АЭС (1969-1980). Организатор и первый директор предприятия «Атомспецконтроль» (1981-2005). Главный конструктор, советник технического директора ПО «Атомэнергоремонт» (2006-2014).

Участник ликвидации последствий Чернобыльской аварии.

Награды: Заслуженный энергетик РФ, Орден Трудового Красного Знамени, Орден Почета, благодарственное письмо Законодательного Собрания Свердловской области.

Публикации: Имеет более 50 печатных работ в т.ч. 38 патентов на изобретения.

Information about the author: Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.

Education: Ural Polytechnic Institute (1961).

Research interests: The field of activity is nuclear energy. He headed a number of production units of the Beloyarsk NPP (1969-1980). Organizer and the first director of the enterprise «Atomspetscontrol» (1981-2005). Chief Designer, Advisor to the Technical Director of PA Atomenergoremont (2006-2014). He participated in the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident.

Awards: Honored Power Engineer of the Russian Federation, Order of the Red Banner of Labor, Order of Honor, Letter of Appreciation from the Legislative Assembly of the Sverdlovsk Region.

Publications: He has more than 50 publications, including 38 patents for inventions.

Введение

На атомных станциях России в настоящий момент расположены одиннадцать работающих и семь остановленных и находящихся в различных стадиях вывода из эксплуатации ядерно-энергетических установок с уран-графитовыми канальными реакторами. Конструкция таких реакторов предполагает один кон-

тур циркуляции, то есть кипение теплоносителя происходит в активной зоне. Транспортировка пароводяной смеси от каналов активной зоны к сепараторам происходит с помощью разветвленной сети пароводяных коммуникаций (ПВК). Долгие годы эксплуатации канальных реакторов привели к накоплению больших объемов отложений в трубопроводах ПВК, сосредоточивших в себе до 90-95 % радиоактивности

контуров [1-6]. На данный момент для удаления радиоактивных отложений из ПВК АЭС широко применяются жидкостные химические методы дезактивации, однако существенным недостатком таких методов является образование большого количества ЖРО, нуждающихся в длительных и дорогостоящих процедурах по переводу в твёрдое состояние [7-12]. Также известны физические методы дезактивации, основанные на механическом, гидромеханическом, ультразвуковом и других воздействиях на поверхности. Однако данные методы требуют предварительного

демонтажа и фрагментации оборудования, что ведёт к высоким дозовым нагрузкам на персонал [13-29].

В качестве решения вышеперечисленных проблем предлагается технология абразивной очистки трубопроводов от радиоактивных отложений, суть которой заключается в обработке внутренней поверхности трубопроводов абразивными составами, которые впоследствии могут составить основу керамической матрицы, включающей в себя образующиеся в процессе очистки жидкие радиоактивные отходы [30].

Таблица сокращений	
Абревиатуры	
АЭС	Атомная электростанция
ПВК	Паро-водяные коммуникации
РАО	Радиоактивные отходы
ЖРО	Жидкие радиоактивные отходы
ГОСТ	Государственный стандарт
ЯЭУ	Ядерные энергетические установки

1. Описание эксперимента

В ходе эксперимента проводилось сравнение эффективности следующих методов очистки: гидравлический, гидроабразивный с различными компонентами, сухой абразивный с различными компонентами, метод механической (ручной) очистки. Сравнение эффективности методов осуществлялось по критерию возможности, а также скорости достижения наивысших степеней очистки металлических поверхностей, регламентируемых следующими стандартами: «ГОСТ 9.402-2004. Межгосударственный стандарт. Единая

система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию» и «ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 1. Степень окисления и степени подготовки непокрытой стальной поверхности и стальной поверхности после полного удаления прежних покрытий». Описание степеней очистки по ГОСТ 9.402-2004 и ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 приведено в таблицах 1 и 2 соответственно.

Степень очистки поверхности металлических изделий от окалины и ржавчины
(по ГОСТ 9.402-2004)

Таблица 1

The degree of cleaning of the surface of metal products from scale and rust
(according to GOST 9.402-2004)

Table 1

Степень очистки	Характеристика очищенной поверхности	Характеристика обрабатываемых изделий и материала
1	При осмотре с шестикратным увеличением окалины и ржавчина не обнаружены	Изделия из 1-й и 2-й групп металлов, подлежащие окрашиванию по 1-му и 2-му классам по ГОСТ 9.032
2	При осмотре невооруженным глазом не обнаружены окалины, ржавчина, пригар, остатки формовочной смеси и другие неметаллические слои	Изделия из 1-й и 2-й групп металлов, подлежащие фосфатированию и окрашиванию
3	Не более чем на 5 % поверхности имеются пятна и полосы плотно сцепленной окалины и литейная корка, видимые невооруженным глазом. На любом из участков поверхности изделия окалины занимает не более 10 % площади пластины размером 25x25 мм	Изделия из чугуна и стального литья, поковок и горячих штамповок, прокат и изделия сложной формы
4	С поверхности удалены ржавчина и отслаивающаяся окалины	Труднодоступные места крупногабаритных изделий сложной формы из металла толщиной не менее 4 мм

Степень очистки	Характеристика степени очистки	Описание очищенной поверхности
Sa 1	Слабая абразивная струйная очистка	При осмотре без применения увеличительных приборов поверхность должна быть свободной от масла, консистентной смазки и грязи, а также от легко отделимой прокатной окалины, продуктов коррозии, лакокрасочных покрытий и посторонних частиц
Sa 2	Тщательная абразивная струйная очистка	При осмотре без применения увеличительных приборов поверхность должна быть свободной от масла, консистентной смазки и грязи, а также от большей части прокатной окалины, коррозии, лакокрасочных покрытий и посторонних частиц. Допускается наличие на поверхности трудно отделимой остаточной прокатной окалины
Sa 2 1/2	Сверхтщательная абразивная струйная очистка	При осмотре без применения увеличительных приборов поверхность должна быть свободной от масла, консистентной смазки и грязи, а также от прокатной окалины, коррозии, лакокрасочных покрытий и посторонних частиц. Любые оставшиеся следы очистки допускаются в виде бледных пятен, точек или полос
Sa 3	Абразивная струйная очистка до видимой чистой стали	При осмотре без применения увеличительных приборов поверхность должна быть свободной от масла, консистентной смазки и грязи, а также от прокатной окалины, коррозии, лакокрасочных покрытий и посторонних частиц. Она должна иметь равномерный металлический цвет

За образцы для абразивной очистки были взяты металлические пластины размером 100 x 100 мм, покрытые слоем коррозии (рисунок 1). Образцы подвергались гидравлической, гидроабразивной и сухой абразивной обработке, а также механической очистке с использованием металлической щётки. В качестве абразивных добавок использовались купершлак и алунд, как добавки с хорошими абразивными свойствами [24], и диатомит, как абразив с высокими показателями сорбции радионуклидов [25]. Фракция добавок составляла 100 микрон. Для гидравлической и гидроабразивной обработки применялась мойка высокого давления К 5.20 М с рабочим давлением 12 бар. Для сухой абразивной очистки использовались пескоструйный пистолет «АвтоДело» 42335 и компрессор FUBAGDC 320/50 CM2.5 с рабочим давлением 8 бар.

Образцы располагались на расстоянии 20 мм от сопла. В ходе их обработки вышеперечисленными методами менялись углы подачи воды и абразива (10°, 60°, 90°) и время обработки (10, 30, 60, 120 секунд). Время обработки более 120 секунд было решено считать нецелесообразным ввиду значительного количества радиоактивных отходов, образующихся при таких условиях в случае очистки поверхностей от отложений, содержащих радионуклиды. Оценка степени очистки поверхности обработанных образцов проводилась как при их осмотре без увеличительных приборов, так и при сорокакратном увеличении изображения их поверхности с помощью микроскопа «МИКРОМЕД Р-1» и последующим сопоставлением изображений с критериями, приведенными в таблицах 1, 2.

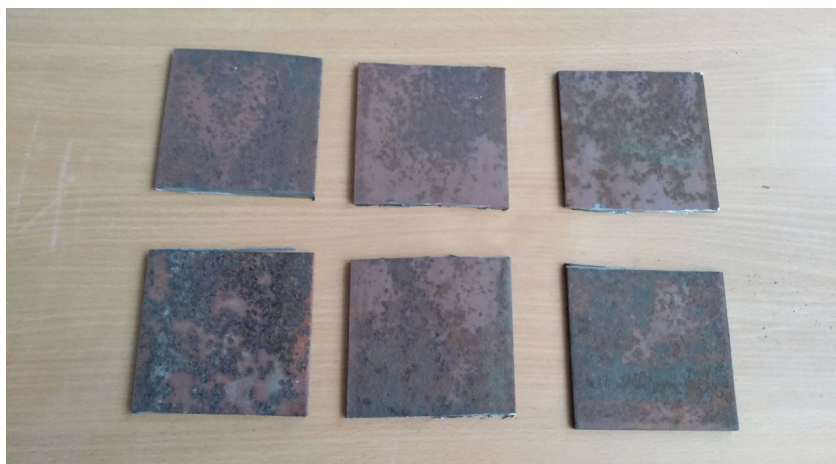


Рис. 1. Образцы до проведения обработки
 Fig. 1. Samples before processing

2. Результаты

В таблице 3 приведены данные, позволяющие оценить эффективность применения различных методов очистки. В качестве сравнения выступала степень достигаемой очистки по ГОСТ 9.402-2004 и по ГОСТ

Р ИСО 8501-1-2014, а также скорость её достижения. Фотографии образцов без применения увеличительных приборов и при сорокакратном увеличении, прошедших очистку разными методами в течение 120 секунд, приведены на рисунке 2.

Таблица 3

Сравнительные результаты достигаемой степени очистки и скорости её достижения различными методами очистки

Table 3

Comparative Results of the Degree of Purification Achieved and the Speed of Its Achievement Various cleaning methods

Метод очистки	Время проведения очистки, с	Достигнутая степень очистки по ГОСТ 9.402-2004	Достигнутая степень очистки по ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014
Гидравлическая	10	-	-
	30	-	-
	60	4	Sa 1
	120	4	Sa 1
Механическая (щёткой)	10	-	-
	30	4	Sa 1
	60	4	Sa 1
	120	4	Sa 1
Сухая абразивная с купершлаком	10	4	Sa 1
	30	3	Sa 2 1/2
	60	3	Sa 2 1/2
	120	1	Sa 3
Сухая абразивная с алундом	10	4	Sa 1
	30	3	Sa 2 1/2
	60	3	Sa 2 1/2
	120	1	Sa 3
Гидроабразивная с купершлаком	10	4	Sa 1
	30	3	Sa 2 1/2
	60	3	Sa 2 1/2
	120	1	Sa 3
Гидроабразивная с алундом	10	4	Sa 1
	30	3	Sa 2 1/2
	60	3	Sa 2 1/2
	120	1	Sa 3
Гидроабразивная с диатомитом	10	4	Sa 1
	30	4	Sa 1
	60	4	Sa 1
	120	3	Sa 2 1/2



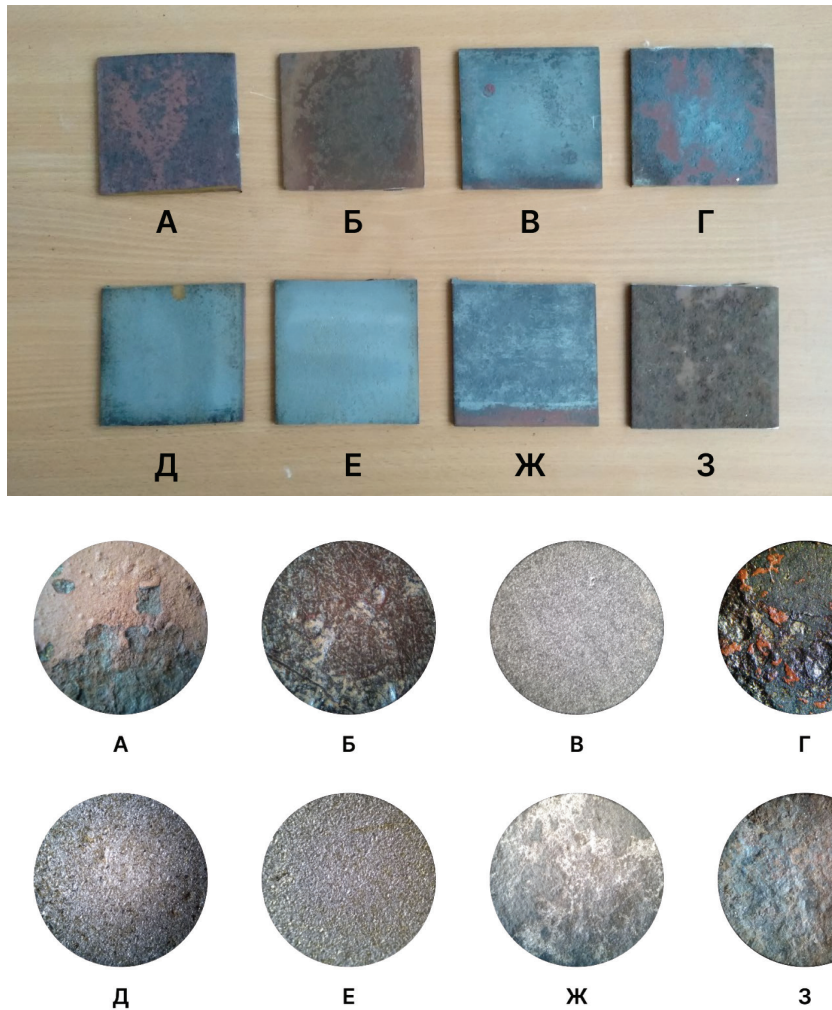


Рис. 2. Внешний вид образцов без применения увеличительных приборов и при сорокакратном увеличении после проведения очистки различными методами в течение 120 секунд

(А – гидравлическая очистка, Б – механическая очистка (щёткой), В – сухая абразивная очистка купершлаком, Г – гидроабразивная очистка диатомитом, Д – гидроабразивная очистка алундом, Е – гидроабразивная очистка купершлаком, Ж – сухая абразивная очистка алундом, З – необработанная поверхность)

Fig. 2. Appearance of samples without the use of magnifying devices and at a forty-fold magnification after cleaning using various methods for 120 seconds (A – hydraulic cleaning, B – mechanical cleaning (brush) C – dry abrasive cleaning with cooper slag, D – water-jet cleaning with diatomaceous earth, E – water-jet cleaning with alundum, E – water-jet cleaning with cooper slag, F – dry abrasive cleaning with alundum, Z – untreated surface)

Из полученных данных видно, что гидравлическая и механическая очистка не оказывают практически никакого эффекта на обрабатываемую поверхность. Сухая и гидроабразивная очистка с применением алунда или купершлака в течение 120 секунд позволяет полностью убрать с поверхности металла все загрязнения и добиться наивысших степеней очистки. Проведение очистки под углами 60° и 90° не принесло никаких значимых результатов. Эффективность проведённой очистки наблюдалась только под углом подачи воды и абразива в 10° .

Очистка с применением диатомита также оказалась малоэффективной – его абразивных свойств недостаточно для очистки значительной части поверхности. Тем не менее, при дезактивации ПВК диатомит может применяться в качестве второстепенной

добавки в абразивный раствор ввиду его высоких сорбционных показателей, позволяющих захватывать и уносить из очищаемого трубопровода радионуклиды. А впоследствии диатомит может стать основой фосфатной керамической матрицы, в которую может быть переведена суспензия с продуктами дезактивации ПВК [10, 11]. Процесс включения жидких радиоактивных отходов в фосфатную керамику по простоте сравним с цементированием и происходит либо при комнатной температуре, либо при температуре, не превышающей 200°C , что позволяет избежать больших энергозатрат, появления вредных летучих веществ, а также последующего процесса вывода из эксплуатации высокотемпературных установок, что может представлять серьезную радиоэкологическую проблему [12, 13].

Дополнительно был проведён эксперимент по абразивной очистке металлических поверхностей образцов, позволяющий оценить эффективность удаления отложений с внутренней поверхности трубопроводов при пропускании гидроабразивного раствора через трубу, путём крепления на выходе сопла для гидроабразивной обработки поочерёдно двух пластиковых труб длиной 500 мм и 1135 мм. В результате удалось добиться степеней очистки 3 по ГОСТ 9.402-2004 и Sa 2 1/2 по ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 за 120 секунд гидроабразивной очистки с применением алунда. Однако помимо достигаемой степени очистки пострадала и площадь очищаемой поверхности образцов. В случае с трубой длиной 500 мм удалось очистить не более 20 % поверхности образца, в случае с трубой длиной 1135 мм – не более 70 %. Изображения образцов после очистки приведены на рисунке 3.

Результаты эксперимента показывают, что при прохождении через трубу абразивные частицы очень быстро теряют свою энергию при соударении с её стенками, из чего следует, что способ дезактивации

в виде прокачки абразивного раствора через длинномерные ПВК может оказаться неэффективным. Однако решением в данном случае может быть использование специальных форсунок для пескоструйных аппаратов, протягиваемых через трубопровод и направляющих поток абразивных частиц под углом 360° , в результате чего будут создаваться условия очистки, идентичные тем, что были описаны в первой части эксперимента, и чья эффективность была подтверждена результатами в таблице 3.

Дополнительным фактором, ускоряющим процесс очистки трубопроводов, может послужить применение ультразвуковых излучателей, прикрепляемых к очищаемому объекту. Под воздействием ультразвуковой кавитации и абразивных частиц, ускоренных акустическими течениями, эффективность вырывания частиц с очищаемой поверхности будет выше. Вдобавок, при добавлении в раствор частиц диатомита, кавитация приведёт к их дроблению, увеличив их площадь и, таким образом, сорбционные свойства дезактивирующего раствора [10, 14].

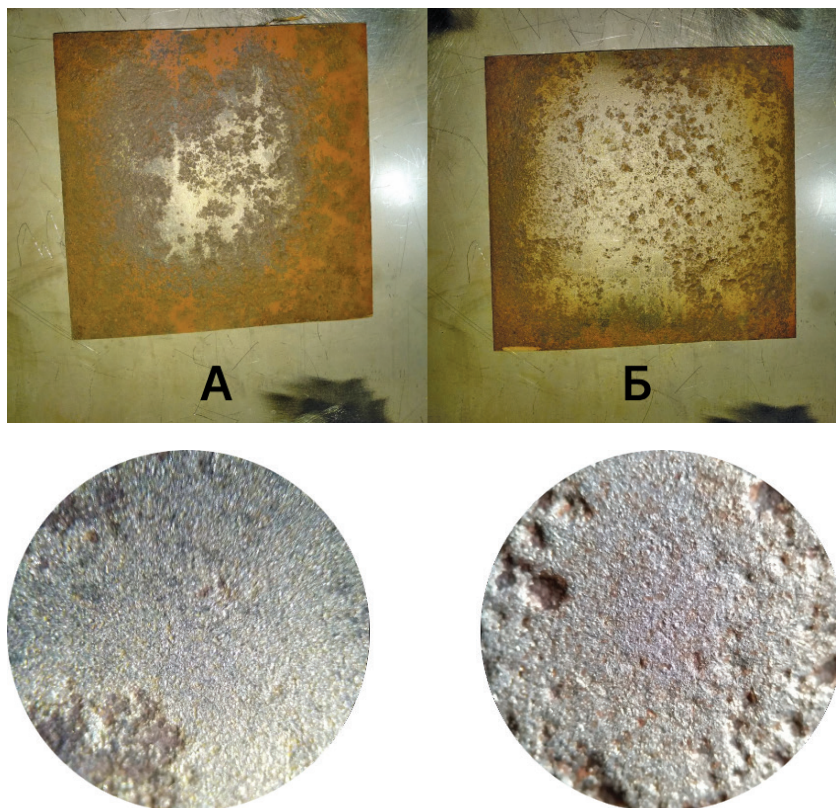


Рис. 3. Внешний вид образцов без применения увеличительных приборов и при сорокакратном увеличении после проведения очистки с пропусканием гидроабразивного раствора с алундом через трубопровод в течение 120 секунд.
(А – длина трубы 1135 мм, Б – длина трубы 500 мм)

Fig. 3. Appearance of samples without the use of magnifying devices and at a forty-fold increase after cleaning with passing a waterjet solution with alundum through the pipeline for 120 seconds.
(A – pipe length 1135 mm, B – pipe length 500 mm)

3. Заключение

В ходе экспериментального исследования установлено, что абразивная очистка металлических поверхностей с применением купершлака и алунда позволяет добиться наивысших стандартизированных по ГОСТ 9.402-2004 и ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 степеней очистки. Это позволяет говорить об эффективности сухой и гидроабразивной очистки с данными компонентами для дезактивации поверхностей, загрязнённых радиоактивными отложениями. Несмотря на высокие сорбционные показатели диатомита, этот материал оказался непригоден в качестве абразивного компонента дезактивирующего раствора.

Также из эксперимента стало известно, что для целей дезактивации внутренних поверхностей ПВК недостаточно осуществить циркуляцию гидроабразивного раствора – необходимо прямое воздействие абразивного компонента на внутреннюю поверхность трубопровода, для чего предложено либо интенсифицировать дезактивацию с помощью ультразвукового воздействия на контур, либо использовать специальную насадку на сопло абразивного оборудования, которая может протянуться через сети ПВК и направить потоки абразива на дезактивируемые поверхности.

Список литературы

[1]. Симановский В. М., Ампелогова Н. И., Крицкий В. Г., Былкин Б. К. и др. Применение опыта дезактивации энергоблоков АЭС с реакторами РБМК при их выводе из эксплуатации. «Теплоэнергетика» –1999. – №. 10. – С. 51-55.

[2]. Архангельский Е. Б. и др. Об оценке активности радиоактивных продуктов коррозии и продуктов деления на внутренних стенках трубопроводов контуров АЭС с РБМК // Известия Академии промышленной экологии. – 2001. – №. 2. – С. 76-80.

[3]. Тяпков В. Ф. и др. Образование продуктов коррозии в теплоносителе и отложениях в контуре многократной принудительной циркуляции АЭС с РБМК-1000 // Теплоэнергетика. – 2007. – №. 12. – С. 55-59.

[4]. Черников О. Г. и др. Метод прогноза мощности дозы гамма-излучения в помещениях КМПП РБМК-1000 по данным химического и радиоспектрометрического контроля теплоносителя // Теплоэнергетика. – 2009. – №. 5. – С. 39-44.

[5]. Çetin Y., Acir A. Simulating the erosion modelling of pipes used in nuclear power plants in terms of physical decontamination // Progress in Nuclear Energy. – 2022. – Т. 150. – С. 104284.

[6]. Zhong L. et al. Existing and potential decontamination methods for radioactively contaminated metals-A Review // Progress in Nuclear Energy. – 2021. – Т. 139. – С. 103854.

[7]. Ампелогова Н. П., Симановский Ю. М., Трапезникова А. А. Дезактивация в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 256 с.

[8]. Итиге Х., Такигути Х. Химическая дезактивация на АЭС «Атомная техника за рубежом» № 6 (10-24). 2001.

[9]. Патент 2245587 РФ МПК G21F 9/28. Способ дезактивации контура многократной принудительной циркуляции энергетического ядерного реактора / В. И. Лебедев, В. М. Тишков, Л. В. Шмаков, С. М. Ковалёв / заявл. 15.05.2023; опублик. 27.01.2005 Бюл. № 3 – 10 с.; ил.

[10]. Зимон А. Д., Пикалов В. К. Дезактивация. – М.: ИздАТ, 1994. – 336 с.

[11]. Ампелогова Н. И. и др. Дезактивация оборудования и систем 1-го блока Ленинградской АЭС при выводе из эксплуатации // Атомная энергия. – 1998. – Т. 85. – №. 2. – С. 138-143.

[12]. Алешин А. М., Змитродан А. А., Кривобоков В. В. Разработка и применение технологии дезактивации оборудования и трубопроводов наземного стандарта-прототипа транспортной ЯЭУ // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – 2019. – №. 4. – С. 34-49.

[13]. Наумов А. А., Ташлыков О. Л. Минимизация дозовых затрат при ремонтном обслуживании систем и оборудования АЭС // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2010. – №. 1. – С. 80-88.

[14]. Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е. О влиянии на эффективность дезактивации конструктивных особенностей систем реакторной установки // Научные труды VI отчетной конференции молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. Ч. 1. – Екатеринбург, 2004. – Уральский государственный технический университет-УПИ, 2004. – С. 187-188.

[15]. Юрманов В. А. и др. Безопасный способ дезактивации первых контуров АЭС при подготовке к выводу из эксплуатации // Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике. – 2017. – С. 133.

[16]. Воронин Д. В., Истомина В. Л., Хлебус К. А. Экспериментальное исследование дезактивации внутренней поверхности трубопроводов на макете импульсного пневмотранспорта абразивным обдувом // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113. – №. 5. – С. 266-270.

[17]. Комаров А. А. и др. Исследование эффективности технологии дезактивации оборудования гидрокавитационным методом // XIX Всероссийская научно-практическая конференция «Дни науки-2019». Посвящается 150-летию открытия периодического закона Д. И. Менделеевым: Материалы конференции. Озерск, 17-20 апреля 2019 г. – Озёрск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2019–248 с. ISBN 978-5-905620-30-0–248 с. – 2019. – С. 96.

[18]. Frano R. L. et al. Application of PHADEC

method for the decontamination of radioactive steam piping components of Caorso plant // Nuclear Engineering and Design. – 2014. – Т. 273. – С. 595-601.

[19]. Nam S., Um W. Decontamination of radioactive metal wastes using underwater microwave plasma // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2022. – Т. 10. – №. 1. – С. 107090.

[20]. Патент N 2384906 РФ МПК G21F 9/34. Ультразвуковая установка для дезактивации металлических изделий. / Н. М. Лебедев, А. П. Васильев, Г. В. Дубинин, В. Н. Коваленко, А. Е. Савкин, В. Ю. Сердитов, А. В. Коняхин / заявл. 10.09.2009; опубл. 20.03.2010 Бюл. N8 – 5 с.; ил.

[21]. Т. А. Кулагина, В. В. Шеленкова Способы дезактивации поверхностей с радиоактивным загрязнением. «Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies» № 10(3) (352-363). 2017

[22]. В. М. Шумячер, С. А. Крюков, Н. В. Байдакова, А. М. Безнебева, Е. М. Ревзина Абразивные материалы, инструменты, пасты, суспензии и их использование: учебно-терминологический словарь. – Спб.: Научоёмкие технологии, 2019. – 154 с.

[23]. Белоусов П. Е., Милютин В. В., Крупская В. В., Зеленин П. Г. Использование природных сорбентов для очистки радиоактивно-загрязнённых растворов // Сборник материалов VII Российской молодёжной научно-практической Школы «Новое в познании процессов рудообразования» (61-62). 2018.

[24]. Сурганов О. А., Шастин А. Г., Щеклеин С. Е. Метод дезактивации оборудования с применением ультразвука // Тезисы докладов межотраслевой научно-технической конференции «Реакторные материалы атомной энергетики» (31-32). Екатеринбург, 2021.

[25]. Патент N 2626385 РФ МПК G21F 9/16. Установка для отверждения жидких радиоактивных отходов / А. И. Попов, С. Е. Щеклеин / заявл. 27.06.2016; опубл. 26.07.2017 Бюл. № 21. – 10 с.; ил.

[26]. Капустина И. Б., Соловьёв В. Н., Фокина Г. И., Левчук А. С. Иммобилизация радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности «Вестник Национальной Академии Наук Беларуси» № 3 (86-91). 2013.

[26]. Гафарова В. В., Кулагина Т. А. Безопасные методы утилизации радиоактивных отходов «Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies» № 9(4) (585-597). 2016.

[28]. В. И. Аксёнов, А. А. Кадников, А. Г. Шастин Новые способы применения ультразвука для дезактивации оборудования ЯЭУ «Вопросы радиационной безопасности» № 1 (10-15). 2012.

[29]. Патент N 2505872 РФ МПК G21F 9/28. Способ дезактивации труб и трубных пучков – кислотнo-абразивная дезактивация / В. И. Аксёнов, А. А. Кадников, В. И. Минаев, А. Г. Шастин, С. Е. Щеклеин / заявл. 24.10.2011; опубл. 27.04.2013 Бюл. № 3 – 5 с.

[30]. Сурганов О. А., Щеклеин С. Е., Шастин А. Г.

Разработка технологии дезактивации трубопроводов АЭС // Физика. Технологии. Инновации. Тезисы докладов (ФТИ-2023). – 2023. – С. 109-110.

References

[1]. Simanovsky V.M., Ampelogova N.I., Kritsky V.G., Bylkin B. K. and others. Application of experience in decontamination of nuclear power units with RBMK reactors during their decommissioning. «Thermal Power Engineering» №. 10 (51-55). 1999.

[2]. Arkhangelskii E. B. et al. On the Assessment of the Activity of Radioactive Corrosion Products and Division Products on the Internal Walls of Pipelines of Nuclear Power Plant Circuits with RBMK // Proceedings of the Academy of Industrial Ecology. 2001. №. 2. P. 76-80.

[3]. Tyapkov V. F. et al. Formation of corrosion products in the coolant and deposits in the circuit of multiple forced circulation of nuclear power plants with RBMK-1000. 2007. №. 12. P. 55-59.

[4]. Chernikov O. G. et al. Method of predicting the dose rate of gamma radiation in the premises of the RBMK-1000 CMPC according to the data of chemical and radiospectrometric control of the coolant. 2009. № 5, P. 39-44.

[5]. Çetin Y., Acir A. Simulating the erosion modelling of pipes used in nuclear power plants in terms of physical decontamination // Progress in Nuclear Energy. – 2022. Т. 150, С. 104284.

[6]. Zhong L. et al. Existing and potential decontamination methods for radioactively contaminated metals-A Review //Progress in Nuclear Energy. 2021. Т. 139, С. 103854.

[7]. Ampelogova N. P., Simanovsky Yu. M., Trapeznikova A. A. Decontamination in nuclear energy. – М.: Energoatomizdat, 1982. – 256 p.

[8]. Itige H., Takiguchi H. Chemical decontamination at nuclear power plants «Atomic technology abroad» № 6 (10-24). 2001.

[9]. Patent 2245587 RF IPC G21F 9/28. Method for decontamination of the multiple forced circulation circuit of a nuclear power reactor / V. I. Lebedev, V. M. Tishkov, L. V. Shmakov, S. M. Kovalev / statement 05.15.2023; publ. 01/27/2005 Bulletin. N3 – 10 s.; ill.

[10]. Zimon A. D., Pikalov V. K. Deactivation. – М.: Publishing House, 1994. – 336 p.

[11]. Ampelogova N. I. et al. Decontamination of equipment and systems of the 1st unit of the Leningrad nuclear power plant during decommissioning. 1998. Т. 85. №. 2, P. 138-143.

[12]. Aleshin A. M., Zmitrodan A. A., Krivobokov V. V. Development and application of technology for decontamination of equipment and pipelines of the ground stand-prototype of transport nuclear power plants. 2019. № 4. P. 34-49.



[13]. Naumov A. A., Tashlykov O. L. Minimization of dose costs in repair maintenance of systems and equipment of nuclear power plants. Nuclear power. 2010. № 1, P. 80-88.

[14]. Tashlykov O. L., Shcheklein S. E. On the Influence on the Efficiency of Decontamination of Structural Features of Reactor Installation Systems // Scientific Works of the VI Reporting Conference of Young Scientists of the State Educational Institution of Higher Professional Education of the Ural State Technical University. Ch. 1. – Ekaterinburg, 2004. Ural State Technical University-UPI, 2004. P. 187-188.

[15]. Yurmanov V. A. et al. Safe Method of Decontamination of the First Circuits of the Nuclear Power Plant in Preparation for Commissioning // Problems and Prospects for the Development of Chemical and Radiochemical Control in Nuclear Energy. 2017. p. 133.

[16]. Voronin D. V., Istomin V. L., Khlebus K. A. Eksperimental'noe issledovanie dekontaminatsii i vnutrennogo surface truboprovodov na modele impulsionnogo pneumotransporta abrasiv obduv [Experimental study of decontamination of the internal surface of pipelines on the model of pulsed pneumatic transportation by abrasive blowing]. 2012. T. 113. № 5, P. 266-270.

[17]. Komarov A. A. et al. Issledovanie effektivnosti tekhnologii dekontaminatsii i oborudovaniem hydrocavitatsionnom metod [Study of the effectiveness of decontamination technology of equipment by the hydrocavitation method]. Dedicated to the 150th anniversary of the discovery of the periodic law of D. I. Mendeleev: Conference Proceedings. Ozersk, April 17-20, 2019 – Ozersk: OTI NRNU MEPhi, 2019, p. 96.

[18]. Frano R. L. et al. Application of PHADEC method for the decontamination of radioactive steam piping components of Caorso plant // Nuclear Engineering and Design. – 2014. – T. 273. – C. 595-601.

[19]. Nam S., Um W. Decontamination of radioactive metal wastes using underwater microwave plasma // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022. T. 10. № 1, C. 107090.

[20]. Patent N 2384906 RF IPC G21F 9/34. Ultrasonic installation for decontamination of metal products. / N. M. Lebedev, A. P. Vasiliev, G. V. Dubinin, V. N. Kovalenko, A. E. Savkin, V. Yu. Serditov, A. V. Konyakhin / appl. 09/10/2009; publ. 03/20/2010 Bulletin. N8 – 5 sec.; ill.

[21]. T. A. Kulagina, V. V. Shelenkova. Methods for decontamination of surfaces with radioactive contamination. «Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies» №. 10(3) (352-363). 2017

[22]. V. M. Shumyacher, S. A., Kryukov, N. V. Baydakova, A. M. Beznebeeva, E. M. Revzina. Abrasive materials, tools, pastes, suspensions and their use: educational terminological dictionary. – St. Petersburg: High technology, 2019. – 154 p.

[23]. Belousov P. E., Milyutin V. V., Krupskaya V. V., Zelenin P. G. The use of natural sorbents for the purification of radioactively contaminated solutions // Collection of materials of the VII Russian Youth Scientific and Practical School «New in the knowledge of ore formation processes» (61-62). 2018.

[24]. Surganov O. A., Shastin A. G., Shcheklein S. E. Method of decontamination of equipment using ultrasound // Abstracts of reports of the interindustry scientific and technical conference «Reactor materials for nuclear energy» (31-32). Ekaterinburg, 2021.

[25]. Patent № 2626385 RF IPC G21F 9/16. Installation for solidification of liquid radioactive waste / A. I. Popov, S. E. Shcheklein / statement 06/27/2016; publ. 07/26/2017 Bulletin. № 21 – 10 s.

[26]. Kapustina I. B., Solovyov V. N., Fokina G. I., Levchuk A. S. Immobilization of low and medium level radioactive waste «Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus» № 3 (86-91). 2013.

[27]. Gafarova V. V., Kulagina T. A. Safe methods of disposal of radioactive waste «Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies». № 9(4) (585-597). 2016.

[28]. V. I. Aksenov, A. A. Kadnikov, A. G. Shastin New methods of using ultrasound for decontamination of nuclear power plant equipment «Radiation Safety Issues». № 1 (10-15). 2012.

[29]. Patent № 2505872 RF IPC G21F 9/28. Method for decontamination of pipes and tube bundles – acid-abrasive decontamination / V. I. Aksenov, A. A. Kadnikov, V. I. Minaev, A. G. Shastin, S. E. Shcheklein / statement 10/24/2011; publ. 04/27/2013 Bulletin. № 3 – 5 s.

[30]. Surganov O. A., Shcheklein S. E., Shastin A. G. Razrabotka tekhnologii dekontaminatsii trubovodov AES [Development of technology for decontamination of pipelines of nuclear power plants]. Technology. Innovation. Abstracts (IPT-2023). – 2023. P. 109-110.

Транслитерация по BSI



ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ
И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

INNOVATIVE SOLUTIONS IN ALTERNATIVE ENERGY AND ECOLOGY

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ
И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

INNOVATIVE SOLUTIONS IN ALTERNATIVE
ENERGY AND ECOLOGY

Статья поступила в редакцию 09.01.24. Ред. Рег. № 319-001-24

The article has entered in publishing office 09.01.24. Ed. Reg. No. 319-001-24

УДК 621.311

**ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ АВТОМАТИКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ И
УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ЭНЕРГОСИСТЕМ НА БАЗЕ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

А. И. Марченко*, А. Г. Фишов, И. С. Мурашкина

Новосибирский государственный технический университет, факультет энергетики,
кафедра автоматизированных электроэнергетических систем
Проспект Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

*Корреспондент автор: amarchenko91@yandex.ru; тел.: +7-953-766-62-73

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.225-234

Заключение совета рецензентов: 18.01.24

Заключение совета экспертов: 22.01.24

Принято к публикации: 30.01.24

Актуальность работы заключается в исследованиях способов, средств, режимов и условий включения локальных систем электроснабжения с малой генерацией в состав сети внешней электроэнергетической системы (ЭЭС). При этом работа локальных систем электроснабжения в ЭЭС становится возможной только при внедрении новых подходов к управлению средствами автоматизированного режимного и противоаварийного управления при преодолении существующих технических барьеров на пути осуществления параллельной работы с ЭЭС.

В статье в общем описаны способ и техническое средство решения задачи надежного и эффективного энергоснабжения потребителей при развитии технологий малой распределенной генерации, при формировании на их базе локальных систем энергоснабжения (ЛСЭ). Предлагается малозатратная интеграция ЛСЭ в существующие электрические сети систем централизованного энергоснабжения с режимом параллельной работы генераторов в общей сети при управлении специальной противоаварийной и режимной автоматикой, качественное преобразование ЛСЭ в локальные интеллектуальные системы электроснабжения (ЛИСЭ, Minigrid).

Полноценное внедрение ЛИСЭ в существующую энергосистему для малой распределенной генерации является эволюционным этапом её развития, поскольку это позволит объектам малой энергетики работать не только в автономном режиме, но и в составе региональной централизованной электроэнергетической системы, благодаря чему у них появляются дополнительные технические эффекты, прежде всего по обеспечению надежности электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: локальные системы электроснабжения, интеллектуальные энергосистемы, электрические сети, синхронная генерация, гибридная генерация, распределенная малая генерация, моделирование, режим, автоматика, управление.

А. И. Марченко, А. Г. Фишов, И. С. Мурашкина. Противоаварийная автоматика для создания и управления режимами локальных интеллектуальных энергосистем на базе малой генерации // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*, 01 (418) 2024, с. 225-234

A. I. Marchenko, A. G. Fishov, I. S. Murashkina. Emergency automation for creating and controlling modes of local smart power systems based on small-scale generation // *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 01(418) 2024, pp. 225-234

EMERGENCY AUTOMATION FOR CREATING AND CONTROLLING MODES OF LOCAL SMART POWER SYSTEMS BASED ON SMALL-SCALE GENERATION

A. I. Marchenko, A. G. Fishov, I. S. Murashkina*

Novosibirsk State Technical University, Faculty of Energy,
Department of Automated Electric Power Systems
Karl Marx Avenue, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

* Correspondent author: amarchenko91@yandex.ru; tel.: +7-953-766-62-73

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.225-234

Referred: 18.01.24

Received in revised form: 22.01.24

Accepted: 30.01.24

The relevance of the study lies in the research of methods, means, modes and conditions for the inclusion of local power supply systems with small-scale generation in the network of an external electric power system (EPS). At the same time, the operation of local power supply systems in EPS becomes possible only with the implementation of new approaches to controlling automated mode and emergency control means while overcoming existing technical barriers to parallel operation with EPS.

The article generally describes a method and technical means for solving the problem of reliable and efficient energy supply to consumers during the development of small-scale distributed generation technologies and the formation of local power supply systems (LPS) on its basis. The low-cost integration of LPSs into existing electrical networks of centralized power supply systems with a mode of parallel operation of generators in a common network while controlling special emergency and mode automation and high-quality transformation of LPSs into local smart power supply systems (LSPS, Minigrid) are proposed.

The full implementation of LSPS into the existing power system for small-scale distributed generation is an evolutionary stage in its development, since this will allow small power facilities to operate not only in an autonomous mode, but also as part of a regional centralized power system. Due to which LSPSs have additional technical effects, primarily in terms of ensuring the reliability of power supply to consumers.

Keywords: local power supply systems, smart power systems, electrical networks, synchronous generation, hybrid generation, distributed small generation, modeling, mode, automation, control.

Сведения об авторе:

кандидат технических наук, заведующий сектором отдела подготовки кадров высшей квалификации, старший преподаватель кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, заведующий и старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных электроэнергетических систем, факультет энергетики, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование: Магистр по направлению «Электроэнергетика и электротехника», Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

Область научных интересов: Моделирование и исследование режимов электроэнергетических систем, как на цифровых моделях, так и на физической электродинамической. Исследование и разработка способов и средств управления режимами электрических сетей с распределенной малой генерации, устройств автоматики для создания и управления режимами локальных интеллектуальных энергосистем.

Публикации: более 40 публикаций.
Elibrary AuthorId: 1067080
Scopus Author ID: 57194551064
WoS Author ID: O-9623-2017
ORCID: 0000-0002-8721-556X

Author information:

Candidate of Technical Sciences, Sector Head of the Department of Highly qualified personnel training, Senior Lecturer of the Automated electric power systems Department, Head and Senior Researcher of the Smart electrical power systems Laboratory, Faculty of Power Engineering, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Education: Master of «Electric engineering and electrical technology», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Research area:

Modeling and research of modes of electric power systems, both on digital models and on a real physical electrodynamic model. Research and development of methods and means for controlling the modes of electric networks with distributed small-scale generation, development of automatic control devices for creating and controlling the modes of local smart power systems.

Publications: more than 40 publications.

Elibrary AuthorId: 1067080
Scopus Author ID: 57194551064
WoS Author ID: O-9623-2017
ORCID: 0000-0002-8721-556X



Марченко
Андрей Иванович

Marchenko Andrey
Ivanovich



Фишов
Александр Георгиевич

Fishov
Alexander Georgievich

Сведения об авторе:

доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, факультет энергетики, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование:

Инженер по специальности «Электрические сети и системы», Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

Область научных интересов:

Управление режимами работы электроэнергетических систем и электрических сетей. Разработка новых технологий управления энергосистемами на основе децентрализованного мультиагентного управления. Объекты с малой распределенной генерацией, исследование, разработка и создание комплексных автоматик управления.

Публикации: более 200 публикаций.

Elibrary AuthorID: 462203

Scopus Author ID: 6506654464

Author information:

Doctor of Technical Science, Professor of the Automated electric power systems Department, Faculty of Power Engineering, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Education:

Engineer with a degree in Electrical Networks and Systems, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Research area:

Control of operating modes of electrical power systems and electrical networks. Development of new technologies for controlling energy systems based on decentralized multi-agent control. Facilities with small-scale distributed generation, research, development and creation of complex control automation.

Publications: more than 200 publications.

Elibrary AuthorID: 462203

Scopus Author ID: 6506654464

Сведения об авторе:

Ассистент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем, младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных электроэнергетических систем, факультет энергетики, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование:

Магистр по направлению «Электроэнергетика и электротехника», Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

Область научных интересов:

Исследование электроэнергетических систем с гибридной и электронной генерацией. Математическое и физическое моделирование режимов электроэнергетических систем с распределенной малой генерацией.

Публикации: более 16 публикаций.

Elibrary AuthorID: 1146016

Scopus Author ID: 57205475019

Author information:

Assistant of the Automated electric power systems Department, Junior Researcher of the Intelligent electrical power systems Laboratory, Faculty of Power Engineering, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Education:

Master of «Electric engineering and electrical technology», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Research area:

Research of electric power systems with hybrid and electronic generation. Mathematical and physical modeling of the electric power system modes with distributed small-scale generation.

Publications: more than 16 publications.

Elibrary AuthorID: 462203

Scopus Author ID: 6506654464



Мурашкина
Инна Сергеевна

Murashkina
Inna Sergeevna



Таблица основных сокращений:

РМГ	распределенная малая генерация
ЭЭС	электроэнергетическая система
ЛСЭ	локальная система электроснабжения
КЗ	короткое замыкание
ЛИСЭ	локальная интеллектуальная система электроснабжения
РА	режимная автоматика
ПА	противоаварийная автоматика
РП, РУ	распределительный пункт, распределительное устройство
ТЭС	тепловая электрическая станция

1. Введение

В России с её климатическими и географическими особенностями в сфере энергетики исторически возводились объекты, преимущественно развивались технологии когенерационных энергоустановок на базе топливной углеродной генерации. В настоящее время происходит трансформация энергетического сектора – появление новых технологий производства электроэнергии на установках с распределенной малой генерацией (РМГ).

Одним из мировых трендов, являющимся также наиболее актуальным для России, является развитие распределенной малой генерации использующей технологии синхронной малой когенерации и создание

на базе её локальных электроэнергетических систем (в иностранном понимании и обозначении – Minigrid) [1-9].

Электроэнергетическая система (ЭЭС) со значительной долей источников РМГ требует: повышения уровня интеграции между различными её элементами, наличия распределенной архитектуры с локальным управлением, комбинированной с централизованным управлением, а также новых способов управления, как для установившихся режимов, так и для аварийных с переходными процессами в элементах ЭЭС [10-15].

2. Локальные системы электроснабжения на базе малой генерации

Под Microgrid понимается локальная группа источников электроэнергии нагрузок, которая обычно работает подключенной к традиционной синхронной сети, но может также отключаться с переходом в «островной режим» и работать автономно. В России дополнительно различают Microgrid (распределенная генерация мощностью до 1000 кВт) и Minigrid.

Minigrid – локальная сбалансированная система энергоснабжения потребителей с одной многоагрегатной электростанцией или распределенной генерацией суммарной мощностью до 25 МВт с различными видами используемых первичных энергоресурсов (преимущественно топливной с синхронными генераторами), работающая в островном режиме (автономно, на собственную нагрузку) или параллельно с внешней энергосистемой (на выдачу мощности в сеть, в режиме нулевого перетока и на потребление из сети) [16-20].

При необходимости интеграции отдельной электростанции, как источника собственной генерации, в централизованную энергосистему она оборудуется существующими известными устройствами автоматки [21-23]. Так, имеющаяся в настоящее время автоматика обеспечения безопасной работы энергоблоков, например, голландской фирмы «Terberg» [24], использует способ запрета параллельной работы или

отключение и останов энергоблоков при всех аварийных возмущениях, что снижает надежность электроснабжения потребителей и работы электростанции из-за частых отключений.

Достоинства при параллельной работе локальной системы электроснабжения (ЛСЭ) в составе общей электрической сети мощной ЭЭС очевидны, но остаются риски и барьеры технического характера. Это, прежде всего, плохая электромеханическая совместимость данных систем – инерционность энергоблоков большой энергетики и генераторов малой электростанции в значительной степени отличаются. Вследствие чего и возникают при обычном включении ЛСЭ с малой генерации в мощную ЭЭС большой централизованной энергетики опасные асинхронные режимы, и в данных условиях не обеспечивается динамическая устойчивость параллельной работы данных систем, что приводит к выходу из строя установок малой генерации со своими синхронными генераторами, возникают динамические моменты на валах машин в момент проходящего короткого замыкания (КЗ) или после отключения КЗ существующими релейными защитами сети. При подключении локальных систем электроснабжения с малой генерацией происходит увеличение токов КЗ, причем на подстанции присоединения системы к сети ЭЭС не сильно



значительно, а в самой ЛСЭ многократно, порядка 4-х кратных значений. Требуется настройка согласованности работы релейной защиты основной сети, что очень затратно и труднообеспечимо. Следует, что в совокупности все указанные особенности на пути осуществления присоединения на параллельную работу ЛСЭ с малой генерацией с внешней сетью ЭЭС

являются технологическими барьерами для взаимной интеграции. Разработка мер по решению указанных проблем является важной задачей. Необходимо комплексно решить техническую задачу прямого включения и безопасной работы объектов с синхронной малой генерацией в составе ЛСЭ в электрические сети посредством синхронных связей.

3. Противоаварийное управление режимом работы локальной системы электроснабжения и техническая реализация автоматики опережающего сбалансированного деления

Идея разработки заключается в том, что вместо применения дорогостоящих силовых установок для решения проблемы безопасной интеграции ЛСЭ в существующие сети предлагается комплекс технических решений и специализированная системная автоматика, использующая оригинальные (запатентованные) способы взаимодействующих противоаварийного, режимного управления и автооперирования генерацией ЛЭС, ее схемой выдачи мощности, восстановлением нормальных режимов [25].

Способом противоаварийного управления в режиме синхронной работы ЛСЭ с внешней электрической сетью является ее экстренное, сбалансированное по мощности, отделение от внешней электрической сети ЭЭС при возмущениях, угрожающих нарушению устойчивости параллельной работы электростанции ЛСЭ с внешней электрической сетью или возник-

новению опасных динамических моментов на валах генераторов, с сохранением в работе электростанции и электроснабжения потребителей ЛСЭ после отделения [26-27].

Научным коллективом кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета, под научным руководством и соавтором разработки профессором А. Г. Фишовым, совместно с компаниями-партнерами (ООО «Модульные системы Торнадо и АО «Институт автоматизации энергетических систем», г. Новосибирск) была выполнена техническая реализация автоматики управления для создания локальных интеллектуальных систем электроснабжения (ЛИСЭ) [28].

На рисунке 1 представлена функциональная структура системной автоматики управления ЛИСЭ

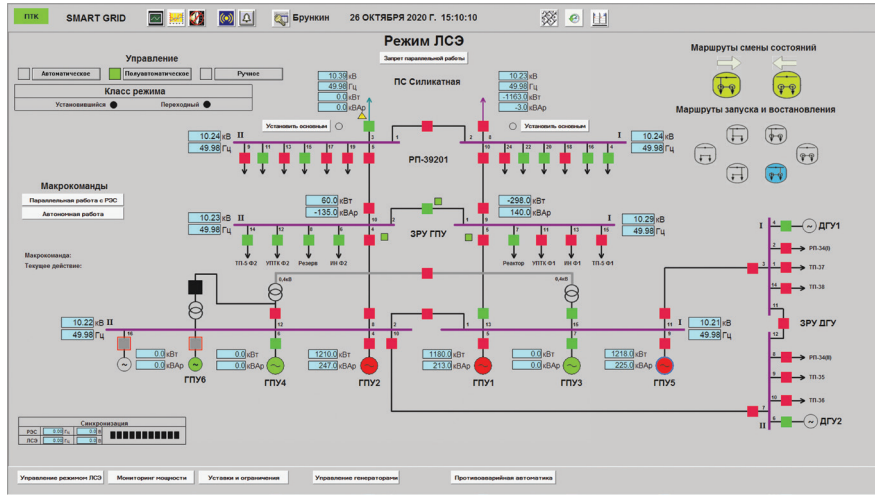
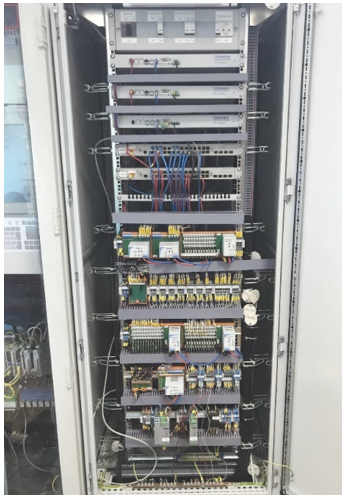


Рис. 1. Функциональная структура автоматики
Fig. 1. Functional structure of automation



Общий вид опытного образца автоматики показан на рисунке 2а. На рисунке 2б представлена опера-

тивная схема ЛИСЭ, контролируемая диспетчером и автоматикой ЛИСЭ.



а)

б)

Рисунок 2 – а) Общий вид автоматики управления ЛИСЭ,

б) Оперативная схема ЛИСЭ (видеокадр программно-технического комплекса)

Fig. 2. a) General view of the Minigrid control automation,

б) Minigrid operational diagram (video frame of the software and hardware complex)

Подсистема противоаварийной автоматики является составной частью осуществленной разработки специализированной системы автоматики комплексного управления режимами ЛИСЭ, имеющей в своем составе подсистемы противоаварийного режимного управления и автооперирования режимами ЛИСЭ, обеспечивающей требуемые системные свойства, в том числе возможности полноценной работы, как в параллельном с внешней энергосистемой, так и автономном режимах с безопасными переходами между ними.

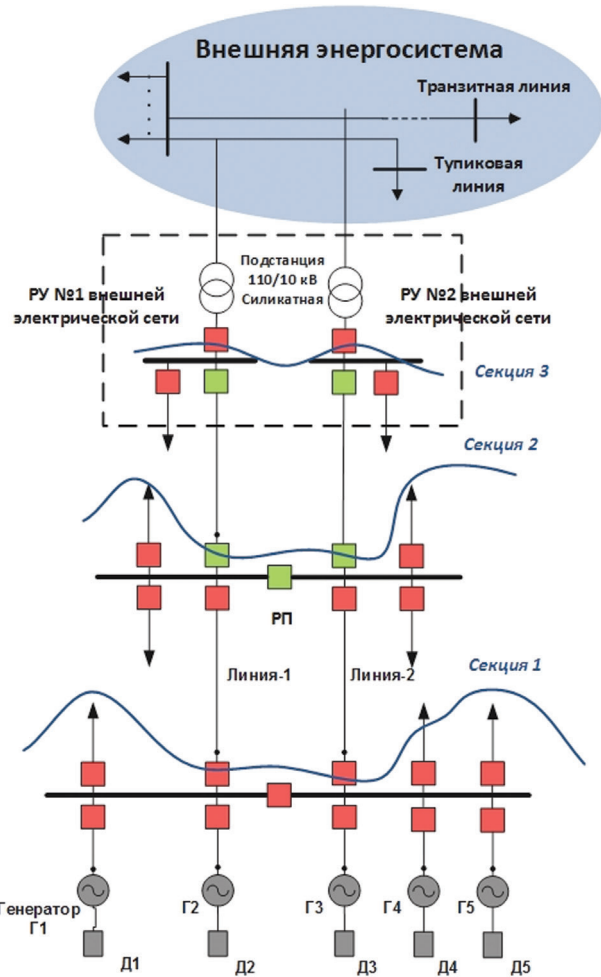
4. Результаты проведенных исследований и внедрения противоаварийной автоматики

Реальным объектом исследования являлась созданная на базе локальной системы энергоснабжения с когенерационной тепловой электрической станцией (электрическая и тепловая энергии) ЛИСЭ (MiniGrid) в городе Новосибирске, осуществляющая электро- и теплоснабжение жилого массива и промышленных предприятий в прилегающем к теплоэлектростанции районе.

ЛИСЭ включает в себя 5 энергоблоков с газопоршневыми установками мощностью по 1,8 МВт каждый. Объединение установок выполнено в распределительном устройстве на напряжении 10 кВ. Электропотребление в сети ЛИСЭ составляет порядка 5 МВт, из них 3 МВт это коммунально-бытовая нагрузка и 2,4 МВт промышленная (в основном двигательная нагрузка). Таким образом, на электростанции имеется

Рис. 3. Схема ЛИСЭ с электростанцией малой генерации при ее подключении к внешней электрической сети энергосистемы большой мощности

Fig. 3. Minigrid diagram with a small-generation power plant when connected to the external electrical network of a high-power power system



резерв мощности в 3,6 МВт, которую можно выдать в общую электрическую сеть внешней энергосистемы при осуществлении режима параллельной, синхронной работы с ней.

Схема выдачи мощности ЛСЭ внешней электрической сети энергосистемы представлена на рисунке 3.

Управление режимом генерации ЛИСЭ осуществляется режимной автоматикой (РА) для поддержания условий сбалансированного отделения ЛИСЭ от ЭЭС, при этом действие противоаварийной автоматики (ПА) осуществляется на выключателях сечений для деления.

Посредством автоматики по назначенным сечениям осуществляется сбалансированное отделение ЛИСЭ при технологических нарушениях во внешней сети и последующее восстановление её синхронной параллельной с электрической сетью.

Срабатывание пускового органа подсистемы противоаварийного управления ЛИСЭ происходит за время, менее 20 мс, и определяется уставками по напряжению прямой и обратной последовательностей напряжения в контрольном узле сети (например, на шинах распределительного устройства (РУ) подстанции присоединения с выключателями, используемыми для деления).

Проведенные исследования и полученные дина-

мические характеристики в целом показывают возможность осуществления безопасного синхронного режима, как для ЛИСЭ, так и для внешней сети энергосистемы, и позволяют по специальной разработанной методике определить необходимые уставки срабатывания пусковых органов автоматики управления ЛИСЭ [29-30].

Недопустимым и разрушающим оборудование режимом энергоблоков ЛИСЭ с внешней сетью энергосистемы большой мощности является режим без её отделения от внешней электрической сети энергосистемы при всех 1-2-3-х фазных КЗ области прилегающей сети 110-220 кВ. При несбалансированном отделении ЛИСЭ от внешней сети энергосистемы при внешнем КЗ, динамические характеристики режима являются недопустимыми для генераторов электростанции ЛИСЭ, вследствие чего происходит их автоматическое отключение собственными защитами энергоблоков. Эффективность автоматического экстренного отделения ЛИСЭ от внешней сети доказана, как при стендовых испытаниях (на физической модели ЛИСЭ), так и при опытной и промышленной эксплуатации. По расчетным исследованиям также были определены зоны возмущений во внешней сети, короткие замыкания в которых приводят к срабатыванию автоматики на противоаварийное сбалансированное отделение ЛИСЭ.

Заключение

В статье описаны способы и средства решения проблемы надежного и экономически эффективного энергоснабжения потребителей в локальных системах энергоснабжения с собственными источниками электроэнергии путем их малозатратной интеграции в существующие электрические сети систем централизованного энергоснабжения с режимом параллельной работы генераторов в общей сети.

Предложенные технические решения внедрены в разработанной специализированной интеллектуальной системной автоматике для создания на базе ЛСЭ локальных интеллектуальных энергосистем (ЛИСЭ, MiniGrid), использующих инновационные способы управления при автономной и параллельной с внешней сетью работе ЛИСЭ, а также при переходах между ними.

Получен опыт практического применения предложенных решений и разработанной системной автоматики при реализации пилотного проекта создания ЛИЭС в городе Новосибирске на базе автономной локальной системы энергоснабжения газовой Мини-ТЭС, обеспечивающей энергоснабжение жилого массива. Автоматика с подсистемой противоаварий-

ного управления использована при создании ЛИЭС (MiniGrid энергоснабжения электричеством, теплом и горячей водой) крупного жилого массива «Березовое» (с численностью населения порядка 10 тыс. чел.) в городе Новосибирске, введена в опытную и в настоящее время переведена в промышленную эксплуатацию.

Достигнутый эффект от внедрения состоит в кратном снижении затрат на интеграцию ЛСЭ в сети централизованного энергоснабжения, сокращении сроков окупаемости объектов с малой генераций в существующие электрические сети, также эффект от реализации проекта выражен в повышении доступности энергоснабжения для потребителей, его надежности, инвестиционной привлекательности развития распределенной энергетики, живучести систем энергоснабжения в целом.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10186 и гранта № р-56 Правительства Новосибирской области в Новосибирском государственном техническом университете.



Список литературы

- [1]. Мелентьев Л. А. Очерки истории отечественной энергетики. – М.: Наука, 1987. – 278 с.
- [2]. Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: УРСС, 2003. – 288 с.
- [3]. N. Voropai. Electric Power System Transformations: A Review of Main Prospects and Challenges, *Energie*, 13, no. 21, 5639 (2020)
- [4]. C. Marnay, C. Abbey, G. Joos, *Microgrids 1: Engineering, economics, and experience – Capabilities, benefits, business opportunities and examples – Microgrids evolution roadmap*. *Electra*, 283, 71–75 (2015)
- [5]. Некрасов С. А. Вопросы формирования альтернативной концепции развития электроэнергетики. Часть 1. От роста мощности энергосистемы к повышению структурной устойчивости электроэнергетики [Текст]: монография. – М.: ЦЭМИ РАН, 2020. – 180 с.
- [6]. Некрасов С. А. Вопросы формирования альтернативной концепции развития электроэнергетики. Часть 2. Пути трансформации энергоснабжения [Текст]: монография. – М.: ЦЭМИ РАН, 2020. – 283 с.
- [7]. *Microgrids: Architectures and Control*; Hatziairgiou, N. (Ed.) IEEE Press-Wiley: New York, NY, USA (2014)
- [8]. Yu. N. Kuchеров, D. N. Yarosh, Yu. G. Fedorov, A. Oudalov. Analysis of technical aspects of smart grid technologies integration into power system of megacity, Proc. CIGRE International Symposium «The electric power system of the future – Integrating supergrids and microgrids», Bologna, Italy (September 13–15, 2011)
- [9]. P. V. Ilyushin, Yu. G. Fedorov, S. P. Filippov, Yu. N. Kuchеров, S. A. Nekrasov, F. V. Veselov, D. N. Yarosh, Yu. A. Zeygarnik, A. Z. Zhuk. Features of small dispersed CHP integration into the power system, Proc. of 45th International Conference on Large High Voltage Electric Systems, CIGRE Session 45, Paris, France, 1–10 (August 24 – 29, 2014)
- [10]. Н. В. Кваша. Распределенная и цифровая энергетика как инновационные элементы четвертого энергоперехода / Н. В. Кваша, Е. Г. Бондарь // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021, Том 14, № 6. – С. 67–77.
- [11]. Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation / I. J. Balaguer, Q. Lei, S. Yang [et al.] // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – 2011. – Vol. 58, iss. 1. – P. 147–157.
- [12]. Ashabani, S. M. New Family of Microgrid Control and Management Strategies in Smart Distribution Grids – Analysis, Comparison and Testing / S.M. Ashabani, Y. A. I. Mohamed // *IEEE Trans. Power Syst.* – 2014. – Vol. 29, iss. 5. – P. 2257–2269.
- [13]. Воропай, Н. И., Проблемы уязвимости и живучести кибер-физических электроэнергетических систем / Н. И. Воропай, И. Н. Колосок., Е. С. Коркина, А. Б. Осак // *Энергетическая политика*. – 2018. – № 5. – С. 53–61.
- [14]. Булатов, Ю. Н. Мультиагентные технологии управления в системах электроснабжения с активными потребителями / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков // *Труды Братского государственного университета. Серия Естественные и инженерные науки*. – 2016. – № 2. – С. 145–154.
- [15]. Мультиагентное оптимальное управление электрическими сетями с активными потребителями и возобновляемыми источниками энергии / В. В. Молодюк, Я. Ш. Исамухамедов, П. В. Илюшин, Д. А. Ивановский // *Энергетик*. – 2022. – № 2. – С. 45–52.
- [16]. Фишов, А. Г. Активные распределительные электрические сети с децентрализованным мультиагентным управлением режимом / А. Г. Фишов, А. А. Осинцев, Ю. В. Какоша, М. З. Одинабеков // *«ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»* № 10 (2022): Выпуск № 10. – 2022.
- [17]. Илюшин, П. В. Системный подход к развитию и внедрению распределённой энергетики и возобновляемых источников энергии в России / П. В. Илюшин // *Энергетик*. – 2022. – № 4. – С. 20–27.
- [18]. Zhou, X. An overview on microgrid technology / X. Zhou, T. Guo, Y. Ma // 2015 160 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA): proc., Beijing, 02-05 August 2015. – Beijing: IEEE, 2015. – P. 76–81.
- [19]. Real-World MicroGrids-An Overview / M. Barnes, J. Kondoh, H. Asano [et al.] // 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering: proc., San Antonio, 16-18 April 2007. – San Antonio: IEEE, 2007. – P. 1–8.
- [20]. Zaidi, A. A. Microgrid automation - a self-configuring approach / A. A. Zaidi, F. Kupzog // 2008 IEEE International Multitopic Conference: proc., Karachi, 23-24 December 2008. – Karachi: IEEE, 2008. – P. 565–570.
- [21]. Автоматика энергосистем: учебное пособие / составители Ю. С. Боровиков, А. С. Гусев, М. В. Андреев, А. О. Сулайманов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 196 с.
- [22]. Овчаренко Н. И., Автоматика энергосистем: учебник для вузов / Н. И. Овчаренко; под ред. чл.-корр. РАН, докт. техн. наук, проф. А. Ф. Дьякова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
- [23]. A. L. Kulikov, M. V. Sharygin, P. V. Ilyushin. Principles of organization of relay protection in microgrids with distributed power generation sources, *Power Technology and Engineering*, 53, no. 5, 611–617 (2020)
- [24]. Электронный ресурс: <https://www.terbergspecialvehicles.com>
- [25]. Технические и экономические аспекты со-

здания минигридов и их интеграции с централизованным энергоснабжением. Фишов А. Г. / Энергетик. 2022. № 4. С. 27-34. – <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2022.85.14.005>

[26]. Способ противоаварийного управления режимом параллельной работы синхронных генераторов в электрических сетях. Фишов А. Г., Марченко А. И., Мукатов Б. Б. / Патент на изобретение RU 2662728 C2, 30.07.2018.

[27]. Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью / А. И. Марченко, В. В. Денисов, И. С. Мурашкина // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2019. – Вып. № 1 (74). – С. 77–90. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-77-90.

[28]. Decentralized emergency control of AC power grid modes with distributed generation / A. Fishov, A. Osintsev, A. Ghulomzoda, A. Marchenko, Kokin, S., Safaraliev, M., Dmitriev, S. & Zicmane, I. –

DOI 10.3390/en16155607. – Text : direct // Energies. – 2023. – Vol. 16, iss. 15. – Art. 5607.

[29]. Исследование устойчивости параллельной работы локальной системы энергоснабжения малой мощности с внешней электрической сетью энергосистемы / А. Г. Фишов, А. И. Марченко, В. В. Денисов, И. С. Мурашкина // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2020. – № 1. – С. 116–127. – DOI: 10.31857/S0002331020010136

[30]. Dynamic Characteristics of the Minigrd Synchronous Operation with the Electrical Network of a Centralized Electric Power System / A. I. Marchenko, I. S. Murashkina. – DOI: 10.1109/EDM55285.2022.9855051. – Text: direct // IEEE 23 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) to the 100th anniversary of the legendary NETI rector Georgy Lyshchinsky: proc., Erlagol, 30 June – 4 July 2022. – Novosibirsk: IEEE, 2022. – P. 455-460.

Referenses

[1]. Melentyev L. A. Essays on the history of domestic energy. M.: Nauka, 1987. – 278 p. (Rus.)

[2]. Kapitsa S.P., Kurdyumov S.P., Malinetsky G.G. Synergetics and future forecasts. M.: URSS, 2003. – 288 p. (Rus.)

[3]. N. Voropai. Electric Power System Transformations: A Review of Main Prospects and Challenges, *Energie*, 13, no. 21, 5639 (2020)

[4]. C. Marnay, C. Abbey, G. Joos, Microgrids 1: Engineering, economics, and experience – Capabilities, benefits, business opportunities and examples – Microgrids evolution roadmap. *Electra*, 283, 71-75 (2015)

[5]. Microgrids: Architectures and Control; Hatzigiorgiou, N. (Ed.) IEEE Press-Wiley: New York, NY, USA (2014)

[6]. Nekrasov S. A. Issues of establishing an alternative concept of energy development. Part 1. From an increase in the capacity of the power system to an increase in the structural stability of the electric power industry. – Moscow: CEMI Russian Academy of Sciences, 2020. – 180 p. (Rus.)

[7]. Nekrasov S. A. Issues of establishing an alternative concept of energy development. Part 2. Ways to transform energy supply. – Moscow: CEMI Russian Academy of Sciences, 2020. – 283 p. (Rus.)

[8]. Yu. N. Kucherov, D. N. Yarosh, Yu. G. Fedorov, A. Oudalov. Analysis of technical aspects of smart grid technologies integration into power system of megacity, Proc. CIGRE International Symposium «The electric power system of the future – Integrating supergrids and microgrids», Bologna, Italy (September 13-15, 2011)

[9]. P. V. Ilyushin, Yu. G. Fedorov, S. P. Filippov, Yu. N. Kucherov, S. A. Nekrasov, F. V. Veselov, D. N. Yarosh, Yu. A. Zeygarnik, A. Z. Zhuk. Features of

small dispersed CHP integration into the power system, Proc. of 45th International Conference on Large High Voltage Electric Systems, CIGRE Session 45, Paris, France, 1-10 (August 24-29, 2014)

[10]. N. V. Kvasha. Distributed and digital energy as innovative elements of the fourth energy transition / N. V. Kvasha, E. G. Bondar // Scientific and technical bulletins of St. Petersburg State Polytechnic University. Economic Sciences. 2021, Vol. 14, No. 6. – P. 67–77. (Rus.)

[11]. Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation / I. J. Balaguer, Q. Lei, S. Yang [et al.] // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2011. – Vol. 58, iss. 1. – P. 147–157.

[12]. Ashabani, S. M. New Family of Microgrid Control and Management Strategies in Smart Distribution Grids – Analysis, Comparison and Testing / S. M. Ashabani, Y. A. I. Mohamed // IEEE Trans. Power Syst. – 2014. – Vol. 29, iss. 5. – P. 2257–2269.

[13]. Voropai, N. I., Problems of vulnerability and survivability of cyber-physical electrical power systems / N. I. Voropai, I. N. Kolosok., E. S. Korkina, A. B. Osak // Energy Policy. – 2018. – No. 5. – P. 53–61. (Rus.)

[14]. Bulatov, Yu. N. Multi-agent control technologies in power supply systems with active consumers / Yu. N. Bulatov, A. V. Kryukov // Proceedings of Bratsk State University. Series Natural and engineering sciences. – 2016. – No. 2. – P. 145–154. (Rus.)

[15]. Multi-agent optimal control of electrical networks with active consumers and renewable energy sources / V. V. Molodyuk, Ya. Sh. Isamukhamedov, P. V. Ilyushin, D. A. Ivanovsky // *Energetik*. – 2022. – No. 2. – P. 45–52. (Rus.)

[16]. Fishov, A. G. Active distribution electrical



networks with decentralized multi-agent mode control / A. G. Fishov, A. A. Osintsev, Yu. V. Kakosha, M. Z. Odinabekov // «ELECTRICITY» No. 10 (2022): Issue No. 10. – 2022. (Rus.)

[17]. Ilyushin, P. V. Systematic approach to the development and implementation of distributed energy and renewable energy sources in Russia / P. V. Ilyushin // Energetik. – 2022. – No. 4. – P. 20–27. (Rus.)

[18]. Zhou, X. An overview on microgrid technology / X. Zhou, T. Guo, Y. Ma // 2015 160 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA): proc., Beijing, 02-05 August 2015. – Beijing: IEEE, 2015. – P. 76–81.

[19]. Real-World MicroGrids-An Overview / M. Barnes, J. Kondoh, H. Asano [et al.] // 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering: proc., San Antonio, 16-18 April 2007. – San Antonio: IEEE, 2007. – P. 1–8.

[20]. Zaidi, A. A. Microgrid automation – a self-configuring approach / A. A. Zaidi, F. Kupzog // 2008 IEEE International Multitopic Conference: proc., Karachi, 23-24 December 2008. – Karachi: IEEE, 2008. – P. 565–570.

[21]. Automation of power systems: textbook / compiled by Yu. S. Borovikov, A. S. Gusev, M. V. Andreev, A. O. Sulaimanov; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2015. – 196 p.

[22]. Ovcharenko N. I., Automation of power systems: textbook for universities / N. I. Ovcharenko; edited by member-corr. RAS, Dr. tech. sciences, prof. A. F. Dyakova. – M.: MPEI Publishing House, 2016.

[23]. A. L. Kulikov, M. V. Sharygin, P. V. Ilyushin. Principles of organization of relay protection in microgrids with distributed power generation sources, Power Technology and Engineering, 53, no. 5, 611-617 (2020)

[24]. Electronic resource: <https://www.terbergspecialvehicles.com>

terbergspecialvehicles.com

[25]. Technical and economic aspects of creating minigrids and its integration with centralized energy supply. Fishov A. G. / Energetik. 2022. No. 4. pp. 27-34. – <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2022.85.14.005>

[26]. Method of emergency control of the parallel operation mode of synchronous generators in electrical networks. Fishov A. G., Marchenko A. I., Mukatov B. B. / Patent for invention RU 2662728 C2, 07/30/2018.

[27]. Means and methods for controlling the parallel operation of a small-generation power station with an electrical network / A. I. Marchenko, V. V. Denisov, I. S. Murashkina // Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University. – 2019. – Issue. No. 1 (74). – P. 77-90. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-77-90.

[28]. Decentralized emergency control of AC power grid modes with distributed generation / A. Fishov, A. Osintsev, A. Ghulomzoda, A. Marchenko, Kokin, S., Safaraliev, M., Dmitriev, S. & Zicmane, I. – DOI 10.3390/en16155607. – Text : direct // Energies. – 2023. – Vol. 16, iss. 15. – Art. 5607.

[29]. Study of the stability of parallel operation of a local low-power power supply system with an external electrical network of the power system / A. G. Fishov, A. I. Marchenko, V. V. Denisov, I. S. Murashkina // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy. – 2020. – No. 1. – P. 116-127. – DOI: 10.31857/S0002331020010136

[30]. Dynamic Characteristics of the Minigrid Synchronous Operation with the Electrical Network of a Centralized Electric Power System / A. I. Marchenko, I. S. Murashkina. – DOI: 10.1109/EDM55285.2022.9855051. – Text: direct // IEEE 23 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) to the 100th anniversary of the legendary NETI rector Georgy Lyshchinsky: proc., Erlagol, 30 June – 4 July 2022. – Novosibirsk: IEEE, 2022. – P. 455-460.

Транслитерация по BSI





ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОЦИЛИНДРА С КОМПОЗИТНЫМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ

П. А. Вяткин¹, А. Х. Мола¹, С. Е. Щеклеин¹, Ю. Е. Немихин¹

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.235-244

Заключение совета рецензентов: 23.01.24

Заключение совета экспертов: 25.01.24

Принято к публикации: 30.01.24

Известно, что наибольший приход энергии Солнца на поверхность имеет место при нормальном падении на неё солнечных лучей. Однако, системы слежения за положением Солнца и ориентации солнечных установок (трекинга) требуют электрических приводов, весьма энергозатратны, дороги и ненадежны в эксплуатации.

Целью данного исследования является разработка силового модуля на основе диалотометрического эффекта в жидкостях и твёрдых телах для создания пассивного солнечного трекера, а также выбор жидкости и поиск эффективных полимерных добавок для создания композитных рабочих тел в системах трекинга.

Экспериментально показано, что наибольший эффект изменения объема в диапазоне температур от 20 до 80 °С имеет чистый этиловый спирт. Другие органические жидкости (масла, антифризы) также могут использоваться в системах пассивного солнечного трекинга. Добавление твердых полимерных добавок к жидкой фазе не приводит к усилению эффекта объемного расширения.

Показано, что в результате нагрева жидкости в замкнутом объеме гидроцилиндра диаметром 20 мм могут быть перемещены массы весом до 10 кг.

На основании исследований предложена концепция силового модуля пассивного солнечного трекера.

Ключевые слова: изменение объема, низкокипящая жидкость, композитные добавки, солнечный трекер, гидроцилиндр, полиэтилен, этанол, карболит.

П. А. Вяткин, А. Х. Мола, С. Е. Щеклеин, Ю. Е. Немихин. Экспериментальное исследование систем солнечного трекинга с применением гидроцилиндра с композитным рабочим телом // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 235-244

Vyatkin P. A., Mola A. Kh., Shcheklein S. E., Nemikhin Yu. E. Experimental study of solar trackingsystems using a hydraulic cylinder with a composite working fluid // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 235-244

EXPERIMENTAL STUDY OF SOLAR TRACKING SYSTEMS USING A HYDRAULIC CYLINDER WITH A COMPOSITE WORKING FLUID

Vyatkin ¹ P. A., Mola ¹ A. Kh., Shcheklein ¹ S. E., Nemikhin ¹ Yu. E.

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
s.e.shcheklein@urfu.Ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.235-244

Referred: 23.01.24

Received in revised form: 25.01.24

Accepted: 30.01.24

It is known that the greatest influx of solar energy to the surface takes place during the normal incidence of the sun's rays on it. However, systems for tracking the position of the Sun and the orientation of solar installations (tracking) require electric drives, are very energy-consuming, expensive and unreliable in operation.

The purpose of this research is to develop a power module based on the dilatometric effect in liquids and solids to create a passive solar tracker, as well as to select a liquid and search for effective polymer additives to create composite working fluids in tracking systems.

It has been experimentally shown that pure ethyl alcohol has the greatest effect of volume change in the temperature range of 20 to 80 °C. Other organic liquids (oils, antifreezes) can also be used in passive solar tracking systems. The addition of solid polymer additives to the liquid phase does not increase the effect of volumetric expansion.

It is shown that as a result of heating a liquid in a closed volume of a hydraulic cylinder with a diameter of 20 mm, masses weighing up to 10 kg can be moved.

Based on the research, the concept of the power module of a passive solar tracker is proposed.

Keywords: volume change, low-boiling liquid, composite additives, solar tracker, hydraulic cylinder, polyethylene, ethanol, carbolite.

Сведения об авторе:

Образование: Уральский федеральный университет – Бакалавр, Магистрант (Россия).

Область исследований: Системы возобновляемой энергетики

Публикации: 1.

Information about the author:

Education: Ural Federal University – Bachelor's degree, master's student (Russia).

Field of study: Renewable energy systems

Publications: 1.



Вяткин
Павел Алексеевич
Vyatkin
Pavel Alekseevich

Сведения об авторе:

Образование: Багдадский технологический университет – Бакалавр, Магистр (Ирак).

Уральский федеральный университет – аспирант (Россия).

Область исследований: Системы возобновляемой энергетики.

Публикации: 10 публикаций в журналах, индексируемых Scopus.

Information about the author:

Education: Baghdad, Master University of Technology – Bachelor, Master (Iraq).

Ural Federal University – postgraduate student (Russia).

Research area: Renewable energy systems

Publications: 5 publications in journals indexed by Scopus.



Аль-Мохаммедави
Ахмед Хуссейн Мола
Al-Mohammedawi
Ahmed Hussein Mola



Щеклеин
Сергей Евгеньевич
Shcheklein
Sergey Evgenievich

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; действительный член Международной энергетической академии.

Награды: Заслуженный энергетик России; Национальная экологическая премия им. В. И. Вернадского; медаль «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

Образование: Уральский политехнический институт (1972 г.).

Область научных интересов: проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков; возобновляемые источники энергии.

Публикации: более 500, включая 2 монографии, 80 изобретений. H-index – 18.

Information about the author: Dr. Techn. Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin; Full member of the International Energy Academy.

Awards: Honored Power Engineer of Russia; V. I. Vernadsky National Environmental Award; Medal «Veteran of Nuclear Energy and Industry».

Education: Ural Polytechnic Institute (1972).

Research interests: problems of nuclear energy and thermal physics of two-phase flows; renewable energy sources.

Publications: more than 500, including 2 monographs, 80 inventions. H-index – 18.



Немихин
Юрий Евгеньевич
Nemikhin
Yurii Evgenievich

Сведения об авторе: старший преподаватель Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»

Образование: Уральский государственный университет имени А. М. Горького, 1971 г.

Награды и научные премии: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за многолетний добросовестный труд по подготовке кадров для энергетических предприятий страны (2011).

Область научных интересов: разработка физических основ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии; методы компьютерной диагностики и мониторинга в энергетике.

Публикации: более 40 и 10 изобретений.

Information about the author: Senior Lecturer of Ural Federal University named after the first President of Russia Boris Yeltsin, the «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources» department.

Education: Ural State University named after A. M. Gorky, 1971.

Scientific prize: Diploma of the Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Sverdlovsk region for many years of hard work training for energy companies in the country, 2011.

Research area: the development of the physical foundations of non-conventional and renewable sources of energy; methods of computer diagnostics and monitoring in the energy sector.

Publications: more than 40 and 10 inventions.



Введение

Особенностью прихода энергии от солнца на поверхности фотоэлектрических или термодинамических установок (коллекторы, концентраторы) является изменение угла падения солнечных лучей на их поверхности и переменный (в дневном цикле) приход энергии к преобразователям. Максимальный приход энергии имеет место при нормальном падении лучей на поверхность. Принудительная ориентация солнцеприёмника (трекинг) позволяет повысить эффективность сбора солнечной энергии от 20 % (солнечные коллекторы) до 100 % (солнечные концентраторы) [1-2]. Так, например, существует методика активного солнечного трекера [1-11]. При этом управление положением солнечной панели осуществляется при помощи двух сервомоторов. Электрические двусосные солнечные трекеры также требуют систем автоматического управления. Для технологии трекинга требуется значительный расход электрической энергии, зачастую превышающий выработку, а также амортизационные издержки на оборудование и затраты на эксплуатацию [1-11]. В ряде исследований делается попытка снижения энергетических затрат на приводы и системы управления трекеров путем оптимизации алгоритмов управления [16] либо использования пассивных приводов с использованием газовых или парогазовых пневмосистем [17-24].

Целью данной работы являлась разработка концепции и технологии пассивного трекинга солнечных преобразователей путём использования диалометрического эффекта в жидкостях и твёрдых те-

лах, а также выбор жидкости и поиск композитных добавок [25].

Данная работа основывается на эффекте увеличения объёма жидкостей и полимеров от температуры. Это связано с изменением расстояния между молекулами, что является следствием ускорения их движения при нагреве. Жидкости слабо чувствительны к изменениям давления, однако чувствительны к колебаниям температуры. Мерой количественной чувствительности объёмного расширения веществ от температуры является температурный коэффициент объёмного расширения [26].

Изменение объёма веществ от температуры можно рассчитать по формуле:

$$\Delta V = V_0 \cdot \alpha (T) \cdot (T_1 - T_0), \quad (1)$$

где ΔV – изменение объёма, V_0 и T_0 – начальный объём и температура, а T_1 – новая температура.

Максимальное повышение давления, в следствии нагревания жидкости, находящейся в замкнутой цилиндрической емкости, при отсутствии кипения только за счет термического расширения по всему объёму рассмотрено в работах [27, 28] и имеет вид:

$$P_{max} = P_0 + [(\alpha (T)) / (\alpha (P))] (T_1 - T_0) \quad (2)$$

где T, P – температура и давление жидкости; нижний индекс «0» соответствует начальным значениям параметров жидкости; $\alpha (T)$ – коэффициент термического расширения жидкости; $\alpha (p) = 1/(\rho_{ж} C_{ж}^2)$ – коэффициент сжимаемости, определяемый скоростью звука в жидкости $C_{ж}$.

Таблица сокращений

Буквы греческого алфавита	
α	Коэффициент объёмного теплового расширения
Δ	Изменение объёма
ρ	Плотность (кг/м ³)
Буквы латинского алфавита	
C	Скорость звука, м/с
P	Давление, Па
T	Температура, К
V	Объём, м ³
Нижние индексы	
o	начальные значения параметров
l	текущие (новые) значения параметров
max	максимальное значение
$ж$	жидкость

1. Экспериментальная установка

Оборудование, которое использовалось для проведения экспериментов, схематично показано на рисунке 1. Опыт по проверке величины объёмного расширения рабочих тел производился в различных

комбинациях (этиловый спирт, этиловый спирт и полиэтиленовые гранулы, этиловый спирт и карболитовые гранулы, антифриз). Во избежание утечки вещества при его переходе в газообразное состояние, используемая ёмкость с рабочим телом закрыта плотной резиновой пробкой.

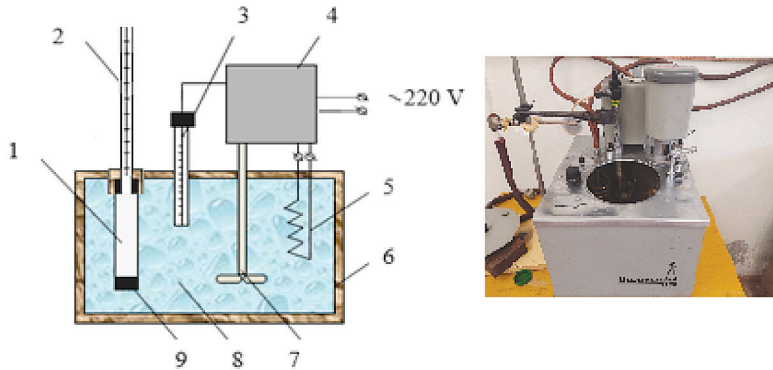


Рис. 1. Схема и фото экспериментального стенда
 1 – объём рабочего тела, 2 – стеклянная мерная трубка, 3 – контактный термометр,
 4 – блок управления, 5 – электронагреватель, 6 – теплоизоляция, 7 – перемешивающее устройство,
 8 – жидкость термостата, 9 – пробка

Fig. 1. Scheme and photo of the experimental stand
 1 – working fluids volume, 2 – U shaped pressure gauge, 3 – pin thermometer, 4 – control unit,
 5 – electric heater, 6 – thermal insulation, 7 – stirring device, 8 – thermostat liquid, 9 – plug

Характеристики различных жидкостей и используемых композитных добавок рабочих тел сведены в Таблицу 1.

Свойства рабочих тел

Working substance properties

Таблица 1

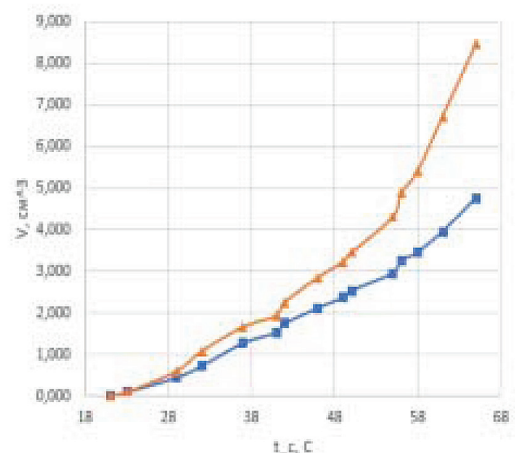
Table 1

Вещество	Молярная масса (г/моль)	Плотность (кг/м ³)	Температура кипения (°C)	Коэффициент объемного теплового расширения при 20 °C, $\beta \cdot 10^3$, K-1
Этанол	46	789	78	1,079
Антифриз	62	1113	197	0,96
Полиэтилен ВД	28	950	801	0,6
Карболит	73,89	2200	Не кипит	0,15

2. Результаты

Температура нагрева влияет на объемную концентрацию низкокипящих жидкостей, за счёт чего высота столба жидкости в гидроцилиндре (стеклянной мерной трубке) увеличивается. В каждом опыте начальный объём составлял 76 мл. На Рисунках 2, 3 и 4 показаны изменения объёма смесей веществ в зависимости от нагрева жидкости (воды) внутри бака термостата. Замеры производились при увеличении температуры воды на каждые 5 градусов. Начальная температура равнялась комнатной и составляла 20 градусов Цельсия. Опыт прекращался при достижении рабочей жидкостью температуры кипения.

Рис. 2. Изменение объема спирта с добавлением полиэтиленовых гранул
Fig. 2. Changing the volume of ethanol with the addition of polyethylene granules



■ Полиэтиленовые 50 мл
 ▲ Полиэтиленовые 25 мл

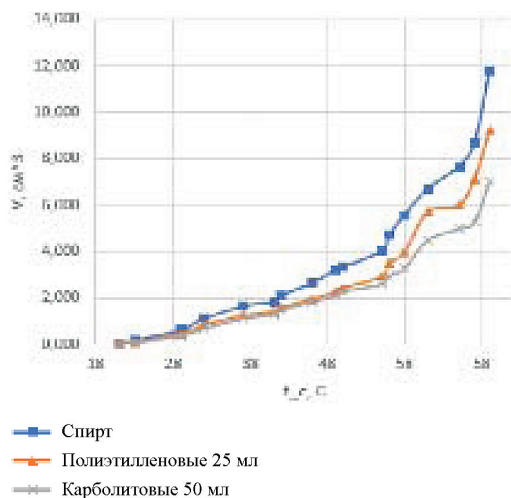


Рис. 3. Изменение объема спирта с добавлением полиэтиленовых и карболитовых гранул
Fig. 3. Changing the volume of ethanol with the addition of polyethylene and carbolite granules

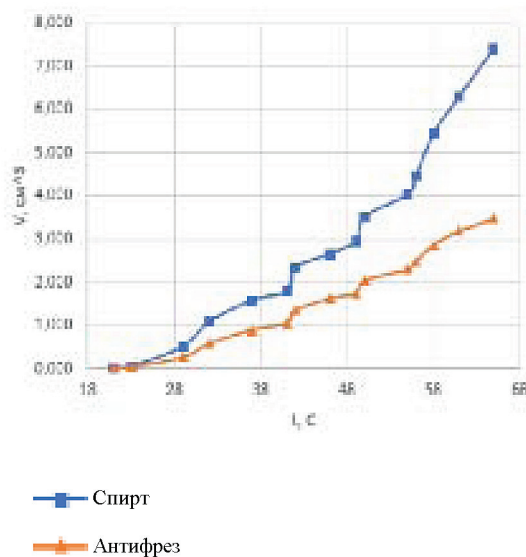
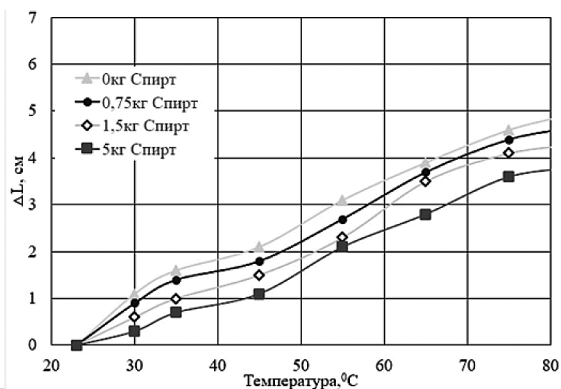


Рис. 4. Изменение объема спирта и антифриза
Fig. 4. Changing the volume of ethanol and antifreeze

Как и ожидалось, наибольшее увеличение объема для всех исследованных композиций имел чистый этиловый спирт. С целью оценки возможности использования данного эффекта для перемещения масс, имеющих значительный вес, были выполнены дополнительные исследования с замкнутым гидроцилиндром, где расширяющийся этанол воздействовал на поршень через нагруженный различными массами шток.

Рис. 5. Высота подъема груза в зависимости от температуры гидроцилиндра
Fig. 5. Lifting height of the load depending on the temperature of the hydraulic cylinder



Результаты исследований, приведенные на рисунке 5, показали возможность перемещения значительных масс. Теоретические результаты работы [15] показывают, что в этом диапазоне изменения темпе-

ратур можно получить давление 6 МПа и для данной конструкции гидроцилиндра переместить коллектор массой до 60 кг.

3. Предполагаемая конструкция трекера

Главная задача пассивного солнечного трекера – выставление панелей под максимально эффективным углом для получения наибольшего коэффициента полезного действия (КПД). В качестве возможных вариантов данных трекеров предложен теплоизолированный гидроцилиндр с радиационно-оптическим

солнечным нагревом. На рисунке 6 показан принцип движения солнечной панели под действием гидроцилиндров. На рисунке 7 предполагаемая конструкция теплоизолированного гидроцилиндра с радиационно-оптическим солнечным нагревом.

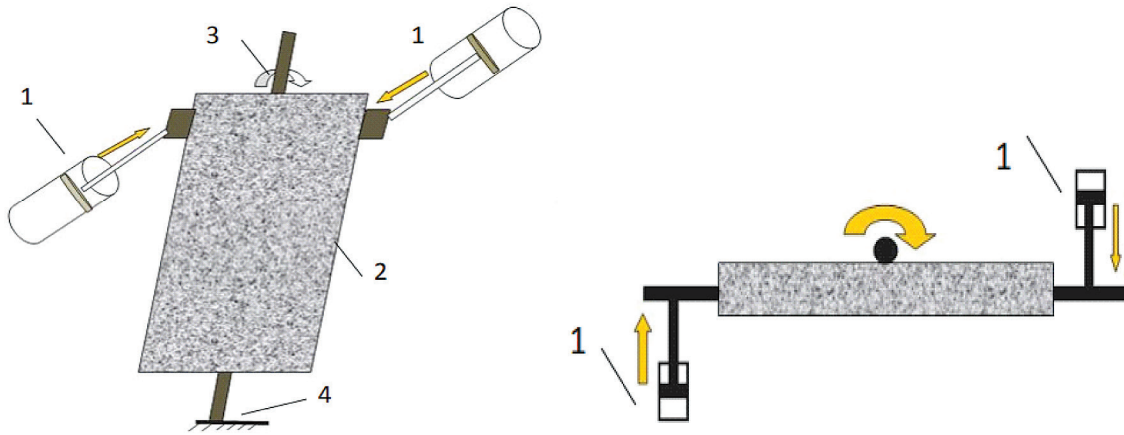


Рис. 6. Схема движения солнечной панели под действием гидроцилиндров

- 1 – гидроцилиндры, 2 – солнечная панель,
- 3 – ось вращения, 4 – неподвижная опора

Fig. 6. Diagram of the movement of the solar panel under the action of hydraulic cylinders

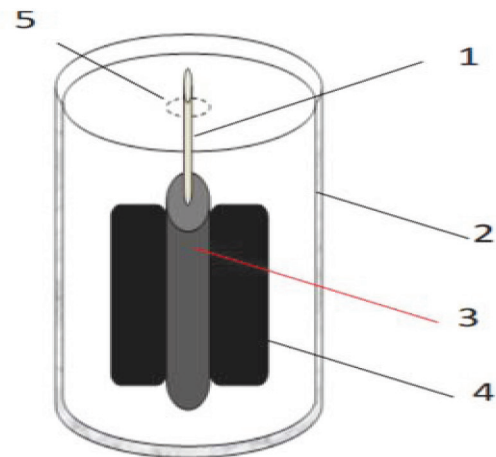
- 1 – hydrocylinder, 2 – solar panel,
- 3 – axis of rotation, 4 – fixed-bearing

Рис. 7. Теплоизолированный гидроцилиндр с радиационно-оптическим солнечным нагревом

- 1 – шток поршня гидроцилиндра,
- 2 – светопрозрачный теплоизолирующий корпус,
- 3 – гидроцилиндр, 4 – теплопроводные пластины,
- 5 – скользящее уплотнение крышки корпуса

Fig. 7. Thermally insulated hydraulic cylinder with radiation-optical solar heating

- 1 – piston rod of the hydraulic cylinder,
- 2 – translucent heat-insulating housing,
- 3 – hydraulic cylinder,
- 4 – heat-conducting plates,
- 5 – sliding seal of the housing cover



Заключение

1. Применение терморасширяющихся жидкостей и твёрдых тел позволяет получить механическую энергию, достаточную для систем солнечного трекинга. Наибольшую эффективность термического увеличения объёма проявили составы на основе этилового спирта.

2. Разработана конструкция теплоизолированного оптического прозрачного корпуса гидроцилиндра, предотвращающая конвективное охлаждение атмосферным воздухом для пассивной системы солнечного трекинга.

3. В то же время естественное управление углом поворота требует применения дополнительного программного устройства (например, механизма часового типа) [29].

Список литературы

[1]. Немихин Ю. Е. и др. Разработка и создание системы слежения за положением солнца // Технические науки в мире: от теории к практике. – 2015. – С. 35-38.

[2]. Обухов С. Г., Плотников И. А. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за солнцем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – №. 10. – С. 95-106.

[3]. Hafez A. Z., Yousef A. M., Harag N. M. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Т. 91. – С. 754-782.

[4]. M. H. Majeed, N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, A. V. Matveev. Electromechanical solar tracker system for a parabolic dish with CPU water heater, Mater. Today Proc. (2021).

[5]. F. S. Atallah, Y. H. H. Mahmood, S. S. Tawfeeq, Fabrication and study of solar panel tracking system, Tikrit J. Pure Sci. 23 (2018) 123–127. <https://doi.org/10.25130/tjps.23.2018.017>.

[6]. Juang J. N., Radharamanan R., Beaver J. A Low Cost Solar Tracker Design for Renewable Energy // Journal of Management & Engineering Integration. – 2013. – Т. 6. – №. 2.

[7]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Materials Today : Proceedings Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia, Mater. Today Proc. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.263>.

[8] N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia, Mater. Today Proc. 42 (2021) 2076–2083. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.263>.

[9] N. T. Alwan, M. H. Majeed, I. M. Khudhur,

S. E. Shcheklein, O. M. Ali, S. J. Yaqoob, R. Alayi. Assessment of the performance of solar water heater : an experimental and theoretical investigation, (2022) 528–539.

[10]. N. T. Alwan, H. M. Milia, S. E. Shcheklein, A. V. Matveev. Dual axis solar tracking system for a parabolic dish CPU water heater, J. Phys. Conf. Ser. 2119 (2021). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2119/1/012098>.

[11]. A. Ponniran, A. Hashim, A. Joret. A Design of Low Power Single Axis Solar Tracking System Regardless of Motor Speed, Int. J. Integr. Eng. 3 (2011) 5–9.

[12]. S. Venkatesh Kumar, C. Kathirvel, P. Deepa, R. Mohan Kumar. Design and Implementation of IoT based Dual Axis Solar Tracking System, Proc. - 2023 3rd Int. Conf. Smart Data Intell. ICSMDI 2023. 5 (2023) 542–545. <https://doi.org/10.1109/ICSMDI57622.2023.00102>.

[13]. N. T. Alwan, A. S. Ahmed, M. H. Majeed, S. E. Shcheklein, S. J. Yaqoob, A. Nayyar, Y. Nam, M. Abouhawwash. Enhancement of the Evaporation and Condensation Processes of a Solar Still with an Ultrasound Cotton Tent and a Thermoelectric Cooling Chamber, Electron. 11 (2022). <https://doi.org/10.3390/electronics11020284>.

[14]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Case Studies in Thermal Engineering Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector, Case Stud. Therm. Eng. 19 (2020) 100614. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100614>.

[15]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Experimental investigations of single-slope solar still integrated with a hollow rotating cylinder, in: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Institute of Physics Publishing, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012063>.

[16]. Shcheklein S. E., Nemikhin Y. E., Nemkov D. A. Revisiting optimization of 2D tracker application in solar energy //2018 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED). – IEEE, 2018. – С. 1-4.

[17]. Madala S., Boehm R. F. A review of nonimaging solar concentrators for stationary and passive tracking applications //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Т. 71. – С. 309-322.

[18]. León N., García H., Ramírez C. Semi-passive solar tracking concentrator // Energy Procedia. – 2014. – Т. 57. – С. 275-284.

[19]. Pe´rez Sa´nchez M. M., Balam Tamayo D., Cruz Estrada R. H. Design and Construction of a Dual Axis Passive Solar Tracker, for Use on Yucata´n // Energy Sustainability. – 2011. – Т. 54686. – С. 1341-1346.

[20]. Natarajan M., Srinivas T. Experimental and simulation studies on a novel gravity based passive tracking system for a linear solar concentrating collector // Renewable Energy. – 2017. – Т. 105. – С. 312-323.

[21]. Couture P. et al. Improving passive solar collector for fiber optic lighting // 2011 IEEE Electrical Power and Energy Conference. – IEEE, 2011. – С. 68-73.

[22]. Angulo M. et al. Design and Control of a Pas-

sive Solar Tracking System Using a Sky Imager // Latin American Symposium on Industrial and Robotic Systems. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – С. 170-178.

[23]. Holambe P. R., Talange D. B., Bhole V. B. Motorless solar tracking system //2015 International Conference on Energy Systems and Applications. – IEEE, 2015. – С. 358-363.

[24]. Sharma M., Jilte R. A review on passive methods for thermal performance enhancement in parabolic trough solar collectors //International Journal of Energy Research. – 2021. – Т. 45. – №. 4. – С. 4932-4966.

[25]. Вяткин П. А. и др. Экспериментальное исследование влияния низкокипящих присадок на объем в газовом цилиндре двигателя Стирлинга // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2023. – №. 4. – С. 125-130.

[26]. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972, 720 с.

[27]. Юмагулова Ю. А. Повышение давления жидкости в замкнутом объеме за счет термического расширения при нагревании через стенки //Труды Института механики им. Р. Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН. – 2012. – Т. 9. – №. 1. – С. 188-189.

[28]. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. Ч. 1. 464 с. Ч. 2. 360 с.

[29]. Стариков Е. В., Велькин В. И., Щеклеин С.Е. Патент РФ на полезную модель «Гелиотроп» № 47496 от 05.04.2005

References

[1]. Nemikhin Y. E. et al. Razrabotka i sozдание sistemy sledovanie za polozheniya solntsem. Technical sciences in the world: from theory to practice. – 2015. P. 35-38. (In Russian)

[2]. Obukhov S. G., Plotnikov I. A. Vybhor parametrov i analiz effektivnosti primeneniya sistem sledeniya za solnekom. Engineering of Georesources. 2018. Т. 329. №. 10, P. 95-106. (In Russian)

[3]. Hafez A. Z., Yousef A. M., Harag N. M. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types– A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Т. 91, P. 754-782.

[4]. M. H. Majeed, N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, A. V Matveev. Electromechanical solar tracker system for a parabolic dish with CPU water heater, Mater. Today Proc. (2021).

[5]. F. S. Atallah, Y. H. H. Mahmood, S. S. Tawfeeq. Fabrication and study of solar panel tracking system, Tikrit J. Pure Sci. 23 (2018) 123–127. <https://doi.org/10.25130/tjps.23.2018.017>.

[6]. Juang J. N., Radharamanan R., Beaver J. A Low Cost Solar Tracker Design for Renewable Energy. Jour-

nal of Management & Engineering Integration. 2013. Т. 6. №. 2.

[7]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Materials Today : Proceedings Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia, Mater. Today Proc. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.263>.

[8]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia, Mater. Today Proc. 42 (2021) 2076–2083. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.263>.

[9]. N. T. Alwan, M. H. Majeed, I. M. Khudhur, S. E. Shcheklein, O. M. Ali, S. J. Yaqoob, R. Alayi. Assessment of the performance of solar water heater : an experimental and theoretical investigation, (2022) 528–539.

[10]. N. T. Alwan, H. M. Milia, S. E. Shcheklein, A. V. Matveev. Dual axis solar tracking system for a parabolic dish CPU water heater, J. Phys. Conf. Ser. 2119(2021). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2119/1/012098>.

[11]. A. Ponniran, A. Hashim, A. Joret. A Design of Low Power Single Axis Solar Tracking System Regardless of Motor Speed, Int. J. Integr. Eng. 3 (2011) 5–9.

[12]. S. Venkatesh Kumar, C. Kathirvel, P. Deepa, R. Mohan Kumar. Design and Implementation of IoT based Dual Axis Solar Tracking System, Proc. – 2023 3-rd Int. Conf. Smart Data Intell. ICSMDI 2023. 5 (2023), P. 542–545. <https://doi.org/10.1109/ICSMDI57622.2023.00102>.

[13]. N. T. Alwan, A. S. Ahmed, M. H. Majeed, S. E. Shcheklein, S. J. Yaqoob, A. Nayyar, Y. Nam, M. Abouhawwash, Enhancement of the Evaporation and Condensation Processes of a Solar Still with an Ultrasound Cotton Tent and a Thermoelectric Cooling Chamber, Electron. 11 (2022). <https://doi.org/10.3390/electronics11020284>.

[14]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Case Studies in Thermal Engineering Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector, Case Stud. Therm. Eng. 19 (2020) 100614. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100614>.

[15]. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, O. M. Ali. Experimental investigations of single-slope solar still integrated with a hollow rotating cylinder, in: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Institute of Physics Publishing, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012063>.

[16]. Shcheklein S. E., Nemikhin Y. E., Nemkov D. A. Revisiting optimization of 2D tracker application in solar energy. 2018. 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED). IEEE, 2018. C.1-4.

[17]. Madala S., Boehm R. F. A review of nonimaging solar concentrators for stationary and passive tracking applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Т. 71. С. 309-322.

[18]. León N., García H., Ramírez C. Semi-passive solar tracking concentrator. Energy Procedia. 2014. Т. 57.

P. 275-284.

[19]. Pe' rez Sa' nchez M. M., Balam Tamayo D., Cruz Estrada R. H. Design and Construction of a Dual Axis Passive Solar Tracker, for Use on Yucata' n. Energy Sustainability. 2011. T. 54686. P. 1341-1346.

[20]. Natarajan M., Srinivas T. Experimental and simulation studies on a novel gravity based passive tracking system for a linear solar concentrating collector. Renewable Energy. 2017. T. 105. P. 312-323.

[21]. Couture P. et al. Improving passive solar collector for fiber optic lighting. 2011 IEEE Electrical Power and Energy Conference. IEEE, 2011. P. 68-73.

[22]. Angulo M. et al. Design and Control of a Passive Solar Tracking System Using a Sky Imager. Latin American Symposium on Industrial and Robotic Systems. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 170-178.

[23]. Holambe P. R., Talange D. B., Bhole V. B. Motorless solar tracking system. 2015 International Conference on Energy Systems and Applications. IEEE, 2015. P. 358-363.

[24]. Sharma M., Jilte R. A review on passive methods for thermal performance enhancement in parabolic trough solar collectors // International Journal of Energy

Research. 2021. T. 45. №. 4. P. 4932-4966.

[25]. Viatkin P.A., Salih S.A., Mola A.H., Dubinin A.M., Shcheklein S.E., Nemikhin Y.E. Experimental study of the effect of low-boiling additives on the volume in the gas cylinder of the Stirling engine. International scientific journal for alternative energy and ecology. 2023. № 4 (409). P. 125-130. (In Russian)

[26]. Vargaftik N.B. Handbook on Thermophysical Properties of Gases and Liquids. Moscow, Nauka Publ., 1972, 720 p. (In Russian).

[27]. Yumagulova Y. A. Increase in fluid pressure in a closed volume due to thermal expansion during heating through walls. Proceedings of the Institute of Mechanics named after R. R. Mavlyutov of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2012. T. 9. №. 1. P. 188-189. (In Russian)

[28]. Nigmatulin R. I. Dynamics of multiphase media. Moscow, Nauka Publ., 1987. Part 1. 464 p. (In Russian). Part 2. 360 p. (In Russian).

[29]. Starikov E.V., Velkin V.I., Shcheklein S.E. Patent of the Russian Federation for the utility model «Heliotrope» № 47496 dated 05.04.2005 (In Russian).

Транслитерация по BSI





ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМЫ,
МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES, SYSTEMS,
MATERIALS, AND INSTRUMENTS

Статья поступила в редакцию 05.01.24. Ред. Рег. № 305-001-24

The article has entered in publishing office 05.01.24. Ed. Reg. No. 305-001-24

УДК 621.311.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ ПРОВЕРОК ДЛЯ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА

Осинцев А. А.,* Фролова Е. И.

*Кафедра электрических станций, Новосибирский государственный технический университет,
пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630073, РФ
Тел./Факс: +7 (383) 346-13-73
e-mail: osincev@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.245-251

Заключение совета рецензентов: 14.01.24

Заключение совета экспертов: 26.01.24

Принято к публикации: 29.01.24

Одним из наиболее сложных и ответственных видов автоматике в электрических сетях с синхронной генерацией, к которым относятся и генерирующие установки на водородном топливе, является автоматика ликвидации асинхронного режима. Моделирование входных сигналов, соответствующих точным настройкам данной автоматике для проверки правильности её функционирования, является непростой задачей. Это связано с тем, что необходимо моделировать точные параметры траектории измеряемого вектора сопротивления в асинхронном режиме, описываемой окружности (радиус, координаты центра в комплексной плоскости сопротивлений, направление вращения, скорость и т. д.), в то время, как доступные инструменты, встроенные в испытательные устройства, часто не поддерживают такие параметры напрямую. Для решения этой проблемы авторы представляют подход к моделированию мгновенных значений токов в линии и фазных напряжений во время асинхронного режима. Все предложенные решения позволяют сократить время ввода в эксплуатацию автоматике ликвидации асинхронного режима и, тем самым, повысить качество и скорость испытаний.

Ключевые слова: автоматика ликвидации асинхронного режима, синхронные качания, асинхронный ход, годограф вектора сопротивления, моделирование, релейная защита, математическая модель.

Осинцев А. А., Фролова Е. И. Моделирование тестовых проверок для автоматике ликвидации асинхронного режима // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 245-251

Osintsev A. A., Frolova E. I. Modeling test checks for automatic elimination of asynchronous mode // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 245-251



MODELING TEST CHECKS FOR AUTOMATIC ELIMINATION OF ASYNCHRONOUS MODE

*Osintsev A. A., * Frolova E. I.*

*Department of Electric Power Plants, Novosibirsk State Technical University, K. Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel./Fax: +7 (383) 346-13-73
e-mail: osincev@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.245-251

Referred: 14.01.24

Received in revised form: 26.01.24

Accepted: 29.01.24

One of the most complex and responsible kinds of protection in networks with rotating generation, which includes hydrogen fuel generation, is protection against loss-of-synchronism. And it is a challenging task to simulate input signals corresponding to the exact settings of the out-of-step protection to make sure it operates correctly. This is because one has to simulate exact parameters of impedance locus (its radius, coordinates of the center in the impedance plane, spin direction, speed, etc.) while available tools embedded in testing devices often don't support such parameters directly. To deal with the problem, the authors present the approach to simulate instantaneous values of line currents and phase-to-ground voltages during the out-of-step operation. All the proposed solutions proved to reduce the time required for commissioning of out-of-step protection and thereby increase tests quality and speed.

Keywords: out-of-step protection, power swings, out-of-step, impedance locus, numerical simulation, relay protection, mathematical model.



Осинцев
Анатолий
Анатольевич

Osintsev
Anatoliy
Anatol'evich

Сведения об авторе: кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрических станций Факультета энергетики, Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование: магистр по специальности «Электроэнергетика и электротехника», Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия, 2010.

Область научных интересов: Исследование влияния переходных процессов в группах трансформаторов тока на функционирование быстродействующих защит, исследование сложных переходных режимов на функционирование устройств автоматической ликвидации асинхронного режима, а также разработка устройств послеаварийного восстановления нормального режима.

Публикации: 58.

Индекс Хирша: 2.

Elibrary Author ID: 787278

Scopus Author ID: 57204924457

Wos Author ID: I-5459-2016

ORCID: 0000-0001-8373-3493

Author information: PhD in Engineering Science, associate professor of the Department of Power Station, Faculty of Power Engineering, NSTU, Novosibirsk, Russia.

Education: Master of «Electric engineering and electrical technology», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2010.

Research area: Study of the influence of transient processes in groups of current transformers on the functioning of high-speed protections, study of complex transient modes on the functioning of automatic devices for eliminating asynchronous mode, as well as the development of devices for post-emergency restoration of normal mode.

Publications: 58.

H-index: 2.

Elibrary Author ID: 787278

Scopus Author ID: 57204924457

Wos Author ID: ORCID: I-5459-2016

ORCID: 0000-0001-8373-3493



Фролова
Екатерина Игоревна

Frolova
Ekaterina Igorevna

Сведения об авторе: кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций Факультета энергетики, Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование: Инженер по специальности «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия, 2008.

Область научных интересов:

Исследование влияния переходных процессов в группах трансформаторов тока на функционирование быстродействующих защит, исследование сложных переходных режимов на функционирование устройств автоматики ликвидации асинхронного режима.

Публикации: 20.

Индекс Хирша: 1.

Elibrary Author ID: 787709

Scopus Author ID: 57190444763

Author information: PhD in Engineering Science, associate professor of the Department of Power Station, Faculty of Power Engineering, NSTU, Novosibirsk, Russia.

Education: Engineer specializing in «Relay protection and automation of electrical power systems», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2008.

Research area: Study of the influence of transient processes in groups of current transformers on the functioning of high-speed protections, study of complex transient modes on the functioning of automatic devices for eliminating asynchronous mode.

Publications: 20.

H-index: 1.

Elibrary Author ID: 787709

Scopus Author ID: 57190444763



Таблица сокращений:

АЛАР	Автоматика ликвидации асинхронного режима
ЕМТР	Программный продукт для моделирования и анализа электрических энергосистем
АТР	Программа моделирования для электроэнергетики
ЭДС	Электродвижущая сила
\underline{E}_1	Вектор ЭДС энергосистемы 1
\underline{E}_2	Вектор ЭДС энергосистемы 2
\underline{Z}_1	Векторное сопротивление энергосистемы 1
\underline{Z}_2	Векторное сопротивление энергосистемы 2

P	Место установки защиты
\underline{I}_r	Вектор тока, протекающего через защищаемую линию
КПА-М	Комплекс противоаварийной автоматики многофункциональный
РЕТОМ-51	Многофункциональный программно-аппаратный комплекс для проверки устройств релейной защиты и автоматики
COMTRADE	Common Transient Data Exchange, общепринятый формат записи осциллограмм переходных процессов (аварий) в энергосистемах

Введение

Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) предназначена для предотвращения развития аварийной ситуации, вызванной несинхронным вращением двух и более частей электроэнергетической системы друг относительно друга. Технически АЛАР может быть организована по разным принципам действия: с использованием реле тока, дистанционных реле или углового принципа [1]. Использование цифровой техники при реализации АЛАР позволило

более точно идентифицировать режимы работы энергосистемы, но при этом привело к существенному усложнению алгоритмов функционирования [2-10]. Поэтому комплексный ввод АЛАР в эксплуатацию, включающий проверку правильности её настроек и конфигурации, зачастую становится очень сложной, трудоемкой задачей, как отмечают многие специалисты [11-14].

1. Постановка задачи

В статье [15] представлены различные способы тестирования АЛАР основанные на дистанционном принципе, где указано, что наиболее точный способ тестирования АЛАР – это моделирование различных неисправностей и нештатных состояний с использованием специализированных программных симуляторов режимов работы энергосистемы (ЕМТР, АТР). Однако такие симуляторы довольно дороги и для их использования потребуется специальная подготовка. Кроме того, упомянутые программные системы содержат множество функций, и не все из них действительно необходимы для проведения теста АЛАР.

Другой возможный способ проверки конфигурации АЛАР – воспроизведение записей аварийных процессов с цифровых регистраторов аварийных

событий. Эти записи обеспечивают наиболее реалистичное тестирование конкретных событий, для которых они были записаны, но, с одной стороны, количество таких записей ограничено, а с другой – для проверки иных устройств АЛАР с иными настройками и для проверки других условий качания мощности таких записей обычно недостаточно.

Таким образом, актуальной является задача получения простых в использовании и понятных средств тестирования АЛАР в условиях потери синхронизма, особенностью которых был бы понятный графический интерфейс. Создание таких инструментов позволило бы не только снизить трудозатраты, но и повысить качество пуско-наладочных работ [16-20].

2. Материалы и методы

В российской энергосистеме широкое распространение получили устройства АЛАР, основанные на дистанционном принципе [21], при этом АЛАР, реагирующие на колебания тока, также можно встретить в эксплуатации. Для моделирования процессов [22-31], протекающих в этих устройствах, использовалась модель двухмашинной системы (рис. 1). На рисунке 1 приняты следующие обозначения: E_1, E_2 – векторы ЭДС двух энергосистем; Z_1, Z_2 – векторные сопротивления энергосистем 1 и 2 соответственно; точка «Р» указывает место установки защиты; I_r – вектор тока, протекающего через защищаемую линию. На основе данной модели выполнены поставленные далее задачи по проверке АЛАР.

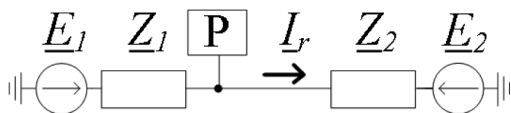


Рис. 1. Модель двухмашинной системы
Fig. 1. Model of a two-machine system

При проверке функционирования АЛАР токовым принципе необходимо установить:

- 1) надежное несрабатывание автоматики при токе, равном 90 % уставки или ниже ее;
- 2) надежное срабатывание автоматики при действующем значении тока, равном 110 % уставки и выше.

При проверке функционирования АЛАР на дистанционном принципе необходимо установить:

- 1) надежное несрабатывание автоматики при расположении электрического центра качаний вне защищаемого участка сети (траектория измеряемого вектора сопротивления описывает форму окружности и располагается вне характеристики срабатывания);
- 2) надежное срабатывание автоматики при расположении электрического центра качаний на защищаемом участке сети (траектория измеряемого вектора сопротивления описывает форму окружности и пересекает характеристику срабатывания);
- 3) надежное несрабатывание автоматики при синхронных качаниях (траектория измеряемого вектора сопротивления описывает форму разомкнутого кольца и пересекает характеристику срабатывания, но не пересекает линию, характеризующую смену знака мощности).

3. Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования токовых и дистанционных АЛАР проводились на многофункциональном устройстве противоаварийной автоматики (серия КПА-М) производства АО «Институт автоматизации энергетических систем» с помощью

программно-аппаратного испытательного комплекса РЕТОМ-51. Анализ данных, записанных прибором, подтверждает корректность предложенных алгоритмов проверки.

Заключение

Разработанные алгоритмы позволяют качественно моделировать асинхронный режим и синхронные

качания с произвольно заданными параметрами и, тем самым образуют полноценную основу для про-

верки уставок АЛАР как на токовом, так и на дистанционном принципе. Единственным требованием для тестовой установки является поддержка воспроизведения записей COMTRADE, что делает представленный подход универсальным.

Предложенные алгоритмы активно используются при наладке устройств АЛАР на базе терминалов КПА-М (производство АО «Институт автоматизации энергетических систем», г. Новосибирск, Россия). Это существенно сокращает время проведения пуско-наладочных работ, а также повышает его качество, по-

скольку ранее проверка настроек проводилась стандартными средствами программного обеспечения РЕТОМ-51 со значительными затруднениями подбора параметров аварийного режима.

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность Илье Игоревичу Литвинову за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по подготовке статьи.

Список литературы

[1]. Гоник Я. Е., Иглицкий Е. С. Автоматика ликвидации асинхронного режима. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.

[2]. Наровлянский В. Г.: Применение устройства АЛАР-М для выявления и ликвидации асинхронного режима электроэнергетической системы: статья в науч. журн. «Энергетик» / Наровлянский В. Г., Ваганов А.Б. – Москва: Изд-во «Энергопрогресс», 2011. – 17-20 с.

[3]. Акционерное общество «Институт автоматизации энергетических систем» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://iaes.ru>. Ссылка активна на 27 января 2023.

[4]. Сборник технических описаний. Комплекс устройств противоаварийной автоматики [Электронный ресурс] – ООО «Релематика», 2015. – 23 с. – Режим доступа: https://storage.energybase.ru/source/112/NzJaiiWqUK_PCVy98EJDPsldFTprnVs3.pdf. Ссылка активна на 27 января 2023.

[5]. Малый А. П. Реализация автоматики ликвидации асинхронного режима в шкафах серии ШЭ2607 / Малый А. П., Шурупов А. А., Иванов С. А., Павлов Ю. Н., Кошельков И. А. // Релейная защита и автоматизация, 2010. – С. 39-53.

[6]. User manual of Multifunction Generator, Motor and Transformer Protection Relay SIPROTEC4-7UM62, Siemens AG: Germany, 2001.

[7]. Современные методы и средства предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы / В. Г. Наровлянский – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 360 с.

[8]. Цифровое устройство автоматики ликвидации асинхронных режимов [Электронный ресурс] – НТЦ «ЕЭС». Режим доступа: <https://ntcees.ru/departments/products/alar3.php>. Ссылка активна на 27 января 2023.

[9]. Руководство по эксплуатации ТИЯК.648229.001.РЭ: Цифровая автоматика ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц. Модификации АЛАР-Ц-02, АЛАР-Ц-03, АЛАР-Ц-04. – СПб.: НИИПТ, 2008 г.

[10]. Типовая инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики подстанций [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.004-2008.pdf>. Ссылка активна на: 27 января 2023.

[11]. Megger, J.; Gersusa, J. M. Setting and testing of power swing blocking and out of step relays considering transient stability conditions. In Proceedings of the IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, Glasgow, UK, 17-20 March 2008 [CrossRef].

[12]. Jacome, Y; Henville, C. F. Setting out-of-step blocking or tripping using dynamic simulations. In Proceedings of the Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, USA, 18-20 October 2011.

[13]. Ambekar, V. A.; Dambhare, S. S. Comparative evaluation of out of step detection schemes for distance relays. In Proceedings of the IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, India, 19-22 December 2012 [CrossRef].

[14]. Cole, S.; Promel, F.; Josz, P.; Merckx, C.; Karoui, K.; Rese, L. Automatic tuning of out-of-step relays. In Proceedings of the IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Leuven, Belgium, 04-08 April 2016 [CrossRef].

[15]. Verzosa, Q. Realistic testing of power swing blocking and out-of-step tripping functions. In Proceedings of the 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 08-11 April 2013 [CrossRef].

[16]. Patki, S.; Kamin, D.; Suyash, K. Numerical relay testing and validation in relay life cycle. In Proceedings of the CIGRE Paris Session, Paris, France, December 2018.

[17]. Apostolov, A.; Vandiver, B. Testing of multifunctional distance protection relays. In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, USA, 24-28 June 2007 [CrossRef].

[18]. Vandiver, B. Why testing digital relays are becoming so difficult! Part 1. In Proceedings of the 67th



Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 31 March-3 April 2014 [CrossRef].

[19]. Vandiver, B.; Apostolov, A. Injected waveforms and their effect on protection element response. In Proceedings of the 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 3-6 April 2017 [CrossRef].

[20]. Смирнов Ю. Л. Требования к процессу тестирования РЗА для снижения человеческого фактора / Смирнов Ю. Л. // Релейщик. – 2021. – № 1 (39). – С. 28-32.

[21]. Волохов, Н. А. Исследование влияния на работу устройств АЛАР возмущений, возникающих после начала асинхронного режима / Н. А. Волохов // Электроэнергетика глазами молодежи-2019: материалы юбилейной X Международной научно-технической конференции, Иркутск, 16-20 сентября 2019 года. Том 1. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 243-246.

[22]. Способ получения годографа асинхронного режима с заданными характеристиками для проверки работы дистанционного органа / В. Е. Глазырин, И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова // Электрические станции. – 2018. – № 6. – С. 36-41.

[23]. Litvinov, I. I.; Marchenko, A. A.; Gracheva, E. I. On Methods of Checking Digital Out-Of-Step Protection Devices. E3S Web of Conferences 2020, 220, 01081 [CrossRef].

[24]. Литвинов И. И. Разработка методов и средств проверки дистанционной и токовой АЛАР / И. И. Литвинов, А. А. Марченко // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. - 2020. – № 6 (81). – С. 17-25.

[25]. Способ получения годографа синхронных качаний с заданными характеристиками на комплексной плоскости = Method for obtaining the impedance locus of stable swings with specified characteristics on

the complex plane / И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова, А. А. Марченко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2020. – Т. 12, № 1 (45). – С. 93-100.

[26]. Glazyrin, V. E.; Litvinov, I. I.; Osintsev, A. A.; Frolova, E. I. Automation of distance relay testing, In Proceedings of the 20 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Altai Republic, Erlagol, Russia, 29 June – 3 July 2019 [CrossRef].

[27]. Проверка дистанционного органа устройств РЗ и ПА в асинхронном режиме стандартными средствами испытательного комплекса «РЕТОМ» / А. А. Осинцев, В. Е. Глазырин, И. И. Литвинов, Е. И. Фролова // Электрические станции. – 2017. – № 10. – С. 32-37.

[28]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №201961125006, 21.02.2019: «Получение годографа с заданными параметрами на комплексной плоскости» // И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова, Ф. В. Поддубняк.

[29]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019612683, 26.02.2019: «Получение кругового годографа вектора сопротивления при неизменном действующем значении тока» // И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова.

[30]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019612684, 26.02.2019: «Получение кругового годографа вектора сопротивления при неизменном действующем значении напряжения» // И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова.

[31]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020618128, 26.02.2019: «Получение годографа синхронных качаний с заданными параметрами на комплексной плоскости» // И. И. Литвинов, А. А. Марченко, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова.

References

[1]. Gonik Ya. E., Iglitsky E. S. Automatic elimination of asynchronous mode. – М.: Energoatomizdat, 1988. – 112 p.

[2]. Narovlyansky V. G.: Application of the ALARM device to identify and eliminate the asynchronous mode of the electric power system: article in scientific magazine “Energetik” / Narovlyansky V.G., Vaganov A.B. – Moscow: Publishing house “Energoprogress”, 2011. – 17-20 p.

[3]. Joint Stock Company «Institute of Automation of Energy Systems» [Electronic resource]. Access mode: <http://iaes.ru>. Link active on January 27, 2023.

[4]. Collection of technical descriptions. Complex of emergency automation devices [Electronic

resource] – Relematika LLC, 2015. – 23 p. – Access mode: https://storage.energybase.ru/source/112/NzJaiiWqUK_PCVy98EJDPsldFTprmVs3.pdf. Link active as of January 27, 2023.

[5]. Maly A. P. Implementation of automatic elimination of asynchronous mode in cabinets of the SHE2607 series / Maly A. P., Shurupov A. A., Ivanov S. A., Pavlov Yu. N., Kosheikov I. A. // Relay protection and automation, 2010. – P. 39-53.

[6]. User manual of Multifunction Generator, Motor and Transformer Protection Relay SIPROTEC4-7UM62, Siemens AG: Germany, 2001.

[7]. Modern methods and means of preventing asynchronous operation of the electric power system /

V. G. Narovlyansky - M.: Energoatomizdat, 2004. - 360 p.

[8]. Digital device for automatic elimination of asynchronous modes [Electronic resource] - STC «UES». Access mode: <https://ntcees.ru/departments/products/alar3.php>. Link active on January 27, 2023.

[9]. Operating manual TIYAK.648229.001.RE: Digital automation for eliminating asynchronous modes ALAR-Ts. Modifications ALAR-C-02, ALAR-C-03, ALAR-C-04.– St. Petersburg: NIPT, 2008.

[10]. Standard instructions for organizing and carrying out work in relay protection devices and electrical automation of substations [Electronic resource]. Available from: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.004-2008.pdf>. Link active on: January 27, 2023.

[11]. Megger, J.; Gersusa, J. M. Setting and testing of power swing blocking and out of step relays considering transient stability conditions. In Proceedings of the IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, Glasgow, UK, 17-20 March 2008 [CrossRef].

[12]. James, Y; Henville, C. F. Setting out-of-step blocking or tripping using dynamic simulations. In Proceedings of the Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, USA, 18-20 October 2011.

[13]. Ambekar, V. A.; Dambhare, S. S. Comparative evaluation of out of step detection schemes for distance relays. In Proceedings of the IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, India, 19-22 December 2012 [CrossRef].

[14]. Cole, S.; Promel, F.; Josz, P.; Merckx, C.; Karoui, K.; Rese, L. Automatic tuning of out-of-step relays. In Proceedings of the IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Leuven, Belgium, 04-08 April 2016 [CrossRef].

[15]. Verzosa, Q. Realistic testing of power swing blocking and out-of-step tripping functions. In Proceedings of the 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 08-11 April 2013 [CrossRef].

[16]. Patki, S.; Kamin, D.; Suyash, K. Numerical relay testing and validation in relay life cycle. In Proceedings of the CIGRE Paris Session, Paris, France, December 2018.

[17]. Apostolov, A.; Vandiver, B. Testing of multifunctional distance protection relays. In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, USA, 24-28 June 2007 [CrossRef].

[18]. Vandiver, B. Why testing digital relays are becoming so difficult! Part 1. In Proceedings of the 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 31 March-3 April 2014 [CrossRef].

[19]. Vandiver, B.; Apostolov, A. Injected waveforms and their effect on protection element response. In Proceedings of the 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 3-6 April 2017 [CrossRef].

[20]. Smirnov Yu. L. Requirements for the testing process of relay protection and automation to reduce the

human factor / Smirnov Yu. L. // Relayman. – 2021. – No. 1 (39). – pp. 28-32.

[21]. Volokhov, N. A. Study of the influence on the operation of ALAR devices of disturbances that arise after the start of the asynchronous mode / N. A. Volokhov // Electric power industry through the eyes of youth-2019: materials of the anniversary X International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, September 16-20 2019. Volume 1. – Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2019. – P. 243-246.

[22]. A method for obtaining an asynchronous mode hodograph with specified characteristics for checking the operation of a remote control / V. E. Glazyrin, I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova // Electric stations. – 2018. – No. 6. – P. 36-41.

[23]. Litvinov, I. I.; Marchenko, A. A.; Gracheva, E. I. On Methods of Checking Digital Out-Of-Step Protection Devices. E3S Web of Conferences 2020, 220, 01081 [CrossRef].

[24]. Litvinov I. I. Development of methods and means for checking remote and current ALAR / I. I. Litvinov, A. A. Marchenko // Bulletin of the North Caucasus Federal University. - 2020. – No. 6 (81). – pp. 17-25.

[25]. Method for obtaining the impedance locus of stable swings with specified characteristics on the complex plane / I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova, A. A. Marchenko // Bulletin of the Kazan State Energy University. - 2020. – T. 12, No. 1 (45). – P. 93-100.

[26]. Glazyrin, V. E.; Litvinov, I. I.; Osintsev, A.A.; Frolova, E. I. Automation of distance relay testing. In Proceedings of the 20 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Altai Republic, Erlagol, Russia, 29 June – 3 July 2019 [CrossRef].

[27]. Checking the remote control of RP and PA devices in asynchronous mode using standard means of the RETOM testing complex / A. A. Osintsev, V. E. Glazyrin, I. I. Litvinov, E. I. Frolova // Electric stations. – 2017. – No. 10. – pp. 32-37.

[28]. Certificate of state registration of a computer program No. 201961125006, 02/21/2019: “Obtaining a hodograph with given parameters on a complex plane” // I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova, F. V. Poddubnyak.

[29]. Certificate of state registration of a computer program No. 2019612683, 02.26.2019: “Obtaining a circular hodograph of the resistance vector with a constant effective current value” // I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova.

[30]. Certificate of state registration of a computer program No. 2019612684, 02.26.2019: “Obtaining a circular hodograph of the resistance vector with a constant effective voltage value” // I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova.

[31]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020618128, 02/26/2019: “Obtaining a hodograph of synchronous swings with given parameters on a complex plane” // I. I. Litvinov, A. A. Marchenko, A. A. Osintsev, E. I. Frolova.

В России создадут первую в мире газотурбинную установку на метано-водородном топливе

Самарский университет совместно с компанией «Силовые машины» займется разработкой технологий для первой отечественной газотурбинной установки на метано-водородном топливе.

Как рассказал генеральный конструктор компании Павел Чупин, работа сейчас ведется над двухвальным газогенератором для двигателей следующего поколения. Как рассказали в пресс-службе университета, предварительные исследования показали, что использование метано-водородной смеси с долей водорода 40-50 %, увеличит мощность газотурбинной установки примерно на 10 %.

Экспериментальную модельную камеру сгорания изготовят на 3D-принтере в лаборатории аддитивных технологий. В будущем новый двигатель может использоваться для перспективных самолетов дальней и военно-транспортной авиации.

Где можно будет использовать двигатель и электроустановки:

- в перспективных самолетах,
- дальней и военно-транспортной авиации,
- на крупных промышленных предприятиях,
- для тепло- и электроснабжения малых городов или жилых районов мегаполисов.

Проект по перспективному газогенератору сейчас рассчитан до конца 2022 г. Разработку технического проекта камеры сгорания газотурбинной установки предполагается завершить в 2023 г., после чего на промышленном предприятии будет изготовлен опытный образец.

hightech.fm

SUNRUN



Sunrun (RUN, \$57,58) уже была крупнейшей в стране компанией сектора солнечной энергетики для жилых домов, прежде чем она согласилась купить своего конкурента Vivint Solar через сделку стоимостью 1,5 млрд долларов. По сообщениям Bloomberg, в результате приобретения, которое закончилось в октябре, был создан гигант сферы производства кровельных солнечных панелей, который обеспечивает 75 % новых арендаторов каждый квартал.

Аналитик Roth Capital Филип Шен говорит, что Sunrun «является крупнейшим игроком отрасли с преимуществами дифференцированного масштабирования, лидерством в области сетевых услуг и так далее». Он видит больше возможностей для роста акций на основе веры в то, чем может стать Sunrun: энергетическая компания будущего.

Акции RUN также получают поддержку от расширения налогового кредита на инвестиции в солнечную энергетику в размере 26 % для объектов жилой и коммерческой недвижимости.

Филип Шен также отмечает, что руководство Sunrun ожидает в 2021 году более быстрого роста, чем прогнозируется по отрасли (15 % в годовом исчислении). При этом он ожидает, что Sunrun найдёт правильный баланс между маржой и ростом.

Эти акции не подходят для слабонервных. Они подскочили на 317 % в начале декабря, а за последние три года выросли более чем на 900 %.

Шен ставит акциям, как и всей отрасли «зелёной энергетики», оценку Ву, в соответствии со средней рекомендацией 11 других аналитиков, которые рассматривали Sunrun.

Uponor поддерживает тренд на модульное строительство

Uponor

Модульное строительство уже достаточно плотно вошло в современную практику. Оно позволяет значительно сократить время, затраченное на монтаж, обеспечить удобство при транспортировке, а также снизить риски. Компания Uponor, как один из ведущих мировых поставщиков инженерных решений, следует тренду и на протяжении многих лет предлагает готовые продукты для систем радиаторного и напольного отопления, охлаждения и питьевого горячего водоснабжения, придерживаясь концепции изделий заводской готовности. Таким образом, основной объем работ выполняется в условиях цехового производства, а при монтаже остаётся только выполнить подключение изделий.



UponorComfortPort – готовые к подключению, полностью собранные и протестированные в заводских условиях коллекторные узлы для напольного и радиаторного отопления. Установка предварительно собранного коллекторного узла заменяет 30 отдельных комплектующих, а также сводит количество операций при монтаже с 250 до минимума. Благодаря тому, что системы распределения, регулирования и управления разработаны одним производителем, а также выполнены из соответствующих друг другу компонентов, они полностью совместимы между собой, просты в установке и эксплуатации.

При монтаже данные свойства позволяют почти вдвое сэкономить время, требующееся на проведение работ, снизить риски за счет надежного выбора необходимых компонентов и избежать возможных ошибок при сборке системы. ComfortPort также представляется рациональным решением: компания оказывает поддержку в расчете и проектировании систем, предоставляя 3D-модели и BIM-библиотеку для своих решений. Коллекторные узлы UponorComfortPort предлагаются в исполнении для встроенного и настенного монтажа, что позволяет размещать их в помещении любой площади и назначения без ущерба для дизайна. Безопасную и легкую установку шкафов обеспечивают встроенный пузырьковый уровень и влагозащищенная накладная розетка. Каждый коллекторный узел поставляется в защитной индивидуальной упаковке и маркируется с указанием точной информации о месте установки на строительном объекте. Более того, коллекторные узлы для напольного и радиаторного отопления могут быть с легкостью сконфигурированы на сайте компании в соответствии с требованиями заказчика. Данное решение отлично подходит для многоквартирных домов, медицинских учреждений, гостиниц, офисных и промышленных зданий, спортивных учреждений и баз отдыха. К примеру, система ComfortPort уже введена в эксплуатацию в первом умном ЖК «Дом мечты» в Нижнем Новгороде, где благодаря этой инновационной технологии у жильцов есть возможность воспользоваться преимуществом водяного напольного отопления с индивидуальным регулированием температуры в каждой комнате.

КТП UponorCombiPort представляет собой полностью собранную станцию, которая подходит для распределения тепла в системе радиаторного или напольного отопления, или для комбинированной установки из обеих систем. К основным преимуществам можно отнести экономию энергии до 40 % благодаря отсутствию стояков и магистралей ГВС, подогрев горячей воды только по индивидуальной необходимости, отсутствие застоя воды в трубах, что позволяет ей всегда оставаться гигиенически чистой. Специалистам строительной отрасли данная система придаёт уверенности в работе, поскольку все пункты собраны и протестированы в надёжных заводских условиях, позволяет сэкономить до 30 % времени на монтаж, а также даёт возможность использовать минимум комплектующих при установке.

Компания Uponor, как один из международных лидеров отрасли, планирует и дальше внедрять инновационные технологии, отвечающие последним тенденциям рынка, и обеспечивающие при этом максимальное удобство и комфорт для своих клиентов.

О компании Uponor

Uponor является ведущим международным производителем систем и решений для безопасного водоснабжения, энергоэффективного отопления и охлаждения и надежной инфраструктуры. Компания предлагает решения для различных сфер, включая жилищное, коммерческое, промышленное и гражданское строительство. Штат сотрудников корпорации Uponor около 4 000 человек в 26 странах мира, в основном в Европе и Северной Америке. В 2019 году чистый объем продаж Uponor составил около 1,1 млрд евро. Штаб-квартира Uponor находится в Финляндии и зарегистрирована на Nasdaq, Хельсинки. <http://www.uponor.ru>

За дополнительной информацией обращайтесь в пресс-службу компании Uponor по тел.:

+7 (495) 641-22-09, e-mail: uponor@pr-consulta.ru



Южная Австралия строит водородную электростанцию



Южная Австралия в четвертом квартале 2023 года достигла 82% зеленой генерации
канал Зеленое будущее 12 февраля

ветра в энергобалансе в то время, когда на Дзене рассказывали о «невозможности нарушения законов физики» и о том, что Газпром станет крупнейшей в мире акционерной компанией.



Теперь доля зеленой генерации в энергобалансе ЮА составляет 82% оставшиеся приходится в большей степени на ископаемый газ. ЮА поставила себе цель полностью перейти на ВИЭ к 2027 году (предыдущий план к 2030) и для этого необходимократно нарастить мощности возобновляемой генерации, но тогда появится переизбыток энергии, который частично можно отправить соседям, но это полностью не решает проблему плюс необходимо компенсировать просадки генерации в первую очередь ветровой генерации.

Возобновляемая генерация в Южной Австралии произвела 264% от спроса. канал Зеленое будущее 5 ноября 2023



Для решения этой проблемы Южная Австралия строит водородную электростанцию. ЭС будет оснащена четырьмя турбогенераторами LM6000Velox, мощностью 50 МВт каждый, с турбинами LM6000 работающими на чистом 100%

водороде. Получать H₂ будут на электролизере мощностью 250 МВт питаемого ветросолнечной генерацией.



LM6000Velox

Электролизёр с рекордной эффективностью 95% как замена ископаемому газу канал Зеленое будущее 15 августа 2023



Водородная электростанция быстрого «старта» будет генерировать энергию только в часы, когда генерации ВИЭ не достаточно для удовлетворения спроса, в такие периоды цены на энергии резко возрастают, что позволит ЭС покрывать высокие затраты. При этом производство H2 будет осуществляться в периоды «перепроизводства» отбирая «лишнюю» энергию с рынка по минимальным ценам. Ввод в строй H2 ЭС намечен на начало 2026 года.

LibertySteel переходит на зеленую сталь канал Зеленое будущее 5 апреля 2023



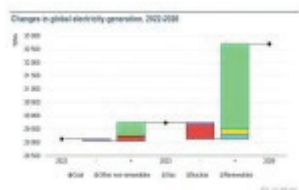
Электростанция будет использовать не весь водород, оставшееся часть пойдет на сталелитейный завод Уайалла. Высвобождающейся ископаемый газ пойдет на экспорт в виде СПГ, напомним что

Австралия занимает второе место в мире после США по производству сниженного газа. Что касается прогнозов то Австралийский оператор энергетического рынка (АЕМО) заявил что по его расчетам ЮА достигнет 100% ВИЭ в 2026 году.



dzen.ru

Рост потребления электроэнергии в мире будет покрыт низкоуглеродными источниками — МЭА



Международное энергетическое агентство (МЭА) выпустило доклад о мировой электроэнергетике «Электричество 2024. Анализ и прогноз до 2026 года». Мировое потребление электроэнергии выросло на 2,2% в 2023 году, что меньше темпов роста в 2,4%, наблюдавшихся в 2022.

Установленная мощность солнечной и ветровой энергетики Китая превысила 1000 ГВт



Национальное управление энергетики КНР (NEA) опубликовало статистическую информацию об итогах развития электроэнергетики в 2023 году. Общая установленная мощность электроэнергетики Китая увеличилась за год на 13,9% и составила по его итогам 2920 гигаватт (ГВт). Для сравнения, это примерно в 12 раз больше, чем ЕЭС России. Очевидна тенденция декарбонизации энергосистемы.



Экономика ветроэнергетики: цена на ветровую электроэнергию в Казахстане



Казахстанское издание «Курсив» сообщило, что «стал известен тариф» для ветровой электростанции мощностью 1 ГВт, которую строит энергетическая компания Masdar в Жамбылской области Казахстана.

Руководители Эн+ и Амурской области обсудили проект строительства ветропарка в регионе



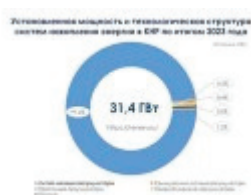
Генеральный директор Эн+ Михаил Хардинов и губернатор Амурской области Василий Орлов провели рабочую встречу, в рамках которой обсудили проект строительства ветряной электростанции на территории региона. В частности, стороны рассмотрели текущий статус проекта, а также мероприятия и шаги, необходимые для начала строительства ветропарка, достижения его экономической эффективности.

КМГ и Eni подписали решение о реализации проекта гибридной электростанции в Жанаозене



18 января в г.Рим (Италия) АО НК «КазМунайГаз» (КМГ) и Eni S.p.A. (Eni) подписали совместное Решение о реализации проекта строительства гибридной электростанции в г. Жанаозен. Двусторонний документ подписали Председатель Правления КМГ Магзум Мирзагалиев и Главный исполнительный директор Eni Клаудио Дескальци в присутствии Президента Казахстана Касым-Жомарта Токаева.

В 2023 году Китай ввел в эксплуатацию системы накопления энергии общей мощностью 22,6 ГВт



На пресс-конференции Национального управления энергетики КНР (NEA) было приведено несколько цифр, демонстрирующих развитие рынка систем накопления энергии (СНЭ) в Китае.

В Росатоме созданы баллоны сверхвысокого давления для хранения и транспортировки водорода



Специалисты Центра технологических компетенций «Полимерные композиционные материалы» ООО «НПО „Центротех“» (предприятие топливного дивизиона Росатома в Новоуральске Свердловской области) разработали, изготовили и успешно испытали опытные образцы металлокомпозитных баллонов различного объема для хранения и транспортировки водорода с рабочим давлением 700 атмосфер (68,9 мегапаскаля).



Китай ввел в эксплуатацию 216 ГВт мощностей солнечной энергетики в 2023 году



По информации китайского специализированного ресурса Polaris, в 2023 году КНР ввела в эксплуатацию более 200 гигаватт (ГВт) солнечных электростанций, а именно примерно 216 ГВт (это предварительные данные, окончательный результат будет опубликован китайскими властями чуть позже). 216 ГВт – это примерно столько, сколько Китай ввел в эксплуатацию за четыре предшествующие года (с 2019 по 2022).

Финны начали проект по производству «бирюзового» водорода



Финская компания Нусамите начала строительство демонстрационной установки, которая будет производить 2000 тонн «бирюзового» водорода, получаемого путем пиролиза метана, в год. В процессе пиролиза природный газ нагревается в отсутствие воздуха в печи, что приводит к его разложению на водород и твердый углерод.

Износ станций и дефицит электроэнергии: что планирует предпринять Министерство энергетики РК



Министр энергетики Казахстана Алмасадам Саткалиев доложил во вторник на заседании правительства ситуацию по энергетическому комплексу страны. По словам министра, в целом Единая электроэнергетическая система Казахстана работает в штатном режиме, параллельно с энергосистемами России и стран Центральной Азии.

КМГ и Eni подписали решение о реализации проекта гибридной электростанции в Жанаозене



18 января в г. Рим (Италия) АО НК «КазМунайГаз» (КМГ) и Eni S.p.A. (Eni) подписали совместное Решение о реализации проекта строительства гибридной электростанции в г. Жанаозен. Двусторонний документ подписали Председатель Правления КМГ Магзум Мирзагалиев и Главный исполнительный директор Eni Клаудио Дескальци в присутствии Президента Казахстана Касым-Жомарта Токаева.

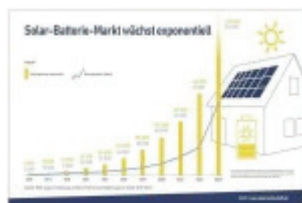
Запущена первая в мире солнечная электростанция без кремния



В Китае представили первую в мире солнечную электростанцию мощностью 1 МВт, использующую вместо кремния минерал перовскит. Солнечная электростанция расположена в северном автономном регионе Внутренняя Монголия и состоит из 11200 солнечных панелей, занимая площадь 27 000 м². Этот проект был успешно подключен к сети 29 ноября.



Количество домашних накопителей энергии в ФРГ превысило 1 миллион в 2023 году



В 2023 году в Германии отмечен чрезвычайно быстрый рост бытовых систем накопления энергии. Всего за один год общее количество установленных солнечных батарей и их емкость увеличились вдвое. Количество накопителей энергии в домохозяйствах перевалило за один миллион.

Установленная мощность солнечной энергетики Венгрии превысила 5,6 ГВт по итогам 2023 г



По информации министерства энергетики Венгрии, в 2023 году установленная мощность солнечной энергетики Венгрии увеличилась на рекордные 1,632 ГВт, превысив к концу декабря отметку в 5,6 ГВт.

Китайцы построили крупнейшую солнечную электростанцию в Чили мощностью 480 МВт



PowerChina Чили, подразделение китайской PowerChina, завершило строительство солнечной электростанции СЕМЕ1 мощностью 480 МВт в Мариа-Элена, в чилийском регионе Антофагаста. Объект является крупнейшей солнечной электростанцией в Чили. Он построен на участке земли площадью 435 гектаров, на которых установлены 882720 фотоэлектрических модулей неназванного производителя.

В 2024 году в Якутии будет построено 7 новых гибридных электростанций



В 2024 году в Якутии планируется ввести 7 новых гибридных станций в Томпонском, Оймяконском и Олекминском улусах. Об этом сегодня сообщил глава республики Айсен Николаев, оглашая послание Государственному Собранию республики. Он отметил, что гибридные энергокомплексы в труднодоступных местах республики позволяют существенно экономить топливо и положительно сказывается на экологии.

Индия ввела в строй 12,8 ГВт солнечной и ветровой энергетики в 2023



В 2023 году в Индии было добавлено 10016 мегаватт (МВт) мощностей солнечной энергетики и 2806 МВт ветровой, сообщает компания JMK Research. Годовой прирост солнечной энергетики снизился на 28% по сравнению с рекордным 2022 годом, а ветровых мощностей, напротив, было добавлено на 52% больше. Для ветроэнергетики это был лучший год за последние шесть лет.



Александр Козлов: «В отношении твёрдых полезных ископаемых необходима площадка, аналогичная нефтяному ОПЕК (ОПЕС), чтобы страны совместно могли координировать оборот минерального сырья»



В столице Саудовской Аравии Эр-Рияде проходит форум «Полезные ископаемые будущего» (FutureMineralsForum), в котором принимает участие делегация министерства природных ресурсов и экологии России.

«ТГК-1» поставила «зеленую» энергию для нужд горно-обогатительного комбината Группы «ФосАгро» в Апатитах



ПАО «ТГК-1» и ООО «Хибинскаяэнергосбытовая компания» заключили свободный двусторонний договор купли-продажи безуглеродной электроэнергии, выработанной на гидроэлектростанциях в 2023 году. В 2023 году объём «зелёной» электроэнергии, используемой ГОК «Апатит», составил 300 млн киловатт-час.

В Китае отмечается экспоненциальный рост систем накопления энергии



По данным Китайского альянса по хранению энергии (CNESA), по итогам 2023 года установленная мощность систем накопления энергии (все типы, включая ГАЭС и тепловые хранилища электроэнергии) в КНР составила 86,5 ГВт, увеличившись на 45% по сравнению с 2022 годом.

Запуск крупных проектов в сфере «зеленой» энергетики в Узбекистане в фокусе внимания СМИ Южной Кореи



В Узбекистане реализуется масштабная программа по реформированию и повышению устойчивости энергосистемы. В последующие годы были созданы благоприятные условия для деятельности частного сектора и ведущих иностранных компаний в сети. При их участии успешно реализуются многие проекты, направленные на расширение потенциала возобновляемой энергетики в Узбекистане.

Электроэнергетика Германии: итоги 2023 года



Немецкий Институт солнечных энергетических систем (Fraunhofer ISE) традиционно в начале года публикует подробную информацию о выработке электроэнергии ФРГ в прошедшем году. Согласно предварительным данным от 03.01.2024 г, в 2023 году на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) было выработано около 261 ТВт*ч, а их доля в нетто-выработке достигла рекордных 59,6%.



Обсуждены вопросы реализации инвестиционной политики и развития «зеленой» энергетики в новом году в РУ



Президент Шавкат Мирзиёев 2 января ознакомился с презентацией о проведенной в 2023 году работе и запланированных на 2024 год мерах по реализации инвестиционной политики и увеличению доли возобновляемых источников в энергетике. Отмечено, что по итогам прошлого года освоено более 22 миллиардов долларов иностранных инвестиций, что в 1,8 раза больше предыдущего года.

Первая промышленная СЭС на Камчатке построена в селе Долиновка



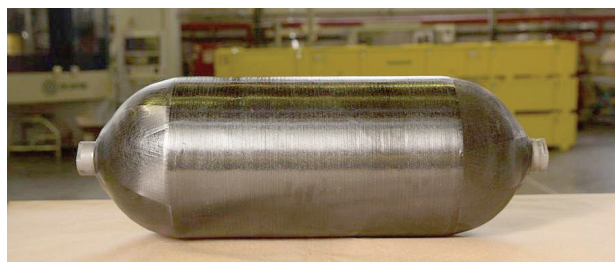
Проект по пилотному внедрению и опытно-промышленной эксплуатации комбинированной блочно-транспортной электростанции (КБТЭС) АО «ЮЭСК» (ЮЭСК, дочернее общество ПАО «Камчатскэнерго», входит в Группу РусГидро) реализует с 2019 года. Фотоэлектрическая система мощностью 107,2 кВт построена в дополнение к существующей дизельной электростанции.

in-power.ru

Структура Росатома разработала металлокомпозитные баллоны сверхвысокого давления для хранения и транспортировки водорода

Инновационная разработка выполнена в рамках инвестпроекта Росатома по созданию отечественных технологий для крупномасштабного производства и потребления водорода.

изготовил и успешно испытал Центр технологических компетенций Полимерные композиционные материалы НПО Центротех (предприятие топливного дивизиона Росатома в г. Новоуральск Свердловской области). Баллоны имеют рабочее давление 700 атм (68,9 МПа).



В перечне металлокомпозитных баллонов сверхвысокого давления - опытный образец баллона для хранения и транспортировки водорода объемом 50 л. При создании уникального баллона использованы материалы и комплектующие, изготовленные предприятиями композитного дивизиона Росатома:

- специально разработанный лайнер (внутренний герметизирующий слой баллона) изготовлен из алюминиевого сплава,
- упрочняющая обмотка баллона выполнена с использованием углеродного волокна, серийно выпускаемого предприятием композитного дивизиона Росатома.

По результатам испытаний опытный образец металлокомпозитного баллона объемом 50 л подтвердил соответствие всем требованиям, предъявляемым к баллону с рабочим давлением 700 атм. В ходе испытаний опытный образец продемонстрировал требуемый запас прочности (выдержал предельные нагрузки с коэффициентом запаса 2,4) и подтвердил стойкость к циклическим нагрузкам.

В Росатоме созданы баллоны сверхвысокого давления для хранения и транспортировки водорода. **Баллоны для водорода**

Металлокомпозитные баллоны различного объема для хранения и транспортировки водорода разработал,

Водородный проект Росатома

Инновационная разработка выполнена по заказу Росэнергоатома, электроэнергетического дивизиона Росатома, в рамках инвестпроекта по созданию отечественных технологий для крупномасштабного производства и потребления водорода. Росэнергоатом реализует этот инвестпроект с 2021 г. В рамках комплексного проекта идут:

- разработка технологических решений для создания атомной энерготехнологической станции (АЭС) с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (ВТГР) и химико-технологической частью (ХТЧ) для производства водорода (включая разработку технологии производства топлива ВТГР и технологии конверсии метана),

- разработка линейки высокоэффективных электролизных установок, топливных элементов, систем хранения и транспортировки водорода,

- исследования по системному обеспечению функционирования и безопасности водородной энергетики.

Росатом рассматривает водородную энергетику как одно из приоритетных направлений своего научно-технологического развития. Госкорпорация участвует в реализации стратегической программы по развитию водородной энергетики в России, которая включает развитие собственных технологических компетенций на всей цепочке поставок водорода, начиная от перспективных методов его производства, таких как электролиз, и заканчивая хранением и транспортировкой до локальных и зарубежных потребителей. Крупнейшие предприятия Росатома сегодня разрабатывают эффективные и конкурентоспособные на международном уровне решения в этой области, в т.ч. передовые электролизные системы.

Росатом нацелен на развитие своих компетенций в основных методах производства низкоуглеродного зеленого и «голубого» водорода - путем электролиза воды с применением энергии из возоб-

новляемых источников (ВИЭ) и паровой конверсии метана с применением технологий улавливания CO₂. Росатом участвует в создании Восточного водородного кластера в Сахалинской области. Запланирована реализация 3 пилотных проектов:

- экспортноориентированный Водородный завод займется низкоуглеродным производством водорода методом паровой конверсии метана (голубой водород) с технологией улавливания CO₂ (1^ю очередь которого объемом 30 тыс. т/год планируют ввести в эксплуатацию в конце 2026 г., выход на 100 тыс. т - в 2030 г.);

- организация пассажирского железнодорожного сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах и систем обеспечения их эксплуатации;

- создание центра водородного инжиниринга с опытным полигоном для апробации отечественного оборудования.

Инженерно-технологические подходы, реализованные специалистами НПО Центротех, могут быть использованы для создания отраслевого решения и расширенной продуктовой линейки, которая будет включать металлокомпозитные баллоны сверхвысокого давления большей емкости для хранения и транспортировки водорода, в т.ч. для использования на водородном транспорте. Тезисы от коммерческого директора НПФ Реал-Шторм, входящего в композитный дивизион Росатома, А. Куралесова:

- производство металлокомпозитных баллонов является одним из крупнейших потребителей углеродного волокна,

- по нашей оценке, к 2030 г. объем потребления в данном сегменте вырастет в 3-5 раз,

- использование композитных баллонов сверхвысокого давления 700 атм. становится стандартным и общепринятым решением для хранения водорода в составе транспортных средств на водородном топливе.

neftegaz.ru

Европа входит в новый мир после разрушительного энергетического кризиса

В январе 2024 года арктический циклон захватил большую часть Европы, а гигантские танкеры, перевозящие топливо через Красное море, были вынуждены менять маршрут, чтобы избежать нападения хуситов. Это должно было привести к росту цен на газ. Вместо этого они просто продолжали падать, пишет Bloomberg.

Даже если до полной ясности в энерговопросе Европе еще далеко, это явный признак того, что худший из кошмаров, который вызвал рост счетов за электроэнергию и подтолкнул инфляцию к многолетним максимумам, остался в прошлом.

Европа извлекает выгоду из накопленных рекордных запасов газа в 2023 году, а также от более активного использования возобновляемых источников энергии и относительно мягкой зимы. Вялый экономический рост также играет свою роль, ограничивая спрос на энергию в крупных промышленных державах, таких как Германия.



Этого было достаточно, чтобы укрепить уверенность трейдеров в том, что регион находится в достаточно стабильном состоянии, чтобы пережить остаток зимы с запасом газа. Базовые европейские цены в настоящее время находятся ниже 30 евро за мегаватт*час, что составляет примерно десятую часть пикового уровня 2022 года.

dzen.ru

Ежемесячный рецензируемый и реферируемый ПОЛНОЦВЕТНЫЙ
международный научный журнал
«Альтернативная энергетика и экология»
(ISJAE)

ПУБЛИКАЦИИ ОСУЩЕСТВЛЯЮТСЯ НА БЕСПЛАТНОЙ ОСНОВЕ

Правила публикации и порядок прохождения процедуры рецензирования, реферирования,
экспертизы и публикации (2016-2023 годы)

Утверждено 25.11.2016 г.

Редакция № 2

Утверждено 20.03.2023 г.

Редакция № 3

СПРАВКА О ЖУРНАЛЕ

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISSN 1608-8298, Российская Федерация, Башкортостан) – один из крупнейших в мире научных журналов в области альтернативной энергетики и экологии, орган Международной ассоциации водородной энергетики (IAHE) и Международной ассоциации альтернативной энергетики и экологии (IAAEE).

Учредителем журнала является Научно-технический центр «ТАТА» по лицензионному договору с основателем журнала академиком Королевской академии наук и искусств Сербии Гусевым Александром Леонидовичем.

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» издаётся с 2000 года; в 2015 году отпраздновал своё пятнадцатилетие.

За короткий срок достигнуты высокие результаты. Опубликовано более 400 выпусков журнала, содержащих около 5000 статей известных учёных из более, чем 50 стран мира.

Журнал публикует рукописи на русском и английском языках (на языке оригинала). Все статьи публикуются в переводной (ISJAE) и английской версии журналов: International Journal of Hydrogen Energy (IJHE) и Solar Energy (Elsevier).

На страницах журнала печатаются сообщения об оригинальных и ранее не опубликованных исследованиях в области физико-математических, технических и химических наук по группам специальностей: физика, кинетика и катализ, экология (по отраслям: технические и химические науки), авиационная и ракетно-космическая техника, энергетика, авторами которых являются члены Российской академии наук, а также члены других академий и видные учёные зарубежных стран.

Кроме того, в работе журнала принимают участие научные работники учебных институтов, университетов и научно-исследовательских институтов страны. Рассчитан на специалистов в области физико-математических наук, технических и химических наук.

В 2000 году редколлегия журнала выступила инициатором создания Национальной ассоциации водородной энергетики (NHEA RF) и в 2003 году принимала активное участие в её создании. С тех пор редколлегия журнала активно взаимодействует с Национальной ассоциацией водородной энергетики РФ и её органами управления.

Журнал является организатором серии Международных и Российских научных форумов, таких как международные конгрессы: WCAEE-2023, WCAEE-2022, WCAEE-2020, WCAEE-2006 (около 1000 участников из 18 стран мира); международные симпозиумы: IFSSENT-2022, IFSSENT-2020, IFSSENT-2000, IFSSENT-2003 (собранный 350 участников из 12 стран), IFSSENT-2006; международные конференции: ICHRSE-2006, ISHSR-2006, ICEEC-2020, ICEEC-2022, International Conference on Methane and Carbon Dioxide Capture Technologies

WCAEE-MCDCT-2020, International Conference on Methane and Carbon Dioxide Capture Technologies-WCAEE-MCDCT-2023, Innovative Technologies of Hydrogen Production, Storage and Application – WCAEE-HPSA-2023, International Conference «Bioprocesses: Biohydrogen, Biomethane, Methanol-2023-WCAEE-BBVM-2023» и др.

Журнал выходит в свет один раз в месяц. Журнал переводится на английский язык под названиями:

- **International Journal of Hydrogen Energy (IJHE);**
- **Solar Energy;**
- **International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE).**

Английская версия нашего журнала IJHE имеет высокие наукометрические показатели глобальных индексов цитирования: Journal Metrics: Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 1.424; SCImago Journal Rank (SJR): 1.338; Impact Factor: 2.930 (Thomson Reuters Journal Citation Reports 2014); 5-Year Impact Factor: 3.448 (Thomson Reuters Journal Citation Reports 2014).

Лучшие работы, опубликованные в Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология» в области энергетики, публикуются в International Journal of Hydrogen Energy, а работы, представляющие интерес для Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» в переводном варианте публикуются из International Journal of Hydrogen Energy.

После того как английская версия статьи из ISJAEE (In Russian) опубликована в IJHE (In English), она автоматически включается в SCOPUS и Web of Science наряду со всеми статьями IJHE, а также в следующие системы индексации:

Indexed/Abstracted in:

- **Chemical Abstracts (Online),**
- **Chemical Engineering and Biotechnology Abstracts (Online),**
- **Chimica,**
- **Compendex,**
- **Currents Abstracts,**
- **Current Contents,**
- **EnCompassLit,**
- **Energy * Power Abstracts,**
- **Inspec, PubMed,**
- **Referativnyi Zhurnal,**
- **Russian Academy of Sciences Bibliographies,**
- **Science Citation Index Expanded,**
- **TEMA-Technology and Management,**
- **Web of Science,**
- **The abstract and citation database SCOPUS.**

Редакционная коллегия

<p>Главный редактор:</p> <p>Главный редактор (Россия), академик Королевской Сербской академии наук и искусств Гусев Александр Леонидович, Научно-технический центр «ТАТА» Генеральный директор, Тел.: +7 (499) 113-67-99 Факс: +7(831-30)90708 e-mail: gusev@hydrogen.ru</p>	<p>Почетный главный редактор:</p> <p>Почетный главный редактор (США), Заместитель главного редактора, Академик, доктор Т. Н. Везироглу Международная ассоциация водородной энергетики 5794 SW 40 St. #303 Miami, FL 33155, USA info@iahe.org</p>
--	--

<p>Почетный главный редактор (Россия):</p> <p>Заместитель главного редактора, академик РАН, д.ф.-м.н. Трутнев Юрий Алексеевич, ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ Тел.: +7(831-30)4-15-59 Факс: +7(831-30)4-57-72 e-mail: trutnev@vniief.ru</p>	<p>Почетный главный редактор (Россия):</p> <p>Заместитель главного редактора, Президент РАН академик РАН д.ф.-м.н. Фортов Владимир Евгеньевич Тел.: +7(499)938-0309 Факс: +7(495)954-3320 e-mail: fortov@ras.ru</p>
<p>Зам. главного редактора:</p> <p>Заместитель главного редактора (Франция) Профессор, доктор П. Сан-Грегуар Университет Тулон-Вара, Франция Phone : +33(0)6 75 64 02 29 e-mail: pstgregoire@gmail.com</p>	<p>Заместитель главного редактора (Россия):</p> <p>Академик РАН Алдошин Сергей Михайлович ИПХФ РАН Тел.: +7(495)9935707, +7(49652)21930 e-mail: sma@icp.ac.ru</p>
<p><u>Ответственный секретарь:</u> к.ф.м.н. В.В. Назаров</p>	
<p>В редколлегию журнала входит около 300 человек из 50 стран мира.</p>	
<p><u>Редакционная коллегия:</u></p> <p>академик В. Е. Фортов, академик Ю. А. Трутнев, академик РАН Ю. А. Рыжов, академик В. Е. Накоряков, академик Н. Н. Пономарев-Степной, проф. Т. Н. Везироглу (США), д.т.н. В. В. Елистратов, д.т.н. О. С. Попель, академик А. С. Коротеев, академик С. М. Алдошин, профессор М. А. Прелас (США), проф. Е. Осава (Япония), академик Ж. -П. Концен (Бельгия), д.т.н. А. Я. Столяревский, проф. П. Сан-Грегуар (Франция), проф. Г. И. Исаков (Азербайджан), проф. О. Саламов (Азербайджан), д.х.н. проф. А. А. Гарибов (Азербайджан), проф. Э. Лунарска (Польша), проф. Ю. Шунман (Голландия), проф. Я. Клеперис (Латвия), проф. В. Ф. Гременок (Белоруссия), проф. В. А. Гольцов (Украина), чл.-корр. РАН Е. А. Гудилин, проф. О. Н. Сривастава (Индия), проф. А. Ю. Мэйланд (Норвегия), проф. Т. Гертиг (Германия), проф. И. Динсер (Саудовская Аравия), проф. А. Штейнфелд (Швейцария), проф. С. З. Ильяс (Пакистан), проф. С. А. Шатворян (Армения), проф. О. Л. Фиговский (Израиль), проф. Чезаре Марчетти (Италия), проф. Дж. Бокрис (США), академик НАН Армении В. М. Арутюнян, академик РАН А. Ю. Цивадзе, академик РАН В.В. Лунин, академик РАН В.Н. Пармон, проф. Д. Спазафумо (Италия), академик М. Лутовац (Сербия), проф. доктор М.Д. Хэмптон (США), А. Р. Щекин (Украина), чл.-корр НАН В. Ф. Резцов (Украина), д.т.н. С. О. Кудря (Украина), д.х.н. Ю.П. Зайков, к.х.н. О.Н. Ефимов и другие.</p>	
<p><u>Редакция:</u></p> <p>Зав. редакцией – президент Международной ассоциации альтернативной энергетики и экологии, гл. редактор АЭЭ/ISJAEЕ Александр Леонидович Гусев; академик РАН Юрий Алексеевич Трутнев, проф., д.ф.м.н. Сергей Евгеньевич Щеклеин, проф., д.ф.м.н. Юрий Егорович Калинин; Президент МАВЭ проф., д-р Турхан Нейжат Везироглу, проф., д-р Емре А. Везироглу, д.т.н. Анатолий Яковлевич Столяревский; проф. Майкл Даглас Хэмптон, д.т.н. Виктор Васильевич Елистратов; д.т.н. Олег Сергеевич Попель; академик НАН Мишик Айразатович Казарян; Андрей Ростиславович Шекин; д.т.н. Олег Львович Фиговский, к.ф.м.н. Ольга Борисовна Баклицкая-Каменева, Алевтина Сергеевна Хазиева, Виктор Иванович Немышев, Александр Рудольфович Володько, к.х.н. Вера Владимировна Куршева, Наталья Николаевна Семенова, Ирина Борисовна Меркулова.</p>	

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» включен в базы данных и индексируется в:

- Ulrich's Periodicals Directory (<http://ulrichsweb.serialssolutions.com/login>)
- Высшая аттестационная комиссия Министерства образования и науки РФ в Информации об изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (по состоянию на 17 февраля 2016 года) (<http://vak.ed.gov.ru/documents>)
- Chemical Abstracts (Online) (<http://cassi.cas.org/>)
- Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/>)
- Российский индекс научного цитирования (ИМПАКТ-ФАКТОР В РИНЦ) (РИНЦ – 4830)
- SCIENCE INDEX - Интегральный показатель журнала в системе Science Index
- Электронный Каталог РГБ (<http://aleph.rsl.ru>)
- Российская государственная библиотека (<http://eds.b.ebscohost.com>)

- ВИНТИ-VINITI – Russian Academy of Science
- Электронный каталог научно-технической литературы ВИНТИ (<http://catalog.viniti.ru>)
- The European Library
- WorldCat Identities Network (<http://www.worldcat.org/>)
- Google Scholar – (GS – 18000) – Академия GOOGLE (<https://scholar.google.ru>)
- Open Archives (<http://www.openarchives.org/>)
- Research Bible (<http://www.researchbib.com/>)
- Academic Keys (<http://www.academickeys.com>)
- Российский импакт-фактор (РИФ) (<http://impact-factor.ru/katalog-zhurnalov/item/571-mezhdunarodnyj-nauchnyj-zhurnal-alternativnaya-energetika-i-ekologiya.html>)
- International Scientific Journal «Life and Ecology». (РЕФЕРАТИВНЫЙ ЖУРНАЛ). Серия 50.
- Альтернативная энергетика и экология (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=50709)
- CROSS REF (DOI) (<http://search.crossref.org/?q=1608-8298>) (с 2014 г.)
- Киоскер (<http://kiosker.ru>)
- ЭБС IPRbooks (iprbookshop.ru)

Журнал зарегистрирован Международным центром ЮНЕСКО в 2000 г. (название: «Al'ternativnaâ ènergetika i ècologiâ», краткое название: «Al'tern. ènerg. ècol.»), ISSN 1608-8298.

Тематика журнала одобрена Международной ассоциацией водородной энергетики (МАВЭ) и Международным центром развития водородной энергетики Департамента по вопросам промышленного развития ООН (UNIDO-ICHET).

Текущие показатели журнала по данным Elibrary.ru:

http://elibrary.ru/titles_compare.asp?titleid=8395&ratingyear=2015&sortorder=0&order=0&pagenum=1

http://elibrary.ru/titles_compare.asp?rubriccode=440000&ratingyear=2014&sortorder=0&order=0&titleid=8395&pagenum=1

http://elibrary.ru/titles_compare.asp?rubriccode=870000&ratingyear=2014&sortorder=0&order=0&titleid=8395&pagenum=1

Данные по состоянию на 12.12.2016. Импакт-фактор РИНЦ с учётом переводной версии (2015) – 5,694; двухлетний импакт-фактор РИНЦ (2015) – 5,694. Индекс Хирша за 10 лет – 11; индекс Херфиндала по организациям авторов – 261. Переводная версия журнала International Journal of Hydrogen Energy входит в Scopus и Web of Science, а также в международные базы данных. Транслитерация списка литературы по ISO 9:1995. Показатель Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 – 10,254. Место Международного научного журнала АЭЭ в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. по тематике «Охрана окружающей среды. Экология человека» – 1. Место Международного научного журнала АЭЭ в рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. по тематике «Энергетика» – 1. Место Международного научного журнала АЭЭ в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. – 7.

Время полужизни статей из журнала, процитированных в текущем году, составляет 3,1 года.

Журнал включен в каталоги: «Роспечать» (индекс 20487), Объединенный каталог «Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы» (индекс 41935), Информнаука, МК-Переодика, «Урал-Пресс». Полные электронные версии статей представлены на сайте Научной электронной библиотеки <http://e-library.ru>, на сайте Международного научного журнала АЭЭ <http://isjaee.com>, а также на сайте Международного научного и образовательного портала «Водород» <http://www.hydrogen.ru>.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-21881) от 14 сентября 2005 г.

Место Международного научного журнала АЭЭ в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2015 г. – 7; по тематике «Охрана окружающей среды. Экология человека» – 1; по тематике «Энергетика» – 1.

Транслитерация списка литературы осуществляется по ISO 9:1995.

Ссылки на данное издание приведены в журналах США, Китая, стран Европейского Союза. Практикуется публикация специальных выпусков и обзоров, посвященных отдельным научно-техническим проблемам в тематической области.

В области возобновляемой энергетики журнал является основным российским научным изданием, в котором публикуются статьи соискателей ученых степеней по техническим наукам.

Полные тексты в электронной версии можно приобрести в электронных библиотеках по адресам: Киоскер (<http://kiosker.ru>), Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/>), ЭБС IPRbooks (iprbookshop.ru).



Тематика Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» одобрена Международной ассоциацией водородной энергетики, редколлекцией International Journal of Hydrogen Energy, а также UNIDO-ICHET.

Оригинальная тематика Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» полностью пересекается с тематикой International Journal of Hydrogen Energy и включает в себя: проблемы возобновляемой энергетики, невозобновляемой энергетики, экологически чистых энергетических технологий.

В сфере возобновляемой энергетики в журнале (ISJAEЕ) широко представлены: солнечная энергетика, в том числе, солнечно-водородная энергетика, ветроэнергетика, ветро-водородная энергетика, морская энергетика (энергия морских волн и морских течений), геотермальная энергетика, энергетика биомассы, малая энергетика, нетрадиционные источники возобновляемой энергии, энергокомплексы на основе возобновляемых источников энергии.

В сфере невозобновляемой энергетики в журнале (ISJAEЕ) широко представлены: атомная энергетика, в том числе атомно-водородная энергетика; взрывная энергетика; термоядерная энергетика.

Отдельным большим разделом представлены технологии водородной экономики.

Представлены проблемы конструкционных материалов для альтернативной энергетики, в том числе для водородной энергетики.

Рассматриваются термодинамические основы альтернативной энергетики, в том числе водородной энергетике.

В журнале большое внимание уделяется экологическим и экономическим аспектам энергетике.

Представлены проблемы создания новых транспортных экологических средств, энергосбережения, а также проблемы нефтегазового комплекса в свете внедрения новейших экологически чистых технологий, в том числе, водородных технологий.

В журнале представлены проблемы агропромышленного комплекса, в том числе, проблемы сохранения почв, водных ресурсов, воздушной среды за счет широкого внедрения экологически чистых энергетических технологий, водородных энергетических технологий.

Краткие сообщения по каждой статье, опубликованной в базовом журнале, публикуются в Международном научном журнале «Письма в «Альтернативную энергетике и экологию» (на русском языке) (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9987) и на английском языке в LETTERS IN INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL FOR ALTERNATIVE ENERGY AND ECOLOGY.

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» одобрен ООН. Главный редактор включен в числе двух представителей от России в Центр развития водородных технологий при департаменте промышленного развития ООН.

Журнал четырежды удостоен денежной премии Президента Международной ассоциации водородной энергетике (IAHE) профессора Т. Н. Везироглу в 2000 г., 2003 г., 2014 г., 2016 г. В 2016 году журнал награжден высшей международной наградой IAHE – Международной Премией IAHE Jules Verne Award <http://www.iahe.org/awards.asp>

Деятельность Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» отмечена многими международными научными наградами, в том числе, Серебряной медалью Рентгена (2007 г.), Дипломом Фонда им. В. И. Вернадского и Комитета по экологии Государственной Думы ФС РФ (2007 г.), Премией Российский Энергетический Олимп (2008 г.) и другими международными научными наградами.

I. Общие положения

Цели и задачи

Целью журнала является разработка, формирование, развитие и корректировка основных научных перспективных тематических направлений, тематических разделов, тематических секций журнала; обеспечение условий формирования оптимального целевого научного потока рукописей научных статей и научных обзоров, имеющих максимальную актуальность и соответствующих тематике журнала; публикация научных статей, научных обзоров, информационных сообщений, научных заметок, кратких писем о крупных научных исследованиях и инновациях в сфере экологически чистой энергетике и экологии; обеспечение партнерства ученых Востока (русскоязычная научная аудитория) и Запада (англоязычная научная аудитория) в области физико-математических, технических и химических наук по группам специальностей: физика, кинетика и катализ, экология (по отраслям: технические и химические науки), авиационная и ракетно-космическая техника, энергетика, авторами которых являются члены Российской академии наук, а также члены других академий и видные ученые зарубежных стран.

Основное назначение журнала заключается, прежде всего, в публикации сообщений о крупных научных исследованиях и инновациях в сфере экологически чистой энергетике и экологии, имеющих приоритетный характер.

Важнейшей задачей журнала является освещение приоритетов государственной политики: формирование междотраслевой информационной площадки для популяризации опыта создания как экологически безопасных регионов, так и отдельных предприятий с экологически безопасным производством.

Рецензирование

Все научные статьи, поступившие в редакцию журнала Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), проходят обязательное двойное слепое рецензирование (рецензент не знает авторов рукописи, авторы рукописи не знают рецензентов).

Каждая рукопись подвергается обязательному рецензированию одного рецензента из числа рецензентов Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» и одного рецензента из числа приглашенных редколлегий.

Каждая статья проходит этап предварительного рецензирования и итогового рецензирования.

В случае возникновения спорных ситуаций по научным вопросам рукопись передается на рассмотрение в Совет рецензентов Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология». В случае возникновения спорных ситуаций по возможности технического воплощения идеи, изложенной в рукописи, последняя передается в Совет экспертов Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология».

Рецензирование статей осуществляется членами редакционного совета и редакционной коллегии, а также приглашенными рецензентами – ведущими специалистами в соответствующей отрасли России и других стран. Решение о выборе того или иного рецензента для проведения экспертизы статьи принимает главный редактор, заместитель главного редактора, научный редактор, заведующий редакцией. Срок рецензирования составляет 5–6 месяцев, но по просьбе рецензента он может быть продлен. Срок прохождения рецензирования, экспертизы и публикации рукописи не может превышать 12 месяцев. По письменной рекомендации одного из членов научного совета срок рецензирования и публикации рукописи может быть сокращен до 4 месяцев. Срок рассмотрения статей тех авторов, которые оформили годовую подписку на журнал, сокращается до 3-х месяцев (но не менее 1-го месяца).

Срок публикации рукописей, направленных на конкурс, проводимый Редколлекцией, не превышает 3 месяцев. Срок публикации заказных научных обзоров не превышает 3 месяцев.

Каждый рецензент имеет право отказаться от рецензии в случае наличия явного конфликта интересов, отягчающегося на восприятии и интерпретации материалов рукописи.

По итогам рассмотрения рукописи рецензент даёт рекомендации о дальнейшей судьбе статьи (каждое решение рецензента обосновывается):

- статья рекомендуется к публикации в настоящем виде;
- статья рекомендуется к публикации после исправления отмеченных рецензентом недостатков;
- статья нуждается в дополнительном рецензировании другим специалистом;
- статья не может быть опубликована в журнале.

Если в рецензии содержатся рекомендации по исправлению и доработке статьи, редакция журнала направляет автору текст рецензии с предложением учесть их при подготовке нового варианта статьи или аргументировано (частично или полностью) их опровергнуть. Доработка статьи не должна занимать более 2 месяцев с момента отправки электронного сообщения авторам о необходимости внесения изменений. Доработанная автором статья повторно направляется на рецензирование.

В случае отказа авторов от доработки материалов они должны в письменной или устной форме уведомить редакцию о своем отказе от публикации статьи. Если авторы не возвращают доработанный вариант по истечении 3 месяцев со дня отправки рецензии, даже при отсутствии сведений от авторов с отказом от доработки статьи, редакция снимает её с учета. В подобных ситуациях авторам направляется соответствующее уведомление о снятии рукописи с регистрации в связи с истечением срока, отведенного на доработку.

Если у автора и рецензентов возникли неразрешимые противоречия относительно рукописи, редколлегия вправе направить рукопись на дополнительное рецензирование. В конфликтных ситуациях решение принимает главный редактор на заседании редакционной коллегии или в дистанционном режиме.

Решение об отказе в публикации рукописи принимается на заседании редакционной коллегии в соответствии с рекомендациями рецензентов. Статья, не рекомендованная решением редакционной коллегии к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Сообщение об отказе в публикации направляется автору по электронной почте.

После принятия редколлекцией журнала решения о допуске статьи к публикации редакция информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о публикации принимается редакционной коллегией. В конфликтных ситуациях решение принимает главный редактор.

Итоговое рецензирование

После этапа предварительного рецензирования (см. далее) материалы рукописи выкладываются на закрытом электронном ресурсе с правом доступа ограниченного круга лиц из числа Международного научного совета или ограниченный круг лиц из числа Международного научного совета извещается специальным бюллетенем о

материалах рукописей, принятых к публикации и получивших оценки рецензентов и экспертов. На этапе итогового рецензирования (срок до 30 дней) результаты предварительного рецензирования могут быть пересмотрены Международным научным советом, о чем в течение 15 дней извещается автор-корреспондент.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала в течение 3 лет.

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» получает гораздо больше статей, чем может опубликовать. Поэтому мы просим рецензентов учитывать, что каждая принятая статья означает, что другая хорошая статья может быть отвергнута. Для того чтобы появиться на страницах Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология», статья должна отвечать четырем основным условиям:

- Иметь убедительные доказательства, подтверждающие умозаключения автора.
- Обладать новизной.
- Представлять интерес для ученых данной области.
- В идеале представлять интерес для исследователей других родственных дисциплин.

Редакция изучает все полученные рукописи. Для того чтобы сэкономить время авторов и рецензентов, на рецензирование направляются только те статьи, которые отвечают редакционным критериям. Те статьи, которые, по мнению редакторов, не представляют интереса или не подходят по другим причинам, отсеиваются без проведения рецензирования (эти решения могут основываться на неформальном совете от специалистов в данной области).

Выбор рецензентов

Выбор рецензентов очень важен для процесса публикации, и мы делаем выбор, основываясь на многих факторах, таких как экспертиза, репутация, особые рекомендации и собственный опыт работы с редактором. Например, мы стараемся не обращаться к людям, которые медленно работают, не уделяют должного внимания работе или не обосновывают свои взгляды. Мы проверяем потенциальных рецензентов перед отправкой рукописей на рецензирование. Рецензенты должны понимать, что данные сообщения содержат конфиденциальную информацию и относиться к ней соответственно.

Написание рецензии

Основная цель рецензирования – представить редактору объективную информацию для принятия решения. Рецензия также должна содержать рекомендации авторам по улучшению статьи для публикации. Негативная рецензия должна в максимальной степени указывать авторам на слабые места рукописи, чтобы авторы, чьи работы были отвергнуты, понимали, на чем было основано решение, и увидели, что можно сделать, чтобы улучшить рукопись. Эта функция второстепенна, поэтому рецензенты не обязаны предоставлять авторам, чьи статьи не отвечают условиям журнала, детальное, конструктивное обоснование. Если рецензент считает, что рукопись не годится для публикации, его/ее ответ автору должен быть такого объема, чтобы автор понял причину отказа.

Плата за публикацию

Публикация в журнале для авторов бесплатна. Редакция не взимает плату с авторов за рецензирование, размещение и печать научных материалов.

Политика размещения препринтов и постпринтов

В процессе подачи статьи автору необходимо подтвердить, что статья не была опубликована или не была принята к публикации в другом научном журнале. При ссылке в Интернете на опубликованную в журнале Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ) статью издательство просит размещать ссылку (полный URL материала) на официальный сайт журнала.

К рассмотрению допускаются статьи, размещенные ранее авторами на личных или публичных сайтах, не относящихся к другим издательствам.

Помощь авторам

1) Коррекция английской версии и перевод статей с русского языка на английский:

профессиональный переводчик, аттестованный Объединенной редакцией Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» и International Journal of Hydrogen Energy (IJHE),

Назаров Кирилл Вадимович

Сертификат № ISJAEЕ-100-001-15 (утвержден почетным гл. редактором International Journal of Hydrogen Energy (IJHE) и гл. редактором Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология»); электронная почта: 274427@mail.ru;

2) Создание схем и рисунков: художник-дизайнер

Немышев Виктор Иванович; электронная почта: vinsar36@mail.ru;

3) Полная переработка русскоязычного текста:

редактор:

Хазиева Алевтина Сергеевна; электронная почта: alevtinakhazieva@yandex.ru

Обеспечение принципа международного представительства (расширение географии и представительства государств и организаций в работе журнала и международного разнообразия)

Организация может представить не более 15 публикаций в год, но если среди авторского коллектива будут представлены другие организации, то количество публикаций может быть увеличено для каждой организации дополнительно по числу партнерских российских и зарубежных организаций, представленных в авторском коллективе.

Гарантии Редакции

Автор или авторский коллектив (независимо от того, являются ли они подписчиками или нет) публикуются в нашем журнале с бесплатным оказанием услуг по рецензированию и публикации русскоязычной версии.

1. Статья публикуется в полноцветном варианте.

2. По просьбе авторов (автора) может быть осуществлено переиздание статьи на английском языке в случае одобрения совместной редакционной группой *партнерских переводных журналов IJHE (США), Solar Energy (США), Возобновляемая энергетика (Украина) и других родственных по тематике зарубежных журналов:*

- *в IJHE (США) (для статей по водородной энергетике);*
- *в Solar Energy (США) (для статей по солнечной энергетике);*
- *в «Возобновляемой энергетике» (Украина) (для статей по возобновляемой энергетике);*
- *в Applied Solar Energy (ASE, Uzbekistan) (для статей по солнечной энергетике).*

3. В случае принятия авторской статьи совместной редакционной группой *партнерских переводных журналов: International Journal of Hydrogen Energy (IJHE, USA) [Elsevier], Solar Energy (SE, Canada) [Elsevier], Возобновляемая энергетика (Украина), Applied Solar Energy (ASE, Uzbekistan) [Springer] и других родственных по тематике зарубежных журналов в течение недели после передачи для рассмотрения будет выдана Справка о приеме статьи для рассмотрения публикации в переводных журналах, утвержденная объединенной Рабочей группой.*

4. В случае одобрения авторской статьи совместной редакционной группой *партнерских переводных журналов International Journal of Hydrogen Energy (IJHE, USA) [Elsevier], Solar Energy (SE, Canada) [Elsevier], Возобновляемая энергетика (Украина), Applied Solar Energy (ASE, Uzbekistan) [Springer] и других родственных по тематике зарубежных журналов в течение недели после одобрения статьи будет выдана Справка о приеме статьи для публикации в партнерском переводном журнале.*

5. Может быть осуществлена отправка в адрес Заказчика выпуска Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» с опубликованной статьей в количестве 2-х и более экземпляров по желанию авторов (экземпляры оплачиваются автором или авторским коллективом по сниженной на 50 % стоимости).

6. Редакция также берет на себя обязательства по выполнению следующих работ и услуг: рецензированию, экспертизе, реферированию в International Scientific Journal «Letters in ISJAEЕ» (на русском и на английском языках); реферированию в реферативном журнале International Scientific Journal «Life and Ecology»; индексированию в системе авторского индекса и тематики в завершающем год номере Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология»; предпечатной подготовке; изданию, распространению информации на русском и английском языке; присвоению Международного цифрового идентификатора (DOI); отправке печатных и электронных версий номера в организации учета, индексирования, реферирования информации в ВИНТИ; реферирования информации в других реферативных изданиях; по отправке обязательных экземпляров журнала в Российскую книжную палату; отправке в национальные библиотеки (с которыми заключен Договор); распространению обязательного подписного печатного и электронного тиража подписчикам журнала.

Раздел 1. Порядок предварительного рецензирования

Каждая рукопись регистрируется ответственным секретарем редколлегии в реестре учета поступающих рукописей с присвоением четырехзначного номера, например, рег. № 0687 от 23 августа 2009 года (теперь регистрация проходит и через Интернет: <http://www.isjaee.com/jour/user/register>. В этом случае автору направляется письмо-уведомление). После регистрации рукописи в адрес автора-корреспондента направляется Приоритетная справка по форме Form 16 ISJAEЕ. Приоритетная справка уведомляет авторский коллектив о регистрации ру-

копии. После рассмотрения рукописи главным редактором и редакцией сопроводительные материалы и рукопись передаются для проведения формальной экспертизы в соответствующее подразделение редакции Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология». В дальнейшей переписке авторы и редакция ссылаются на регистрационный номер.

Далее авторские материалы рукописи передаются в Совет рецензентов и Экспертный совет.

По завершении процедуры экстренного рецензирования и получения положительного решения Совета рецензентов и Экспертного совета статья будет опубликована в журнале.

Журнал публикует исключительно оригинальные статьи. Автор несет полную ответственность за соблюдение этого требования.

Раздел 2. Порядок представления рукописей

Для своевременного выхода журнала убедительно просим соблюдать следующие правила оформления рукописей:

1. Рукопись представляется только в электронном виде через сайт: <http://www.isjaee.com/>

Для тех авторов, кто представляет пакет документов по рукописи и саму рукопись впервые через сайт, необходимо зарегистрироваться на <http://www.isjaee.com/jour/user/register>

Логин и пароль необходимо сохранить для последующих действий при работе с рукописью в Личном рабочем кабинете автора (авторского коллектива).

После регистрации можно направить рукопись в электронном виде в редакцию через сайт по адресу: <http://www.isjaee.com/jour/login?source=%2Fjour%2Fauthor%2Fsubmit>

Для входа в свой рабочий Личный кабинет необходимо набрать логин и пароль со строгим соблюдением всех регистров и раскладок клавиатуры, которые были выбраны при регистрации. Система очень строго реагирует на любые ошибки при наборе, поэтому при воспроизведении логина и пароля должна соблюдаться строгая идентичность набора последовательности и конфигурации печатных знаков, которые определены Вами при регистрации.

Сканированная копия рукописи в PDF-формате обязательно содержит подписи авторов.

2. Объем рукописей:

- краткие сообщения – до 3 страниц (1 страница = 1800 печатных знаков);
- объем статей, как правило, не должен превышать 5-7 страниц;
- письма в редакцию – до 4 страниц;
- объем научных обзоров – не более 15-18 страниц.

3. Рукопись сопровождается:

- сопроводительным письмом руководителя организации, представляющей рукопись; оформленным экспертным заключением или другим документом, разрешающим опубликование в открытой печати (1 экз.), утвержденным руководителем организации и заверенным гербовой печатью; экспертное разрешение представляют только авторы из России.

4. Текст аннотации (не менее 250 слов) на русском и английском языках печатается шрифтом Times New Roman (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: наименование статьи, авторы, наименование организации, аннотация на русском языке; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке. Аннотация излагается в индикативной форме, в состав аннотации в обязательном порядке должны входить: область исследования, теоретические положения, экспериментальные исследования, основные результаты работы, предполагаемые потребители результата.

5. Текст авторского резюме на русском и английском языках печатается шрифтом Times New Roman (10 кегль) и должен содержать: место работы, должность, образование, научное звание, ученая степень, награды и научные премии, профессиональный опыт, основной круг научных интересов, количество публикаций каждого из авторов. Желательно включить: ORCID, индекс Хирша, Research ID, SPIN и другие наукометрические показатели. Редакционная коллегия обращает внимание на важность представления в резюме ссылок на личные странички авторов в Research Gate, Mendeley и других социальных сетях данных ученых.

6. Фотографии авторов для резюме в формате TIFF или JPEG . Фотографии авторов представляются в обязательном порядке в цветном варианте.

Фото обязательно
(лицо крупным планом)
ФИО (полное на
английском
и русском)

Сведения об авторе: степень, должность, место работы.
Образование: вуз, год окончания.
Область научных интересов: связь с тематикой журнала.
Публикации: количество

Information about the author:
Education:
Research area:
Publications:

7. Текст реферата (одна страница) для опубликования в реферативных журналах (РЖ) ВИНИТИ, «Письма в журнал «Альтернативная энергетика и экология» (на английском языке).

Параметры страницы:

- **формат** А4 (210x297 мм);

- **межстрочный интервал** полуторный;

- **шрифт** Times New Roman, (12 кегль) в одном файле в следующем порядке: наименование статьи, авторы, наименование организации, реферат на русском языке; далее, через 2 строки, в той же последовательности – на английском языке.

8. Интернет-сообщение для размещения сигнальной информации на сайтах Информационного портала «Водород» и на сайтах информационной сети, посвященной энергетике и экологии. Сообщение размером не более одной страницы излагается в произвольной форме:

- **формат** А4 (210x297 мм);

- **межстрочный интервал** полуторный;

- **шрифт** Times New Roman (12 кегль).

Сообщение может включать фотографии и графики.

Раздел 3. Оформление рукописи:

▪ редколлегия рекомендует авторам обзоров и статей **структурировать представляемый материал, используя подзаголовки** (например: ВВЕДЕНИЕ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ, СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ).

▪ текст материала для публикации должен быть **тщательно отредактирован автором**, следует избегать повторов, не следует без необходимости подробно описывать иллюстративный материал;

▪ текст должен быть напечатан на белой бумаге:

- **формат** А4 (210x297 мм);

- **межстрочный интервал** полуторный;

- **шрифт** Times New Roman (12 кегль).

Рукопись может включать фотографии и графики.

Текст рукописей оформляется в следующей последовательности:

- **индекс универсальной десятичной классификации (УДК или PACS);**

- **название статьи на русском и на английском языке** (прописными буквами без кавычек, кегль 14 полужирный, выравнивание по центру; переносы не допускаются, точка в конце строки не ставится, подчеркивание не используется);

- **авторы** (инициалы, фамилия, кегль 14 полужирный курсив, выравнивание по центру, точка в конце строки не ставится)

- **название организации, адрес, город, страна, индекс, телефон, факс, e-mail** (кегль 12, выравнивание по центру. Если авторы представители различных организаций, то используется метод надстрочных ссылок, например: А. В. Иванов, Ю. С. Седов *);

- **заголовок раздела** (кегль 14, выравнивание по левому краю, точка не ставится);

- **текст статьи:** шрифт 12, абзацный отступ 0,5 см, выравнивание по формату;

- **подзаголовок** (шрифт курсивный, кегль 14, выравнивание по левому краю);

- **список литературы** (шрифт обычный, кегль 14, выравнивание по центру).

В списке литературы должны быть даны ссылки на работы отечественных и зарубежных авторов (как правило, на статьи из журналов, входящих в глобальные индексы научного цитирования), патенты – не менее 20 ссылок.

При написании статьи используются общепринятые термины, единицы измерения и условные обозначения, единообразные по всей статье. **Расшифровка всех (!) используемых авторами обозначений дается в таблице (список обозначений) в алфавитном порядке.**

При наборе статьи на компьютере все латинские обозначения физических величин (A , I , d , h и т. п.) набираются курсивом, греческие обозначения, названия функций (β , \sin , \exp , \lim), химических элементов



(H O) и единиц измерения (МВт/см²) – прямым (обычным) шрифтом. Символы (R, ρ, ⊗, ε и т. п.) оговариваются на полях рукописи.

Каждая рукопись в обязательном порядке должна содержать Список обозначений.

Образцы представления таблицы обозначений на русском языке

Список обозначений	
Буквы латинского алфавита	
G	Геометрия водопроводящего тракта
H	Напор ГЭС
ΔH	Потери напора
i	Расчётный час
Буквы греческого алфавита	
η	КПД гидроагрегата
φ	Потери энергии за счёт взаимовлияния ВЭУ друг на друга
Буквы русского алфавита	
Э	Выработка
$\Delta Э$	Потери энергии
Нижние индексы	
ВЭС	Ветроэлектростанция

Таблицы, рисунки, фотографии (только цветные!!!) размещаются внутри текста и имеют сквозную нумерацию по статье (не по разделам!) и собственные заголовки. Буквенно-цифровая нумерация (1а, 2б) нежелательна. **Названия всех рисунков, фотографий и таблиц приводятся на русском и на английском языках!!!**

Нумерация обозначений на рисунках дается по порядку номеров по (против) часовой стрелки (для чертежей) или сверху вниз (снизу вверх). Файлы иллюстраций предоставляются в формате TIFF или BMP (максимальное качество) с разрешением не менее 300 dpi.

Формулы создаются с помощью встроенного редактора формул (Math Type, Microsoft Equation) с нумерацией в круглых скобках (2), выровниваются по центру; расшифровка всех обозначений (букв) в формулах дается в порядке упоминания в формуле.

Формулы должны быть аккуратно набраны на компьютере.

Во избежание недоразумений и ошибок редакция рекомендует авторам использовать в формулах буквы латинского, греческого и других (не русских) алфавитов.

Образцы представления рисунков в рукописи

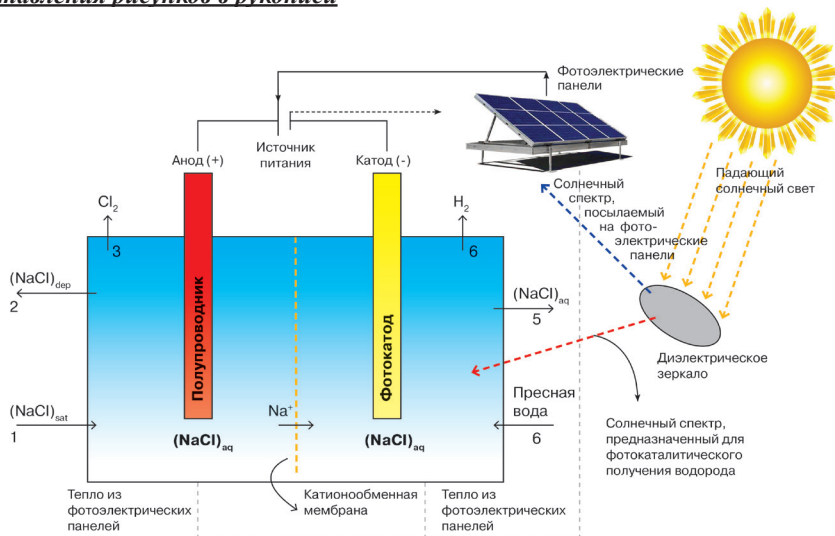


Рис. 1. Схематическое изображение комбинированного фотоэлектрохимического реактора непрерывного типа
 Fig. 1. Schematic of the continuous hybrid photoelectrochemical reactor

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

Образец представления графиков в рукописи

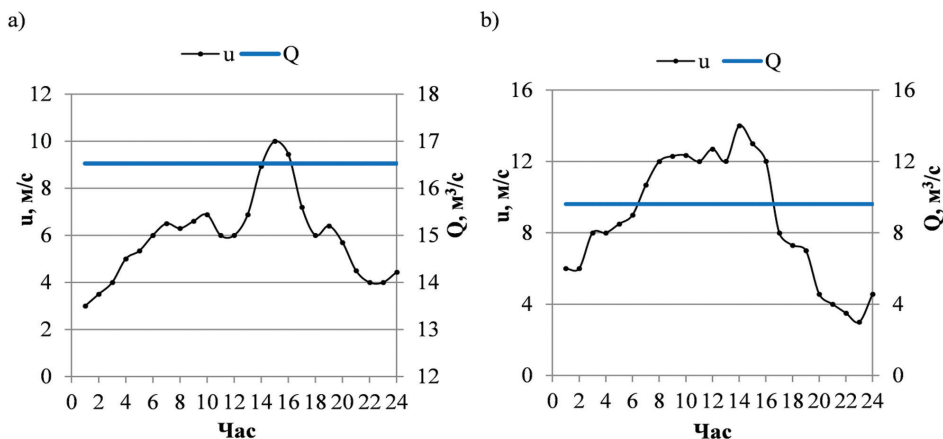


Рис. 1. Суточный ход скорости ветра и расходов реки: а – июнь, б – декабрь
 Fig. 1. Wind speed and river flow daily variation: a – June; b – December

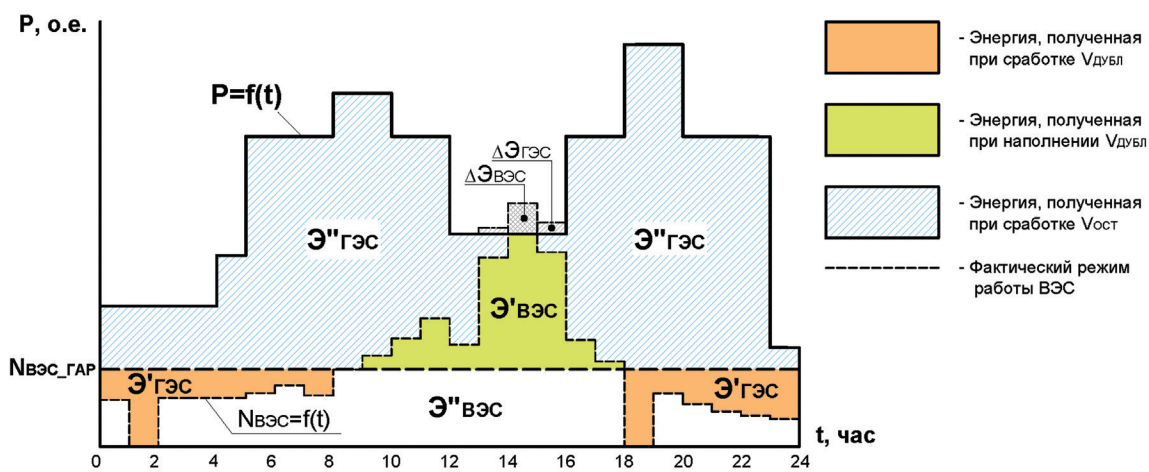


Рис. 1. Суточный график нагрузки и выработки энергии энергетическим комплексом ВЭС-ГЭС
 Fig. 1. WPP/HPP power system daily-load and output curve

Образец представления формул в рукописи

$$\begin{cases}
 \mathcal{E}'_{ГЭС_i} = \frac{\mathcal{E}_{ВЭС_k}}{24} - \mathcal{E}_{ВЭС_i}, & \text{при } \mathcal{E}_{ВЭС_i} \leq \frac{\mathcal{E}_{ВЭС_k}}{24}, \\
 \mathcal{E}'_{ВЭС_i} = \mathcal{E}_{ВЭС_i} - \frac{\mathcal{E}_{ВЭС_k}}{24}, & \text{при } \frac{\mathcal{E}_{ВЭС_k}}{24} \leq \mathcal{E}_{ВЭС_i}, \\
 \sum_{i=1}^{24} \mathcal{E}'_{ГЭС_i} = \sum_{i=1}^{24} \mathcal{E}'_{ВЭС_i}, & (1)
 \end{cases}$$

где $\mathcal{E}_{ВЭС_k}$ – суточная выработка энергии ВЭС за расчётные сутки k .



Образец представления схем в рукописи

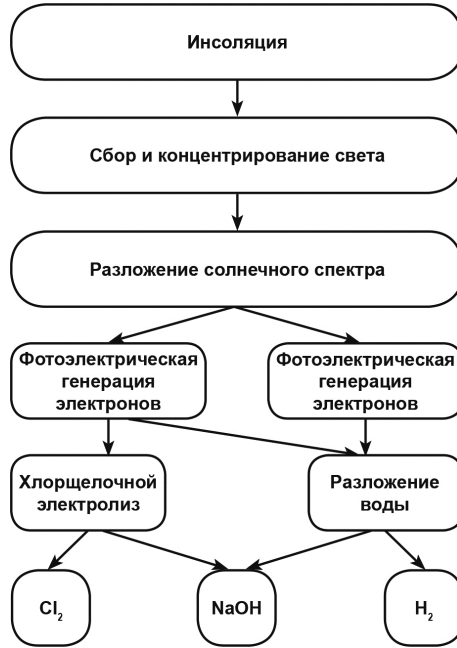


Рис. 1. Схема работы комбинированного реактора
 Fig. 1. Schematic description of the hybrid reactor operating mechanism

Образец представления таблиц в рукописи

Удельный массовый расход и концентрация растворов
 Definitions, mass flow rates and solute concentrations

Таблица 4
 Table 4

Поток	Описание	Удельный массовый расход (кг/с)	Концентрация (кг вещества/кг раствора)
1	Насыщенный раствор NaCl на входе	\dot{m}_1 : входной, известен	x_{s1} : насыщенный раствор, известна
2	Раствор NaCl на выходе	$\dot{m}_2 = \frac{(1 - x_{S1})}{(1 - x_{S2})} \dot{m}_1$	x_{s2}
3	Хлоргаз на выходе	$\dot{m}_3 = 0,61 \frac{(x_{S1} - x_{S2})}{(1 - x_{S2})} \dot{m}_1$	
4	Пресная вода на входе	$\dot{m}_4 = \frac{0,68 - 0,35x_{S5}}{x_{S5}} \frac{(x_{S1} - x_{S2})}{(1 - x_{S2})} \dot{m}_1$	
5	Раствор NaOH на выходе	$\dot{m}_5 = \frac{0,68 (x_{S1} - x_{S2})}{x_{S5} (1 - x_{S2})} \dot{m}_1$	x_{s5}
6	Водород на выходе	$\dot{m}_6 = 0,02 \frac{(x_{S1} - x_{S2})}{(1 - x_{S2})} \dot{m}_1$	

International Publishing House of scientific periodicals «Space»

Международный издательский дом научной периодики «Спейс»

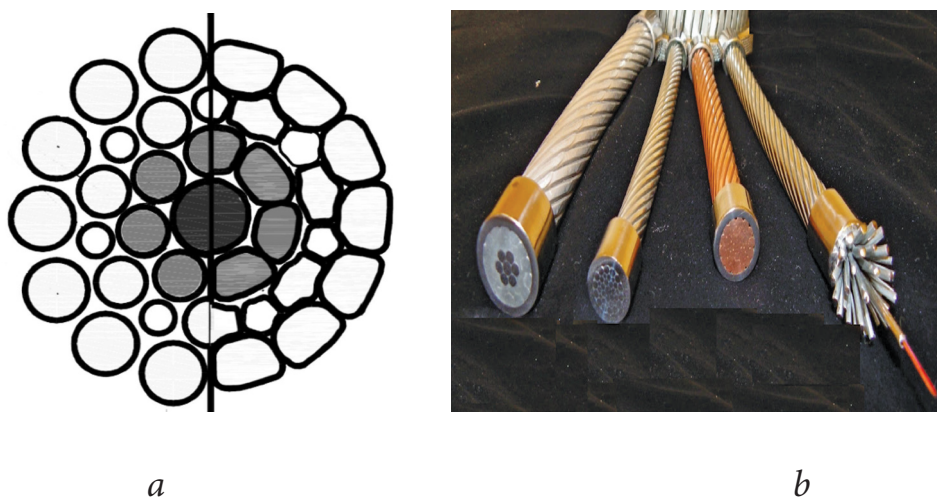
Образец оформления фотографий и элементов графики в рукописи

Рис. 1. Внешний вид тросов. Разрез несущих тросов: а) круглой и б) компактированной формы
Fig. 1. Types of catenary wires: a) round and b) compacted

Оформление литературных ссылок (списка литературы):

Библиографические ссылки в списке литературы располагаются в той последовательности, в какой упоминаются в тексте [3], и оформляются по следующим правилам:

I. Описание книг

1. Книги одного, двух или трех авторов описываются под фамилией первого автора:
 - книга одного автора:
Чадаева, Л.А. Квантовая механика: учебник для бакалавров / Л.А. Чадаева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2011. – 300 с.
 - книга двух авторов:
Нехаев, Г.А. Металлические конструкции / Г.А. Нехаев, И.А. Захарова. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 140 с.
2. Книги четырех и более авторов указываются под заглавием (названием) книги. После названия книги, за косой чертой пишется фамилия одного автора и вместо следующих фамилий слово – [и др.].
3. Книги с коллективом авторов, или в которых не указан автор, указываются под заглавием (названием) книги. За косой чертой пишется фамилия редактора, составителя или другого ответственного лица.
Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия: учебник / под ред. В. Я. Позднякова. – М.: Инфра-М, 2010. – 617 с.

II. Описание статьи из журнала

При описании статей из журналов указываются автор статьи, ее название, затем за двумя косыми чертами указывается название журнала, в котором она опубликована, год, номер, страницы, на которых помещена статья.

- статья одного автора:
 1. Панцхава, Е.С. Биогазовые технологии – радикальное решение проблем экологии, энергетики и агрохимии / Е.С. Панцхава // Теплоэнергетика. – 1994. – № 11. – С. 36–42.
- статья двух авторов:
 2. Гелетуха, Г.Г. Обзор технологий газификации биомассы [Текст] / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С. 21–29.
- статья четырех и более авторов:
 3. Батенин, В.М. Пиролитическая конверсия биомассы в газообразное топливо / В.М. Батенин [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 446. – № 2. – С. 179–182.

III. Описание статьи из книг и сборников

- статья из книги одного автора:

Катуев, В.Д. Возобновляемая энергетика / В.Д. Катуев // Альтернативная энергетика: учебно-справочное пособие / В.Д. Катуев. – М., 2001. – С. 207–451.

- статья из книги двух авторов:

Безуглов, А.А. Президент Российской Федерации / А.А. Безуглов // Безуглов А.А. Конституционное право России: учебник для юридических вузов (полный курс): в 3-х т. / А.А. Безуглов, С.А. Солдатов. – М., 2001. – Т. 1. – С. 137–370.

- статья из книги трех и более авторов:

Григорович Ф.В. Солнечная энергетика / Ф.В. Григорьев // Григорьев Ф.В. Управление муниципальной недвижимостью: учебно-практическое пособие / Ф.В. Григорьев, М.А. Багун, Л.И. Михайлов. – М., 2003. – С. 200–302.

Программа водородной энергетики // Перспективы водородной энергетики / В.Г. Польшман [и др.]; под ред. В.Г. Польшмана. – М., 2005. – Гл. 3. – С. 56–130: табл.

IV. Описание официальных изданий

Конституция Российской Федерации: принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года. – М.: Эксмо, 2013. – 63 с.

Уголовный кодекс Российской Федерации. Официальный текст: текст Кодекса приводится по состоянию на 23 сентября 2013 г. – М.: Омега-Л, 2013. – 193 с.

О проведении в Российской Федерации года молодежи: указ Президента Российской Федерации от 18.09.2008. № 1383 // Вестник образования России. – 2008. – № 20 (окт.). – С. 13–14.

V. Описание нормативно-технических и технических документов

ГОСТ Р 517721–2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования. – Введ. 2002-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 27 с.

или

Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединения. Технические требования: ГОСТ Р 517721–2001. – Введ. 2002-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 27 с.

Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК7 Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередаточное устройство / Чугаева В. И.; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.

VI. Описание электронных ресурсов

- диск

Даль, В. И. Толковый словарь живого великого языка Владимира Даля [Электронный ресурс] / В. И. Даль; подгот. по 2-му печ. изд. 1880–1882 гг. – Электрон. дан. – М.: АСТ, 1998. – 1 электрон. опт. Диск (CD-ROM).

- электронный журнал

Краснов, И.С. Методологические аспекты здорового образа жизни россиян [Электронный ресурс] / И. С. Краснов // Физическая культура: науч.-метод. журн. – 2013. – № 2. – Режим доступа: <http://sportedu.ru>. – (Дата обращения: 05.02.2014).

- сайт

Защита персональных данных пользователей и сотрудников библиотеки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nbrkomi.ru>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 14.04.2014).

• Конструкции стальные строительные. Общие технические требования [Электронный ресурс]: ГОСТ 23118–2012. – Введ. 2013-07-01. – Режим доступа: Система Кодекс-клиент.

• Об утверждении образца формы уведомления об обработке персональных данных [Электронный ресурс]: приказ Федеральной службы по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций от 17 июля 2008 г. № 08 (ред. от 18 февраля 2009 г. № 42). – Режим доступа: Система Гарант

Описание диссертаций и авторефератов диссертаций

• кроме фамилии автора и его инициалов следует указать название диссертации, степень, место защиты (город) и год; для препринтов – название, место издания, год, номер

Горшкова Т. И. Термодинамические свойства и применение некоторых сплавов церия: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1976

Раздел 4. Правила представления электронной версии материалов

Автор (корреспондент) должен направить в адрес главного редактора (e-mail: gusev@hydrogen.ru) обязательный пакет электронных файлов.

Перечень обязательного пакета электронных файлов:

1. Рукопись.

Файл обозначается следующим образом (пример): **Article#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Article#1 – обозначает номер рукописи, присвоенный автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе)

Gusev AL – фамилия первого автора и инициалы

Hydrogen detectors – первые два слова из названия рукописи

(1300) – номер тематического направления или тематической секции из **Тематики журнала** (приведена в конце каждого номера журнала).

2. Аннотация.

Файл обозначается следующим образом: **Summary#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Summary#1 – обозначает принадлежность аннотации к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

3. Реферат.

Файл обозначается следующим образом: **Abstract#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Abstract#1 – обозначает принадлежность реферата к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

4. Резюме.

Файл обозначается следующим образом: **Resume#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Resume#1 – обозначает принадлежность резюме к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

5. Рисунки.

Файл обозначается следующим образом: **Pictures#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Pictures #1 – обозначает принадлежность фотографий и рисунков к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

6. Разрешение.

Файл обозначается следующим образом: **Sanction#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Sanction#1 – обозначает принадлежность разрешения на право открытой публикации рукописи к конкретной рукописи с номером

далее см. п. 1.

7. Интернет-сообщение.

Файл обозначается следующим образом: **Internet#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Internet#1 – обозначает принадлежность **Интернет-сообщения** к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.



8. Соглашение

Файл обозначается следующим образом: **Agreement#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Agreement#1 – обозначает принадлежность PDF-версии Соглашения к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

9. Форма передачи рукописи и материалов для публикации – Form#1

Файл обозначается следующим образом: **Form#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Form#1 – обозначает принадлежность PDF-версии Формы передачи рукописи и материалов для публикации (MANUSKRIPIT TRANSMITTAL FORM) к конкретной рукописи с номером

10. Фотографии

Файл обозначается следующим образом: **Fotos#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Fotos#1 – обозначает принадлежность фотографий к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

11. Отзыв сторонней организации.

В основном для демонстрации значимости работы и характера выполненных предварительных улучшающих изменений в соответствии с рекомендациями.

Файл обозначается следующим образом: **Reviews#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Reviews#1 – обозначает принадлежность PDF-версии рецензии к конкретной рукописи с номером, присвоенным автором (рукописей может быть несколько на электронном носителе), далее см. п. 1.

12. Ключевые слова

Файл обозначается следующим образом: **Keywords#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Keywords#1 – обозначает принадлежность списка ключевых слов к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

13. Сопроводительное письмо руководителя организации (или письмо автора, если автор – частное лицо).

Файл обозначается следующим образом: **Letter#1.Gusev AL. Hydrogen detectors. (1300)**

Где:

Letter#1 – обозначает принадлежность PDF-версии письма руководителя организации к конкретной рукописи с номером далее см. п. 1.

Внимание!!!

Достаточно электронной версии всех перечисленных документов, твердая копия документов не требуется. Редколлегия обращает внимание авторов на то, что несоблюдение приведенных выше правил может задержать публикацию материала и привести к отклонению рукописи от процесса дальнейшего рассмотрения!!! Отклоненные редколлегией рукописи авторам не возвращаются.

В случае отклонения рукописи автор может в течение трех месяцев направить в редакцию уведомление и исправленный вариант в соответствии с требованиями редакции (при этом за рукописью сохраняется регистрационный номер), а также восстанавливается очередь публикации.

Раздел 5. Обязательства Редакции перед Высшей аттестационной комиссией

Редакция обязуется обеспечивать:

1. Наличие института рецензирования (для экспертной оценки рукописей). Обязательное предоставление редакцией рецензий по запросам авторам рукописей и экспертным советам в Высшую аттестационную комиссию Российской академии наук.

2. Информационную открытость издания.

Наличие и развитие сетевой версии журнала в Интернете по адресу <http://isjaee.com>. Аннотации статей, ключевые слова, информация об авторах должны находиться в свободном доступе в Интернете на русском и английском языках, полнотекстовые версии статей должны быть в свободном доступе или доступными только для подписчиков, но не ранее чем через год после выхода материала.

3. Регулярное предоставление информации об опубликованных статьях по установленной форме в систему Российского индекса научного цитирования.

4. Обязательное указание состава редакционной коллегии или совета с указанием учёной степени и учёного звания на сайте научного периодического издания.

5. Обязательное указание мест работы всех авторов и контактной информации для переписки.

6. Строгую периодичность.

7. Наличие пристатейных библиографических списков у всех статей в формате, установленном журналом из числа предусмотренных действующим ГОСТом.

8. Наличие ключевых слов на русском и на английском языках для каждой публикации.

9. Наличие и строгое соблюдение опубликованных правил предоставления рукописей авторами.

10. В случае отказа в публикации статьи уведомление автора в виде мотивированного отказа.

11. Наличие ISSN 1608-8298.

12. Наличие подписного индекса: ОАО «Роспечать» 20487, Объединенного каталога «Пресса России» 41935, Каталога российской прессы «Почта России».

13. Развивать специализацию в следующих областях:

– физико-математических наук;

– технических наук;

– химических наук;

по группам специальностей:

– физика;

– кинетика и катализ;

– экология (по отраслям: технические и химические науки);

– авиационная и ракетно-космическая техника;

– энергетика.

Просьба к авторам!

В целях ускорения согласования гранок обращаемся к авторам с просьбой предоставлять максимально возможные каналы связи с автором и авторским коллективом (мобильный телефон, скайп, факс, электронную почту и т.д.). Если у автора-корреспондента предвидятся командировки, отпуск и другие неотложные дела, просьба своевременно в письменном виде уведомить Редакцию о назначении ответственного лица для согласования гранок статей.

Приложение № 1.

**Правила этики публикаций научной и научно-технической периодики редколлегии
Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология»
(Редакция № 1)**

Утверждены

**Международным комитетом по этике публикаций научной и научно-технической периодики
20 июня 2014 года.**

Этика научных публикаций

Этический кодекс Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» – это свод правил, который устанавливает основные принципы и задаёт ценностные ориентиры для всех участников научно-публикационного процесса. С его помощью регулируются поведение и взаимоотношения авторов, редакторов, рецензентов, издателей и читателей нашего журнала.

Соблюдение этих правил носит обязывающий характер, так как способствует повышению качества издания, поддерживает доверие к нему научного сообщества и общества в целом.

Редакция Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» не только проводит соответствующую политику, но и признает необходимость отслеживания всех случаев нарушения этических принципов как членами редакции, так и авторами нашего журнала. Нарушение этих принципов может иметь негативные последствия для всех участников научно-публикационного процесса: нарушитель может подвергнуться санкциям со стороны коллег, его репутации будет нанесён существенный урон, а его деятельность может породить цепь ошибок, которые нанесут вред не только науке, но и обществу.

Общими принципами, на которых базируется деятельность редакции журнала «Альтернативная энергетика и экология» являются:

- честность;
- вежливость;
- добросовестность;
- объективность;
- конфиденциальность;
- здоровый скептицизм;
- компетентность;
- профессионализм.

Эти принципы имеют свои особенности и специфически реализуются каждой стороной научно-публикационного процесса: авторами, редакторами, рецензентами, издателями и читателями.

Редакция международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» при составлении этического кодекса учитывала рекомендации Комитета по этике публикаций – Committee on Publication Ethics (COPE), Кодекс этики научных публикаций Комитета по этике научных публикаций и этические кодексы других изданий.

Нарушения правил этики научных публикаций

- Фабрикация и фальсификация данных: выдуманные данные.
- Плагат: использование чужих идей и работ (копирование хотя бы одного предложения из рукописи другого учёного или даже своей собственной ранее опубликованной рукописи без оформления цитаты считается плагиатом).
 - Подача рукописи в несколько журналов.
 - Дублирующие публикации похожих рукописей, основанных на одном эксперименте.
 - Неправильное определение авторства: необходимо указать каждого, кто сделал значительный научный вклад, включая студентов и лаборантов.

Редакционная коллегия журнала Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ)» при рассмотрении статьи может произвести проверку материала с помощью системы Антиплагиат. В случае обнаружения многочисленных заимствований редакция действует в соответствии с правилами COPE.

Политика раскрытия и конфликты интересов

Неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, нельзя использовать в личных исследованиях без письменного согласия Автора. Информация или идеи, полученные в ходе рецензирования и связанные с возможными преимуществами, должны сохраняться конфиденциальными и не использоваться с целью получения личной выгоды.

Рецензенты не должны участвовать в рассмотрении рукописей в случае наличия конфликтов интересов вследствие конкурентных, совместных и других взаимодействий и отношений с любым из Авторов, компаниями или другими организациями, связанными с представленной работой.

Приложение № 2.

Редакционная политика

Международный состав редколлегии и редакции Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» осознают насущность проблем, связанных с энергетическим и экологическим кризисами, которые наиболее полно отразили трагическое противостояние природы и человека. Переход на альтернативные источники энергии – возобновляемые и практически неисчерпаемые – может если не устранить, то хотя бы смягчить остроту этого конфликта. Редакция нашего журнала занимает социально ответственную позицию,

присоединяясь к усилиям международного сообщества по решению проблем дефицита ресурсов и сохранения окружающей среды и стремясь внести свой вклад в развитие данной отрасли знания и производства.

Основными целями нашего журнала в качестве издания, посвящённого вопросам экологии, является содействие сохранению окружающей среды, в качестве научного издания – достижение истины и приращение научного знания.

В связи с этим редакционная политика журнала, посвященного исследованиям в области альтернативной энергетики и экологии, направлена на решение следующих задач:

- привлекать внимание общества в лице читателей журнала к наиболее актуальным и перспективным направлениям альтернативной энергетики и экологии;
- публиковать материалы по соответствующей тематике не только теоретического, но и прикладного характера;
- предоставлять учёным всего мира возможность сообщать о результатах своих исследований;
- отбирать посредством механизма рецензирования наиболее ценные работы;
- повышать количество качественных научных публикаций;
- способствовать расширению международного научного сотрудничества и поддержанию научной коммуникации;
- развивать взаимное сотрудничество авторов, издателей и читателей;
- непрерывно совершенствовать журнал.

Редакция Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» проводит независимую редакционную политику, опирающуюся на Правила публикации и Этический кодекс журнала, которые призваны сделать совместное участие в научно-публикационном процессе авторов, редакторов, рецензентов, издателей и читателей более эффективным, прозрачным и соответствующим нравственным нормам, установленным в научном сообществе. Редакция признаёт требования соблюдать этику научных публикаций и делает всё возможное для того, чтобы предотвратить их нарушения.





Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» издается с 2000 г., выходит ежемесячно и распространяется по подписке через агентства «Роспечать», «Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы», «Интерпочта-2003», «Артос-ГАЛ», «Деловая пресса», «ЕРМАК-ПРЕСС», а также через редакцию журнала.

Журнал включен в состав Международной научно-образовательной системы «Водород» (<http://www.hydrogen.ru>).

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» зарегистрирован в правительстве России в качестве СМИ, одобрен Организацией Объединенных Наций, включен в перечень ВАК, награжден Европейской Академией Естественных Наук медалью Рентгена, в 2000 и 2003 гг. награжден Президентом Международной ассоциации водородной энергетики (МАВЭ) академиком Т.Н. Везируглу денежной премией за достигнутые успехи, в 2008 году журнал награжден Премией «Российский Энергетический Олимп-2008».

Под эгидой журнала проведен ряд научных форумов:

- Первый Международный симпозиум «Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSENT-2000.
- Второй Международный симпозиум «Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSENT-2003.
- Первый Всемирный конгресс «Альтернативная энергетика и экология» WCAEE-2006.
- Первая Международная конференция «Водород и возобновляемые источники энергии» ICHRSE-2006.
- Третий Международный симпозиум «Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSENT-2006.
- Первый Международный симпозиум «Водородные сенсоры и рекомбинаторы» ISHSR-2006.
- Национальный Российский семинар «Получение альтернативных энергоносителей с помощью атомно-водородного цикла» АВЭ-2007.

Материалы всех мероприятий опубликованы в Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология».

Все статьи, поступающие в журнал, рецензируются, реферируются, в кратчайшие сроки согласуются с авторами и публикуются в журнале. Авторские коллективы лучших научных работ участвуют в конкурсах редколлегии и награждаются почетными дипломами, грамотами, призами и наградами, учрежденными Международной редколлегией журнала и одобренными ООН.



Редколлегия Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) приглашает руководителей и исполнителей проектов к публикации рукописей по результатам проведенных исследований и выполненных научно-технических работ по следующим основным направлениям:

1. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы.
2. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии.
3. Технологии новых и возобновляемых источников энергии.
4. Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров.
5. Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов.
6. Технологии производства топлив и энергии из органического сырья.
7. Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.
8. Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф.
9. Технологии создания мембран и каталитических систем.
10. Технологии водородной энергетики.
11. Нанотехнологии и наноматериалы.
12. Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем.
13. Базовые и критические специальные и промышленные технологии.
14. Технологии обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений.
15. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.

Анонсы и Интернет-версии статей публикуются на сайте Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) в разделе «Новости».

Электронные версии статей публикуются на сайте журнала с некоторой задержкой по времени (36 месяцев). Ежемесячно сайт журнала посещают читатели из 205 стран мира. Общее число посещений достигает 1 000 000 в год.

Авторские коллективы, выполнившие наиболее значимые работы, могут номинироваться на награждение высшей Международной наградой редколлегии журнала (орденом или медалью) по представлению руководителя головной организации-исполнителя работ.

Награды присуждаются в соответствии с решением Международной наградной комиссии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология».

Редколлегия оказывает содействие своим авторам в получении финансовой поддержки ведущих международных научных фондов, компаний и институтов, для чего публикует на страницах журнала краткое предложение по международному проекту.





International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology

The International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology has been published since 2000 on a monthly basis. The Journal is distributed by subscription through the Rospechat, Russian Press: Russian and Foreign Newspapers and Magazines, Interpochta-2003, Artos-GAL, Business Press, YERMAK-PRESS subscription agencies and through the Editorial Board of the Journal.

The Journal is part of International Scientific and Educational System «Hydrogen» (<http://www.hydrogen.ru>).

The International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology has been entered into the Mass Media Register of the Government of Russia, approved by the United National Organization, included in the List of the State Commission for Academic Degrees and Titles, awarded the Roentgen Medal by the European Academy of Natural Sciences. In 2000 and 2003 the Journal awarded a cash prize by President of International Hydrogen Energy Association Member of Academy T.N. Veziroglu for achievements, and in 2008 the Journal received the Prize of Russian Energy Olympus-2008.

A number of scientific forums have been conducted under the aegis of the Journal

- First International symposium of Safety and Economy of Hydrogen Transport IFSSEHT-2000.
- Second International symposium of Safety and Economy of Hydrogen Transport IFSSEHT-2003.
- First World Congress on Alternative Energy and Ecology WCAEE-2006.
- First International Conference on Hydrogen and Renewable Energy Sources ICHRSE-2006.
- Third International symposium of Safety and Economy of Hydrogen Transport IFSSEHT--2006.
- First international Symposium on Hydrogen Sensors and Recombiners ISHSR-2006.
- National Russian Workshop on Production of Alternative Energy Sources Using the Atomic Hydrogen Cycle AHE-2007

Proceedings of all these events have been published in the International Journal of Alternative Energy and Ecology.

All manuscripts received by the Journal are reviewed, confirmed by the authors and published in the Journal in the shortest possible time. Authors of the best scientific manuscripts participate in contests announced by the Editorial Board and awarded honorable diplomas and prizes established by the International Editorial Board of the Journal and approved by UNO.



The Editorial Board of the International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) invites managers and participants of current and completed projects to publish manuscripts presenting the results of accomplished research and development projects in the following areas:

1. Monitoring and prediction of atmosphere and hydrosphere conditions
2. Development of energy saving heat and power transportation, distribution and consumption systems
3. Advanced and renewable energy sources
4. Development and processing of polymers and elastomers
5. Development and processing of composite and ceramic materials
6. Energy and fuel processing from organic raw materials
7. Nuclear power, nuclear fuel cycle, safe management of radioactive waste and spent nuclear fuel
8. Risk reduction and mitigation of consequences of natural and technology-related catastrophes
9. Development of membranes and catalytic systems
10. Hydrogen energy
11. Nanotechnologies and nanomaterials
12. Development of energy efficient engines and propulsion devices for transport systems
13. Basic and critical special and commercial processes
14. Protection and life support of population and hazardous facilities under threat of terrorist acts
15. Processing and disposal of civilization-related waste

Announcements and Internet-versions of journal manuscripts are published on the web-site of the International Scientific Journal of Alternative energy and Ecology (<http://isjaee.hydrogen.ru/>) in the News section.

Electronic versions of the manuscripts are published on the Journal's web-site with some delay (36 months). Visitors of the Journal's web-site represent 205 countries worldwide. The total number of web-site visits is 1,000,000 per year.

Authors of the most significant papers can be nominated for the highest award of the Journal's International Editorial Board (order or medal) upon request submission by the head of the leading participating organization.

The awards are conferred in accordance with resolutions of the International Award Commission of the International Scientific Journal of Alternative Energy and Ecology.

The Editorial Board assists authors of published papers in getting international financial support of leading international scientific foundations and search for leading companies and institutes that specialize in the area of scientific interest for cooperation under international research and development projects.

Upon request of the authors, the Editorial Board publishes a free-of-charge summary of international project proposal in the Journal that helps the authors find foreign co-participants.



ПЕРЕЧЕНЬ
необходимых материалов для публикации
в Международном научном журнале
«Альтернативная энергетика и экология»

По тематике: _____

Тематика определяется в соответствии с Тематикой журнала Form36 с указанием номера раздела и секции (желательно определиться с тематикой, если есть затруднения у авторов, Редакция вправе самостоятельно определить тематику рукописи).

Авторов: _____**Статья:** _____

Для своевременного выхода журнала и быстрой публикации работ авторы должны предоставлять в редакцию материалы по перечню, приведенному в таблице ниже. Авторы должны заполнить знаками (+) или (-) графы в столбце «Наличие»

№ п/п	Материал	Наличие
1	Заявление	
2	Квитанция об оплате или платежное поручение	
3	Твердая копия рукописи статьи	
4	Электронная версия рукописи статьи	
5	Название статьи на русском языке	
6	Название статьи на английском языке	
7	УДК (PACS)	
8	Автор(ы) статьи	
9	Координаты организаций авторов (включая телефоны и e-mail)	
10	Рисунки (фотографии, схемы)	
11	Подписуточные подписи на русском языке	
12	Подписуточные подписи на английском языке	
13	Таблицы	
14	Названия таблиц на русском языке	
15	Названия таблиц на английском языке	
16	Ссылки в тексте на таблицы и рисунки	
17	Список литературы (библиография)	
18	Библиографические ссылки в тексте в соответствие со списком литературы	
19	Структурированность текста, наличие подзаголовков	
20	Аннотация на русском языке	
21	Аннотация на английском языке	
22	Реферат на русском языке	
23	Реферат на английском языке	
24	Резюме на каждого автора (если авторов не более 6) или на главного автора*	
25	Фотография автора (авторов)*	
26	Разрешение на опубликование в открытой печати (экспертное заключение)	
27	Интернет-сообщение на русском языке*	
28	Интернет-сообщение на английском языке*	
29	Соглашение авторов на публикацию статьи в журнале, на электронных ресурсах E-Library, сайте журнала (архив) и на CD – коллекция журнала	
30	Рецензии	
31	Сопроводительное письмо руководителя организации (или письмо автора)	
32	Акт проведенных испытаний (если в статье присутствует экспериментальная часть), подписанный участниками испытаний*	
33	Ходатайства*	

* Материалы, предоставляемые по желанию



К сведению авторов. Редакция Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» считает, что авторы, направляя рукопись в Редакцию, согласны передать учредителям и редколлегии Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» право опубликовать рукопись на русском языке и в переводе на английском языке. Просим авторов прикладывать к направляемой рукописи Обязательство по форме, приведенной ниже. При этом за авторами сохраняются все остальные права как собственников этой рукописи.

Форма № 2-ISJAEЕ -2013

ОБЯЗАТЕЛЬСТВО

Автор(ы) статьи предоставляет (ют) издательству ООО НТЦ «ТАТА» на безвозмездной основе на срок действия авторского права, предусмотренного действующим законодательством РФ, исключительную лицензию на использование созданного Автором (ми):

Название рукописи на русском языке

Название рукописи на английском языке

1. *Фамилия, имя, отчество автора рукописи*
2. *Фамилия, имя, отчество автора рукописи*
3. *Фамилия, имя, отчество автора рукописи*

для использования в Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология» в пределах предусмотренных п. 2 ст. 1270 ГК РФ.

В соответствии с п. 2 ст. 1270 ГК РФ под использованием Статьи, понимается:

- воспроизведение Статьи или ее отдельной части на русском языке в любой материальной форме, в том числе на бумажном и электронном носителях в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(лов), и/или базах данных Издателя и/или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- распространение Статьи или ее отдельной части на любом носителе на русском языке по всему миру в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(лов), и/или базах данных Издателя или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- доведение Статьи или ее отдельной части до всеобщего сведения таким образом, что любое лицо может получить доступ к Статье из любого места и в любое время по собственному выбору (доведение до всеобщего сведения, в т.ч. через Интернет);
- право на перевод Статьи на английский язык;
- воспроизведение Статьи или ее отдельной части на английском языке в любой материальной форме, в том числе на бумажном или электронном носителе в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(ов), и/или на базах данных Издателя и/или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- распространения Статьи на английском языке или ее отдельной части на любом носителе на английском языке по всему миру в виде отдельного произведения и/или в составе Журнала(ов), и/или базах данных Издателя или иных лиц, по усмотрению Издателя;
- доведение Статьи на английском языке или ее отдельной части до всеобщего сведения, таким образом, что любое лицо может получить доступ к Статье из любого места и в любое время по собственному выбору (доведение до сведения, в т.ч. через Интернет);
- лицензирование (выдача разрешения) полученных прав по настоящему соглашению в целом или частичном виде для перевода, издания, распространения и доведения до всеобщего сведения на английском языке.

1. **Фамилия, имя, отчество автора рукописи** *подпись*
2. **Фамилия, имя, отчество автора рукописи** *подпись*
3. **Фамилия, имя, отчество автора рукописи** *подпись*



Главному редактору
Международного научного журнала
«Альтернативная энергетика и экология»
Гусеву Александру Леонидовичу

ЗАЯВЛЕНИЕ*

Раздел I. ПРОИЗВОЛЬНАЯ ФОРМА

Прошу (просим) рассмотреть возможность публикации рукописи «*НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ*» авторов (ПЕРЕЧИСЛЕНИЕ: должности, Фамилия Имя Отчество) в *Международном научном журнале «Альтернативная энергетика и экология»* в сроки (указывается наиболее оптимальный срок публикации рукописи).

***Материал представлен в электронном виде по E-mail в соответствии с требованиями Правил публикации Form16 -ISJAEE и Form1-ISJAEE. Твердые копии документов и окончательный вариант электронной версии (CD) будут направлены в Редакцию в месячный срок.*

Раздел II. ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ ФОРМА

Авторы (фамилия, имя, отчество), должность, полный титул для представления	1. 2. 3. 4. 5.
Наименование организации (если рукопись представляется от организации)	
Название статьи (на русском языке)	
Название статьи (на английском языке)	
Ответственный автор (ФИО, адрес, телефоны, факс, E-mail)	
Адрес, мобильный телефон и ФИО ответственного лица для получения отпечатков опубликованной статьи	
Полные платежные реквизиты для оплаты предусмотренных в Правилах позиций по подготовке рукописи к печати и печати, а также для получения счета для получения необходимого количества экземпляров журнала с публикацией	
Бронирование необходимого количества печатных версий журнала с авторской публикацией	
Подписка на журнал (подписан, планирую, не планирую)	
Подписка на электронную версию журнала на CD на полугодие, год, на все выпуски журнала	
Включение в базу данных для распространения (да, нет)	

Подписи авторов:

* Заявление по форме Form01-ISJAEE обязательно для авторов и авторского коллектива независимо от наличия Сопроводительного письма руководителя организации или автора. Информация по Разделу II не может изменяться на протяжении рассмотрения рукописи и на этапе подготовки рукописи к публикации (за исключением особых случаев). Информация по Разделу II используется для оформления Справок (Приоритетная справка, Справка об опубликовании и т.д.).

** Если материал представлен обычной почтой в твердой копии и в электронной версии на CD, то сообщается E-mail Ответственного автора (для переписки). Если E-mail отсутствует, переписка ведется обычной почтой.

*** Если авторы не могут подписать Заявление – командировка, авторы из разных мест, – допускается электронная подпись (ответственность за согласие автора опубликовать материал и достоверность подписи несет Ответственный автор).

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ»**

ОФОРМЛЕНИЕ ПОДПИСКИ

Стоимость подписки на 2023 г.

I. Электронная версия

в каждом выпуске сброшюрованы 3 номера

Для физических лиц:

1 выпуск – 2 000 рублей (30 \$) (27 евро)
1 месяц – 2 000 рублей (30 \$) (27 евро)
3 месяца – 6 000 рублей (90 \$) (82 евро)
6 месяцев – 12 000 рублей (180 \$) (165 евро)
9 месяцев – 18 000 рублей (270 \$) (247 евро)
12 месяцев – 29 000 рублей (500 \$) (450 евро)

Для организаций:

1 выпуск – 4 000 рублей (60 \$) (55 евро)
1 месяц – 4 000 рублей (65 \$) (60 евро)
3 месяца – 12 000 рублей (195 \$) (180 евро)
6 месяцев – 24 000 рублей (390 \$) (360 евро)
9 месяцев – 36 000 рублей (585 \$) (540 евро)
12 месяцев – 48 000 рублей (780 \$) (720 евро)

+ **Скидки для Членов редколлегии, преподавателей, аспирантов, пенсионеров и студентов (50 %).**

Акции - для юридических и физических лиц в период с 25 сентября по 25 октября действует скидка **20 % на годовую подписку.**

Для получения скидки обращайтесь по адресу: gusev@hydrogen.ru

Архивные выпуски (2017–2020 гг.)

Для физических лиц:

1 выпуск – 1 000 рублей (15 \$) (14 евро)
1 месяц – 1 000 рублей (16 \$) (14 евро)
3 месяца – 3 000 рублей (45 \$) (41 евро)
6 месяцев – 6 000 рублей (90 \$) (83 евро)
9 месяцев – 9 000 рублей (135 \$) (124 евро)
12 месяцев – 14 500 рублей (250 \$) (225 евро)

Для организаций:

1 выпуск – 2 000 рублей (30 \$) (27 евро)
1 месяц – 2 000 рублей (30 \$) (25 евро)
3 месяца – 6 000 рублей (95 \$) (90 евро)
6 месяцев – 12 000 рублей (195 \$) (180 евро)
9 месяцев – 18 000 рублей (293 \$) (270 евро)
12 месяцев – 24 000 рублей (390 \$) (360 евро)

Архивные выпуски (2000–2016 гг.)

1 выпуск – 400 рублей (7 \$) (6 евро)
1 месяц – 400 рублей (7 \$) (6 евро)
3 месяца – 1 200 рублей (20 \$) (18 евро)

6 месяцев – 2 400 рублей (40 \$) (35 евро)
9 месяцев – 3 600 рублей (60 \$) (55 евро)
12 месяцев – 4 800 рублей (80 \$) (62,5 евро)

Подписку можно оформить и получить доступ к электронным версиям по адресу: gusev@hydrogen.ru (для получения счета-договора).

II. Печатная версия

в каждом выпуске сброшюрованы 3 номера

(доставка по России включена в общую стоимость)

Для физических лиц:

1 выпуск – 3 000 рублей (50 \$) (45 евро)
1 месяц – 3 000 рублей (50 \$) (45 евро)
3 месяца – 9 000 рублей (150 \$) (135 евро)
6 месяцев – 18 000 рублей (300 \$) (270 евро)
9 месяцев – 27 000 рублей (450 \$) (405 евро)
12 месяцев – 36 000 рублей (900 \$) (810 евро)
+ Скидки для Членов редколлегии, пенсионеров, аспирантов, студентов (20 %).

Для юридических лиц:

1 выпуск – 6 000 рублей (100 \$) (90 евро)
1 месяц – 6 000 рублей (100 \$) (90 евро)
3 месяца – 18 000 рублей (300 \$) (270 евро)
6 месяцев – 36 000 рублей (600 \$) (540 евро)
9 месяцев – 54 000 рублей (900 \$) (810 евро)
12 месяцев – 70 000 рублей (1000 \$) (900 евро)
+ Скидки для Членов редколлегии, пенсионеров, аспирантов, студентов (20 %).

Акции – в период с 25 сентября по 25 октября действует скидка 15 % на годовую подписку.

Для получения скидки обращайтесь по адресу: gusev@hydrogen.ru

Архивные выпуски (2017–2020 гг.)
(доставка не входит в стоимость)

Для физических лиц:

1 выпуск – 1 000 рублей (15 \$) (14 евро)
1 месяц – 1 000 рублей (16 \$) (14 евро)
3 месяца – 3 000 рублей (45 \$) (41 евро)
6 месяцев – 6 000 рублей (90 \$) (83 евро)
9 месяцев – 9 000 рублей (135 \$) (124 евро)
12 месяцев – 14 500 рублей (250 \$) (225 евро)

Для организаций:

1 выпуск – 2 000 рублей (30 \$) (27 евро)
1 месяц – 2 000 рублей (30 \$) (25 евро)
3 месяца – 6 000 рублей (95 \$) (90 евро)
6 месяцев – 12 000 рублей (195 \$) (180 евро)
9 месяцев – 18 000 рублей (293 \$) (270 евро)
12 месяцев – 24 000 рублей (390 \$) (360 евро)

Архивные выпуски (2000–2018 гг.)
(доставка не входит в стоимость)

1 выпуск – 600 рублей (10 \$) (9 евро) 6 месяцев – 3 600 рублей (60 \$) (54 евро)
1 месяц – 600 рублей (10 \$) (9 евро) 9 месяцев – 5 400 рублей (90 \$) (81 евро)
3 месяца – 1 800 рублей (30 \$) (27 евро) 12 месяцев – 7 200 рублей (120 \$) (108 евро)

+ Скидки для пенсионеров, студентов (20 %).

Для получения скидки обращайтесь по адресу: gusev@hydrogen.ru

Оформить подписку можно на сайте или направить запрос с указанием реквизитов организации по адресу: gusev@hydrogen.ru (для получения счета на подписку).

«Золотая коллекция» (2000–2022 гг.) – 400 номеров журнала – печатная версия
(доставка не входит в стоимость)

300 000 рублей (4900 \$) (4200 евро)

+ Скидки для авторов, аспирантов, пенсионеров, студентов, членов редколлегии и рецензентов журнала (50 %).

Для получения скидки обращайтесь по адресу: gusev@hydrogen.ru

Оформить подписку можно на сайте или направить запрос с указанием реквизитов организации по адресу: gusev@hydrogen.ru (для получения счета на подписку).

«Золотая коллекция» (2000–2022 гг.) – электронная версия – доступ (логин-пароль)

150 000 рублей (2500 \$) (2200 евро)

+ Скидки для авторов, аспирантов, пенсионеров, студентов, членов редколлегии и рецензентов журнала (20 %).

Для получения скидки обращайтесь по адресу: gusev@hydrogen.ru

Оформить подписку можно на сайте или направить запрос с указанием реквизитов организации по адресу: gusev@hydrogen.ru (для получения счета на подписку).

«Золотая коллекция» (2000–2020 гг.) – 320 номеров журнала – электронная версия – на CD-диске
200 000 рублей (3000 \$) (2500 евро)

+ Скидки для авторов, аспирантов, пенсионеров, студентов, членов редколлегии и рецензентов журнала (20 %).

Для получения скидки обращайтесь по адресу: gusev@hydrogen.ru

Оформить подписку можно на сайте или направить запрос с указанием реквизитов организации по адресу: gusev@hydrogen.ru (для получения счета на подписку).



III. Платежные реквизиты ООО «ИНСТИТУТ ВОДОРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ»**Для расчетов в рублях**

Реквизиты счета:
 Наименование:
 ООО «ИНСТИТУТ ВОДОРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ»
 ИНН: 5254032750
 КПП: 525401001
 Банк: МОСКОВСКИЙ ФИЛИАЛ АО КБ «МОДУЛЬБАНК»
 БИК: 044525092
 к/с №: 30101810645250000092
 Счет №: 40702810471210001557

Валютные реквизиты (в евро)

Реквизиты счета:
 Correspondent Bank: RAIFFEISEN
 BANK INTERNATIONAL AG
 SWIFT: RZBAATWWXXX
 Account: 1-55.090.237
 Beneficiary institution: MODULBANK
 SWIFT: MODBRU22
 Beneficiary account: 40702978171210000004 (EUR)
 Beneficiary: STC «TATA» Limited

Валютные реквизиты (в долларах)

Реквизиты счета:
 Correspondent Bank: RAIFFEISEN
 BANK INTERNATIONAL AG
 SWIFT: RZBAATWWXXX
 Account: 70-55.090.237
 Beneficiary institution: MODULBANK
 SWIFT: MODBRU22
 Beneficiary account: 40702840571210000004 (USD)
 Beneficiary: STC «TATA» Limited

VI. Контакты

452613, Башкортостан респ., г. Октябрьский, 35-й мкр., дом 9А, абонентский ящик № 33, генеральному директору Гусеву Александру Леонидовичу.
 e-mail: gusev@hydrogen.ru





I. ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА



1. Солнечная энергетика

- А.Штейнфельд* (Швейцария, Цюрих, Швейцарский федеральный институт технологий) (МПК)
Г.И. Исаков (Азербайджан, Баку, Институт физики НАН) (ЗГР)
И.Г. Хидиров (Узбекистан, Ташкент, Институт ядерной физики НАН Узбекистана) (МПК)
С.Геруни (Армения, Ереван, Ереванский гос. ун-т) (МНКСП)
С.М. Раза (Пакистан, Кветта, Университет Белуджистана) (МПК)
С.З. Ильяс (Пакистан, Кветта, Университет Белуджистана) (МПК)
А.М. Пенджиев (Туркменистан, Ашхабат-32, Туркменский политехнический институт) (МПК)
В.Ф. Гременок (Белоруссия, Минск, Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников) (МНКСП)
В.А. Бутузов (Россия, Краснодар, ОАО «Южгеотепло»)
1-1-0-0 История солнечной энергетики
1-2-0-0 Солнечно-водородная энергетика
Т.Н. Везироглу (США, Майами, МАВЭ, UNIDO-ICHET) (ПТР)
1-2-1-0 Материалы для солнечно-водородной энергетики
1-3-0-0 Солнечные электростанции
1-3-1-0 Кремниевые солнечные электростанции
1-3-2-0 Космические солнечные станции
1-3-3-0 Фотозлементы
1-3-4-0 Фотовольтаический эффект в полупроводниковых структурах. Фотозлектрические модули
1-4-0-0 Наземные солнечные станции
1-4-1-0 Солнечные коллекторы
1-5-0-0 Солнечные города
1-5-1-0 Солнечный дом
1-5-2-0 Солнечные холодильные установки
1-5-3-0 Солнечные водоподъемные системы
1-5-4-0 Гелиоэнергетические установки
1-6-0-0 Солнечный транспорт
1-7-0-0 Концентраторы солнечного излучения



2. Ветроэнергетика

- И.З. Богуславский* (Россия, Москва, ОЭЭП РАН) (МПК)
В.Л. Окулов (Россия, Новосибирск, Сиб. отд. РАН)
Ван Куик Г.А.М. (Президент Европейской Академии Ветроэнергетики)
2-1-0-0 Ветроэнергетика и архитектура
2-2-0-0 Ветроэнергетика и экология
2-3-0-0 Уникальные решения ветроэнергетики
2-4-0-0 Парусная ветроэнергетика
2-5-0-0 Гибридные ветроустановки
2-6-0-0 История ветроэнергетики
2-7-0-0 Ветро-водородная энергетика
2-8-0-0 Электрогенераторы для ветроэнергетики
2-9-0-0 Новые конструкции ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения
2-10-0-0 Горизонтально-осевые ветроэнергетические установки
2-11-0-0 Вертикально-осевые ветроэнергетические установки Савониуса

- 2-12-0-0 Вертикально-осевые ветроэнергетические установки Дарье**
2-13-0-0 Ветрогелиоэнергетические установки
2-14-0-0 Будущее ветроэнергетики
2-15-0-0 Аэростатная ветроэнергетика
2-16-0-0 Материалы для ветроэнергетики
2-17-0-0 Моделирование на ЭВМ динамической составляющей скорости ветра в зависимости от времени
2-18-0-0 Комплексное моделирование ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения
2-19-0-0 Преобразование энергии в ветроэнергетических установках
2-20-0-0 Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология



3. Морская гидроэнергетика

- 3-1-0-0 История приливной энергетики**
А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
3-2-0-0 Энергетика морских волн
3-3-0-0 Энергетика морских течений



4. Геотермальная энергетика

- В.А. Бутузов* (Россия, Краснодар, ОАО «Южгеотепло»)
4-1-0-0 История геотермальной энергетики
4-2-0-0 Фундаментальные исследования в области геотермальной энергетики
4-3-0-0 Проблемы освоения геотермальной энергии
4-4-0-0 Роль моделирования и мониторинга при освоении геотермальной энергии. Оценка геотермального резерва
4-5-0-0 Геотермальные станции
4-5-1-0 Геотермальные электростанции
4-5-2-0 Геотермальные тепловые станции
4-6-0-0 Эффективность и надежность геотермальных тепловых и электрических станций
4-7-0-0 Геотермальные ресурсы стран мира и перспективы их освоения



5. Энергия биомассы

- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
5-1-0-0 Биогазовые установки
5-2-0-0 Термохимические газогенераторы
5-3-0-0 Энергия биомассы и экология



6. Малая гидроэнергетика

- С.Шатворян* (Армения, Ереван, Энергетический стратегический центр) (МНКСП)
6-1-0-0 Оборудование малых и микрогидроэлектростанций
6-2-0-0 Деривационные микрогидроэлектростанции
6-3-0-0 Малые АэроГЭС



7. Нетрадиционные источники возобновляемой энергии

- В.А. Хуснутдинов* (Россия, Москва, РАО «ЕЭС России») (МПК)
А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)



- 7-1-0-0 Применение льда в энергетике.
Ледяные электростанции
- 7-2-0-0 Использование холода вечной мерзлоты для термоста-
тирования бытовых и технических объектов
- 7-3-0-0 Физико-химические свойства льда
- 7-4-0-0 Теплофизические свойства льда
- 7-5-0-0 Термодинамические основы получения
и применения льда
- 7-6-0-0 Оборудование для исследования льда
- 7-7-0-0 Установки для получения льда
- 7-8-0-0 Способы и механизмы экстренного вскрытия льда для
спасения под водой
- 7-9-0-0 Бинарный лед и его применение
- 7-10-0-0 Применение льда для создания инженерно-техниче-
ских и архитектурных сооружений
- 7-11-0-0 Динамика и прочность льда. Динамика хрупкого раз-
рушения. Экспериментальные методы динамической механи-
ки разрушения льда
- 7-12-0-0 Численные и смешанные численно-эксперименталь-
ные методы динамической механики разрушения льда
- 7-13-0-0 Способы удаления ледяных покрытий
на водных объектах
- 7-14-0-0 Аккумуляция холода и применение
энергии льда
- 7-15-0-0 Транспортировка айсбергов и получение
пресной воды
- 7-16-0-0 Термоградиентная энергетика



8. Энергокомплексы на основе ВИЭ



II. НЕВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА



9. Атомная энергетика

- А.Я. Столяревский* (Россия, Москва, РИЦ «Курчатовский инсти-
тут») (МРК)
- А.Г. Чудин* (Россия, Москва, Федеральное Агентство
по атомной энергии РФ) (МНКСР)
- В.А. Афанасьев* (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)
- М.А. Прелас* (США, Коламбия, Университет Миссури) (МРК)
- 9-1-0-0 Атомно-водородная энергетика**
- Н.Н. Пономарев-Степной*, акад. РАН (Россия, Москва,
РИЦ «Курчатовский институт») (РНС)
- А.Я. Столяревский* (Россия, Москва, РИЦ «Курчатовский инсти-
тут») (МРК)
- В.Н. Фатеев* (Россия, Москва, РИЦ «Курчатовский
институт») (МРК)
- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТИЦ «ТАТА»)
- 9-1-1-0 История атомно-водородной энергетике**
- Н.Н. Пономарев-Степной*, акад. РАН (Россия, Москва, РИЦ
«Курчатовский институт») (РНС)
- А.Я. Столяревский* (Россия, Москва, РИЦ «Курчатовский инсти-
тут») (МРК)
- А.Л. Гусев* (Россия, Саров, НТИЦ «ТАТА»)
- 9-1-2-0 Высокотемпературные газовые реакторы (ВТГР) для
производства водорода высокотемпературными ($T = 1000\text{ }^\circ\text{C}$)
методами**
- 9-1-3-0 Быстрые реакторы с натриевым охлаждением (БН) для
получения среднетемпературного тепла ($T = 500\text{ }^\circ\text{C}$), производ-
ства синтетического газа и водорода**

- 9-1-4-0 Быстрые реакторы со свинцовым охлаждением (БРЕСТ)
как реакторы следующего поколения для получения высоко-
температурного тепла ($T > 500\text{ }^\circ\text{C}$)**

Г.Л. Хорасанов (Россия, Обнинск, ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И.
Лейбуноского») (МРК)

- 9-2-0-0 Атомная энергетика для транспортных средств**

И.В. Шаманин (Россия, Томск, Томский политехнический универ-
ситет) (МРК)

- 9-2-1-0 Радионуклидные источники тепла**

- 9-2-2-0 Радионуклидные термоэлектрические генераторы**

- 9-2-3-0 Термо- и радиационно-стимулированные фазовые прев-
ращения в сплавах внедрения (карбидах, нитридах, нитридо-
гидридах, карбогидридах и гидридах переходных металлов,
высокотемпературных сверхпроводящих материалах, интерме-
таллических соединениях)**



10. Взрывная энергетика

А.Л. Михайлов (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ ВНИИЭФ) (МРК)

Н.Н. Гердюков (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

А.А. Штерцер (Россия, Новосибирск, ООО «НПП «МАТЕМ»)
(МРК)

В.Н. Герман (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

- 10-1-0-0 Взрывные технологии**

- 10-2-0-0 Компьютерное моделирование задач взрывной
энергетики**

М.А. Сырунин (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ ВНИИЭФ)

- 10-2-1-0 Постановки задач взрывной энергетике**

- 10-2-2-0 Подвижные лагранжево-эйлеровы сетки**

- 10-3-0-0 Взрывная дейтериевая энергетика**

- 10-4-0-0 Взрывная энергетика для синтеза новых веществ**

- 10-4-1-0 Синтез и спекание материалов взрывом**

- 10-4-2-0 Ударно-волновое спекание материалов**

- 10-4-3-0 Компьютерное моделирование процессов ударно-вол-
нового спекания материалов**

- 10-5-0-0 Взрывчатые вещества**

- 10-6-0-0 Взрывные камеры**

А.А. Штерцер (Россия, Новосибирск, ООО «НПП «МАТЕМ»)
(МРК)

- 10-7-0-0 Экстремальные состояния вещества.**

- Детонация. Ударные волны**

- 10-8-0-0 Энергетические материалы и физика детонации**

- 10-9-0-0 Уравнения состояния и фазовые переходы**



III. ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



11. Термоядерная энергетика

В.Н. Лобанов (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

- 11-1-0-0 Исследования в области управляемого
термоядерного синтеза**

- 11-2-0-0 Рентгеновский термоядерный синтез**

- 11-3-0-0 Пучковый термоядерный синтез**

- 11-4-0-0 Инерциальный термоядерный синтез**

- 11-5-0-0 Изотопный эффект**

- 11-6-0-0 Криогенные тритиевые мишени**

- 11-7-0-0 Мишени высокого давления для исследования процес-
сов мюонного катализа ядерных реакций синтеза**

- 11-8-0-0 Международный проект термоядерного энергетическо-
го реактора ИТЭР**

- 11-9-0-0** Радиологическая защита и ядерная безопасность
11-10-0-0 Производство радиоизотопов и их применение
М.А. Казарян (Россия, Москва, ФИАН им. Лебедева) (МРК)
11-11-0-0 Топливный цикл и экология
11-12-0-0 Проектирование, строительство и эксплуатация ядерных исследовательских и энергетических реакторов
11-13-0-0 Промышленное производство компонентов и материалов, необходимых для использования в ядерных реакторах и их топливных циклах
11-14-0-0 Снятие с эксплуатации, дезактивация и обращение с отходами энергетических реакторов
11-15-0-0 Исследования в области технологии производства лазеров и их применения
11-16-0-0 Системы ТОКАМАК
11-17-0-0 Промежуточные системы с магнитным удержанием



IV. ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА



12. Водородная экономика

- Ф. Караосманоглу* (Турция, Стамбул, Стамбульский технический университет) (МРК)
З. Сен (Турция, Стамбул, Стамбульский технический университет) (МРК)
А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
12-1-0-0 История водородной энергетики
Т.Н. Везироглу (США, Майами, МАВЭ, UNIDO-ICHET) (ПГР)
А.Г. Галеев (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИХиммаш») (МРК)
12-2-0-0 Безопасность водородной энергетики
А.Г. Галеев (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИХиммаш») (МРК)
Я. Клеперис (Латвия, Рига, Университет Латвии) (МРК)
Л.Ф. Беловодский (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МНКРС)
12-2-1-0 Рекомбинаторы водорода
А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
12-2-2-0 Системы обдува инертными газами
12-2-3-0 Безопасность криогенных систем
12-2-4-0 Технологии безопасного использования водорода на борту транспортных средств
12-3-0-0 Газоаналитические системы и сенсоры водорода
Я. Клеперис (Латвия, Рига, Университет Латвии) (МРК)
А.М. Полянский (Россия, С.-Петербург, ООО «НПК Электронные пучковые технологии») (МРК)
В.М. Арутюнян, акад. НАН Армении (Армения, Ереван, Ереванский государственный университет) (РНС)
Ю.Шунман (Нидерланды, Делфт, Делфтский технический университет) (МНКРС)
Л.И. Трахтенберг (Россия, Москва, Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН)
12-4-0-0 Хранение водорода
Я. Клеперис (Латвия, Рига, Университет Латвии) (МРК)
О.Н. Сривастава (Индия, Варанаси, Университет Банарас Хинди) (МРК)
С.М. Алдошин, акад. РАН (Россия, Черногоровка, ИПХФ РАН) (РНС)
Б.П. Тарасов (Россия, Черногоровка, ИПХФ РАН) (МРК)
12-4-1-0 В углеродных наносистемах
О.Н. Ефимов (Россия, Черногоровка, ИПХФ РАН) (МРК)
Б.К. Гупта (Индия, Варанаси, Университет Банарас Хинди) (МРК)
А.В. Вахрушев (Россия, Ижевск, Институт прикладной механики УрО РАН) (МРК)
12-4-2-0 В инкапсулированном газообразном состоянии: в ми-

- кросферах, микрокапиллярах, пенометаллах, цеолитах и других соединениях
В.С. Коган (Украина, Харьков, ХФТИ) (МРК)
Е.Ф. Медведев (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)
А.Ф. Чабак (Россия, Москва, Академия перспективных технологий) (МРК)
12-4-3-0 В газообразном состоянии под давлением
А.С. Коротеев, акад. РАН (Россия, Москва, ФГУП «Центр Келдыша») (РНС)
12-4-3-1 В газообразном состоянии в крупных хранилищах
12-4-3-2 В газообразном состоянии в баллонах
12-4-4-0 В жидком состоянии
А.М. Архаров (Россия, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана) (МРК)
А.М. Домашенко (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)
Г.Г. Шеяков (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)
В.С. Травкин (США, Лос-Анджелес, Калифорнийский университет) (МРК)
В.С. Коган (Украина, Харьков, ХФТИ) (МРК)
И.Ф. Кузьменко (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МНКРС)
А.Г. Галеев (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИХиммаш») (МРК)
12-4-4-1 В криогенном жидком состоянии в стационарных хранилищах
12-4-4-2 В криогенном жидком состоянии на борту транспортных средств
Б.А. Соколов (Россия, Королев, РКК «Энергия» им. С.П. Королева) (МРК)
12-4-5-0 В химически связанном состоянии в жидких средах
12-4-6-0 В твердофазном связанном состоянии в металлгидридных системах
М.Д. Хэмpton (США, Орlando, Университет Центральной Флориды) (ЗГР)
Б.П. Тарасов (Россия, Черногоровка, ИПХФ РАН) (МНКРС)
С.П. Габуда (Россия, Новосибирск, ИНХ СО РАН) (МРК)
В.Л. Кожеевников (Россия, Екатеринбург, ИХТТ УрО РАН) (МРК)
12-4-7-0 В адсорбированном состоянии на криоадсорбентах
12-4-8-0 В комбинированных системах
12-4-9-0 Новые способы хранения водорода
12-5-0-0 Методы получения водорода
И.Ф. Кузьменко (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МНКРС)
В. В. Лунин, акад. РАН (Россия, Москва, МГУ) (РНС)
12-5-1-0 Радиолиз
М.А. Прелас (США, Коламбия, Университет Миссури-Коламбия) (МРК)
12-5-2-0 Электролиз
12-5-3-0 Термохимическое разложение воды
12-5-4-0 Разложение аммиака
В.А. Кириллов (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (МРК)
12-5-5-0 Каталитическая конверсия (риформинг) газообразных и жидких углеводородов
12-5-6-0 Неполное окисление углеводородов
12-5-7-0 Высокотемпературный метод
12-5-8-0 Гидраты
С.П. Габуда (Россия, Новосибирск, ИНХ СО РАН) (МРК)
12-5-9-0 Бортовые конверторные устройства преобразования органических веществ в водород
12-5-10-0 Генерирование водорода на борту в реакции взаимодействия воды с различными металлами (алюминий, магний и т. д.)
12-5-10-1 Механические и электрические способы удаления окисной пленки во время реакции
12-5-10-2 Химические способы удаления окисной пленки во время реакции
12-5-10-3 Ультразвуковые способы удаления окисной пленки во время реакции
12-5-10-4 Способы увеличения удельной поверхности металлов реагентов



12-5-10-5 Термические и барические методы интенсификации реакции генерации водорода

12-5-10-6 Устройства для генерации водорода в реакции взаимодействия воды и металлов для бортового применения

12-5-10-7 Устройства для генерации водорода в реакции взаимодействия воды и металлов для бытового применения

12-5-10-8 Устройства для генерации водорода в реакции взаимодействия воды и металлов для промышленной энергетики

12-5-10-9 Физико-математические модели описания процессов генерации водорода

12-5-10-10 Перспективные направления развития метода для воплощения его на борту транспортных средств

12-5-11-0 Получение водорода из глубинного морского сероводорода

И.М. Неклюдов (Украина, Харьков, Харьковский физико-технический институт) (МРК)

Н.А. Азаренков (Украина, Харьков, Харьковский физико-технический институт) (МРК)

В.И. Ткаченко (Украина, Харьков, Харьковский физико-технический институт) (МРК)

12-5-12-0 Новые способы получения водорода

12-6-0-0 Транспортирование водорода

А.Г. Галеев (Россия, Сергиев Посад, ФГУП «НИИХиммаш») (МРК)

12-6-1-0 Транспортирование жидких криогенных продуктов по трубопроводам

А.М. Домашенко (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)

12-6-2-0 Охлаждение магистралей криогенных систем

12-6-3-0 Неустановившиеся процессы в криогенных системах

12-7-0-0 Топливные элементы

Б.А. Соколов (Россия, Королев, РКК «Энергия» им. С.П. Королева) (МРК)

Ю.Н. Шалимов (Россия, Воронеж, ВГУ) (МРК)

В.П. Пахомов (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)

12-7-1-0 Разработка и производство топливных элементов

12-7-1-1 Мембраны для топливных элементов

12-7-1-2 Компьютерное моделирование функционирования топливных элементов

12-7-2-0 Применение топливных элементов

12-7-2-1 Устройства питания на топливных элементах с конверсией метанола в водород

12-7-3-0 Топливные элементы с предварительной обработкой водородсодержащего топлива

12-8-0-0 Конструкционные материалы

П.Г. Бережко (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

А. М. Полянский (Россия, С.-Петербург, ООО «НПК Электронные пучковые технологии») (МРК)

В.М. Чертов (Россия, Москва) (МРК)

Ю.Н. Шалимов (Россия, Воронеж, ВГУ) (МРК)

П. Сан-Грегвар (Франция, Тулон-Вар, Университет Тулон-Вара) (ЗГР)

А.Т. Пономаренко (Россия, Москва, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН) (МНКСП)

Л.В. Сивак (Россия, Пермь, ПГУ) (МНКСП)

А.А. Курдюмов (Россия, С.-Петербург, СПбГУ) (МНКСП)

М.В. Гольцова (Украина, Донецк, ДонНТУ) (МНКСП)

Я.И. Бляшко (Россия, С.-Пб., АОЗТ «МНТО ИНСЭТ») (МРК)

Н.М. Власов (Россия, Подольск, НИИ НПО «Луч») (МРК)

И.И. Федик (Россия, Подольск, НИИ НПО «Луч») (МРК)

12-8-1-0 Водород в металлах и сплавах

В.А. Гольцов (Украина, Донецк, ДонНТУ) (МРК)

Л.Ф. Гольцова (Украина, Донецк, ДонНТУ) (МРК)

12-8-2-0 Водородная деградация

12-8-3-0 Системы наводороживания конструкционных материалов

12-8-4-0 Статическая и динамическая прочность материалов

Н.Н. Гердюков (Россия, Саров, ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)

12-8-5-0 Газары. Применение газаров

12-8-6-0 Электроды для термовакуумных процессов. Вакуумные электроды сопротивления

Э.Н. Мармер (Россия, Москва, ОАО «ВНИИЭТО») (МРК)

12-8-7-0 Новые конструкционные материалы для объектов альтернативной энергетики

12-9-0-0 Методы получения синтез-газа

А.Я. Столяревский (Россия, Москва, РНЦ «Курчатовский институт») (МРК)

12-9-1-0 Адиабатическая конверсия природного газа

12-10-0-0 Транспортные средства и приводы на водородном топливе

Т. Гертиг (Германия, Берлин) (МРК)

А.Л. Дмитриев (Россия, С.-Петербург, РНЦ «Прикладная химия») (МРК)

А.М. Домашенко (Россия, Балашиха, ОАО «Криогенмаш») (МРК)

Б.А. Соколов (Россия, Королев, РКК «Энергия» им. С.П. Королева) (МРК)

А.Ю. Раменский (Россия, Москва, «Аудит-Премьер») (МНКСП)

В.С. Соколов (Россия, С.-Петербург) (МНКСП)

12-11-0-0 Водородные автозаправочные станции

12-12-0-0 Водород для энергообеспечения зданий (водородные мини-электростанции на базе топливных элементов)



V. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



13. Наноструктуры

А.М. Липанов, акад. РАН (Россия, Ижевск, Институт прикладной механики УрО РАН) (МРК)

Ю.М. Шульга (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН) (МРК)

В.И. Кодолов (Россия, Ижевск, Научно-образовательный центр химической физики и мезоскопии УдНЦ УрО РАН) (МНКСП)

Ю.С. Нечаев (Россия, Москва, ФГУП «ГНЦ РФ – Центральный институт черной металлургии им. И.П. Бардина») (МНКСП)

Б.Л. Тарасов (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН) (МНКСП)

Ю.Д. Третьяков, акад. РАН (Россия, Москва, ФНМ МГУ) (РНС)

13-1-0-0 Наносистемы: синтез, свойства, применение

Е.А. Гудилин (Россия, Москва, ФНМ МГУ) (РНС)

В.В. Куршева (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА») (МРК)

13-2-0-0 Фуллереновые структуры и углеродные наноматериалы для теплоизоляции

13-3-0-0 Фуллереновые структуры и углеродные наноматериалы для сенсоров водорода

М.В. Воробьева (Россия, Москва, ГИРЕДМЕТ) (МРК)

В.М. Арутюнян, акад. НАН Армении (Армения, Ереван, Ереванский государственный университет) (РНС)

13-4-0-0 Компьютерное моделирование синтеза углеродных наноматериалов с заданными свойствами

13-5-0-0 Углеродные наноструктуры для автотранспорта



VI. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭЭ



14. Термодинамический анализ в альтернативной энергетике

В.А. Хуснутдинов (Россия, Москва, РАО «ЕЭС России») (МРК)

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА») (МРК)



14-1-0-0 Термодинамический анализ основных энергетических процессов в альтернативной энергетике
14-2-0-0 Эксергетический анализ основных энергетических процессов в альтернативной энергетике



ВИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ



15. Основные проблемы энергетики и альтернативной энергетики

15-1-0-0 Аккумуляция электрической энергии
15-2-0-0 Сверхпроводящие материалы. Сверхпроводимость. Сверхпроводимость в энергетике
15-3-0-0 Новые циклы и схемы термотрансформаторов
15-4-0-0 Проблемы освещения мегаполисов



16. Применение гелия и специальных материалов в транспортных средствах

Ю.А. Рыжов, акад. РАН (Россия, Москва, Международный инженерный университет) (РНС)
16-1-0-0 Дирижабли для перевозки крупногабаритных грузов
16-2-0-0 Дирижабли для контроля за чрезвычайными ситуациями в мегаполисах: автоинспекция, пожарная безопасность, антитерроризм, наблюдение за техническим и экологическим состоянием промышленных зданий и сооружений. Энергонадзор (контроль тепловых утечек зданий в масштабе города)
16-3-0-0 Пожарные, нейтрализационные, полицейские дирижабли



17. Энергетика и экология

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
О.Л. Фиговский (Израиль, Мигдал Ха'Емек, Израильский исследовательский центр «Polymate») (МРК)
М.В. Воробьева (Россия, Москва, ГИРЕДМЕТ) (МРК)
17-1-0-0 Парниковый эффект
17-2-0-0 Экологические проблемы мегаполисов
17-3-0-0 Экология воздушной среды и космического пространства
17-4-0-0 Экология водных ресурсов
17-5-0-0 Проблемы вредных выбросов в атмосферу тепловыми электрическими станциями
17-6-0-0 Проблемы загрязнения почвы традиционными энергоносителями
17-7-0-0 Экологический туризм и экокурорты
17-8-0-0 Проблемы переработки промышленных и бытовых отходов



18. Энергоэффективные способы и устройства разделения и очистки агрессивных газовых смесей

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
А.А. Боброва (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ)



19. Экология и энергоресурсы пустынь



20. Вода, ее свойства. Водоподготовка, применение



21. Вибрация и акустические воздействия энергетических объектов на окружающую среду



VIII. ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА, СМИ, ПОДДЕРЖКА ГОСУДАРСТВА



22. Законодательная база

П.Б. Шелищ (Россия, Москва, Государственная Дума РФ, президент НАВЭ) (МНКСР)

22-1-0-0 Законодательная база альтернативной энергетики в России
22-2-0-0 Законодательное обеспечение инновационного развития водородной энергетики
22-3-0-0 Законодательная база альтернативной энергетики стран СНГ
22-4-0-0 Законодательная база экологии



IX. КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ



23. Образование и научно-исследовательские центры

Л.А. Илькаева (Россия, Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МНКСР)
Б.Ф. Реутов (Россия, Москва, Федеральное агентство образования и науки РФ) (МРК)
А.В. Чувиковский (Россия, Саров, ИПК РФЯЦ-ВНИИЭФ) (МРК)
Ю.П. Щербак (Россия, Саров, СарФТИ) (МНКСР)
Ж.-П. Концен (Бельгия, Кармановский институт гидрогазодинамики) (МРК)
23-1-0-0 Образовательная деятельность в области альтернативной энергетики и экологии
23-1-1-0 Образовательная деятельность в рамках школьной программы.
23-1-2-0 Образовательная деятельность в вузах
23-2-0-0 Водородные технопарки, награды
23-3-0-0 Молодежь в науке и технике



X. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЭЭ



24. Экономические аспекты

24-1-0-0 Инвестиционная привлекательность различных стран мира и фирм
24-2-0-0 Запасы традиционных энергоресурсов стран экспортеров и мировые запасы
24-3-0-0 Государственные научно-технические программы развития водородной энергетики

24-4-0-0 Экономический анализ

В.А. Хуснутдинов (Россия, Москва, РАО «ЕЭС России») (МРК)

24-5-0-0 Бизнес-планирование

**XI. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, УСТРОЙСТВА И ИХ ВНЕДРЕНИЕ****25. Нанотехнологии для альтернативной энергетики**

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

В.В. Куриева (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

О.Н. Ефимов (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН)

25-1-0-0 Нанотехнологии в процессах синтеза оксидов металлов, в производстве твердооксидных топливных элементов**25-2-0-0** Нанотехнологии в изготовлении клеточных каркасов для медицинских целей**25-3-0-0** Радиационно-химические нанотехнологии в производстве новых типов фторполимерных композиционных материалов**26. Инновационные решения в области энергетики и альтернативной энергетики**

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**27. Информационные технологии****XII. ТРАНСПОРТНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА****28. Криогенные и пневматические транспортные средства**

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

28-1-0-0 Криогенный азотный транспорт**28-2-0-0** Автомобили на инертных газах для опасных объектов (пожарные, служебные аэропортов, складов горючесмазочных материалов, для взрывоопасных химических производств и др.)**28-3-0-0** Пневматические транспортные средства**29. Бортовые аккумуляторы****29-1-0-0** Тепловые аккумуляторы энергии

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

29-1-1-0 Температура выше 273 К**29-1-2-0** Температура ниже 273 К**29-1-3-0** Температура ниже 77 К**29-2-0-0** Маховичные аккумуляторы энергии**29-3-0-0** Электрические аккумуляторы энергии**29-4-0-0** Пружинные аккумуляторы энергии**29-5-0-0** Пневматические аккумуляторы энергии**29-6-0-0** Химические аккумуляторы энергии**30. Мультирежимные транспортные средства**

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

О.Б. Баклицкая (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**31. Системы внешней и бортовой рекуперации энергии транспортных средств**

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

**32. Литий-ионные источники тока и суперконденсаторы****XIII. ДОБЫЧА ПРИРОДНЫХ ИСКОПАЕМЫХ****33. Ювенильный водород в процессах геотектоники и геохимии**

С.В. Дигонский (Россия, Екатеринбург, ФГУП «Урангеологоразведка») (МРК)

В.Л. Сывороткин (Россия, Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова) (МРК)

33-1-0-0 Роль водорода в химическом строении мироздания**33-2-0-0** Движущие силы развития Земли и планет**33-3-0-0** Водород в ядре Земли**33-4-0-0** Геология и геохимия природных газов зон глубинных разломов**33-5-0-0** Транспорт ювенильного водорода через толщу Земли и формирование электроразряженных зон**33-6-0-0** Природный синтез углеродистых веществ**33-7-0-0** Глубинная дегазация Земли, глобальные катастрофы и аномальные явления**XIV. КАТАЛИЗ В АЭЭ****34. Катализ**

З.Р. Исмагилов (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (МРК)

С.М. Алдошин, акад. РАН (Россия, ИПХФ РАН, Черноголовка) (РНС)

В.Н. Пармон, акад. РАН (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (РНС)

В.А. Кириллов (Россия, Новосибирск, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) (МРК)

О.Н. Ефимов (Россия, Черноголовка, ИПХФ РАН) (МРК)

Н.Н. Вершинин (Россия, ИПХФ РАН, Черноголовка)

34-1-0-0 Каталитические методы синтеза альтернативного топлива**34-2-0-0** Катализ в совмещенных схемах «производство энергии и получение полезных продуктов из природного газа»**34-3-0-0** Катализ в генерации рабочего тела в газотурбинных установках**34-4-0-0** Катализ в топливных элементах**34-5-0-0** Катализ в процессах получения синтез-газов и водорода

- 34-6-0-0 Каталитические методы очистки водорода
 34-7-0-0 Катализ в очистке промышленных газовых выбросов энергетических систем
 34-8-0-0 Катализ в системах очистки технических вод
 34-9-0-0 Фотокаталитические и электрокаталитические методы получения водорода
 34-10-0-0 Разработка и исследование свойств материалов для формирования каталитических слоев в топливных элементах
 34-11-0-0 О механизмах каталитического действия. Влияние природы металлов и степени их окисления на каталитическую активность
 34-12-0-0 Наноконпозиты для применения в качестве катализаторов. Влияние размерного фактора на каталитическую активность
 34-13-0-0 Альтернативные катализаторы без применения платины
 34-14-0-0 Проблемы отравления катализаторов
 34-15-0-0 Носители катализаторов: дизайн, синтез, свойства
А.Я. Вуль (Россия, С.-Пб., ФТИ им. Иоффе)
 34-16-0-0 Каталитические слои для топливных элементов в планарном исполнении
 34-17-0-0 Золь-гель метод для получения катализаторов и носителей катализаторов
 34-18-0-0 Каталитическая конверсия топлив и мембранные технологии в процессах производства водородсодержащих топливных композиций и особо чистого водорода



XV. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ



35. Энергосберегающие технологии, системы, материалы и приборы

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)



XVI. ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА



36. Проблемы нефтегазовой и угольной промышленности

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

- 36-1-0-0 Постановка задач для ученых и инженеров с целью формулировки ТЗ для НИР и НИОКР с учетом экологического аспекта



37. Нефтегазовые трубопроводы и экология окружающей среды

Г.И. Сарпулова (Россия, Иркутск, НИТУ)

- 37-1-0-0 Защита от образования метаногидратов при добыче газа



XVII. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА



38. Оптические явления и устройства

РНС — Редакционный научный совет; МРК — Международный редакционный комитет;
 МНКСП — Международный научно-консультативный совет редакции;
 ЭС — Экспертный совет; МСП — Международный совет рецензентов



XVIII. ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



39. Газотурбинные технологии



XIX. ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ПРОИЗВОДСТВА



XX. ПРОБЛЕМЫ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

- 40-1-0-0 Экологически чистые технологии изготовления древесных изделий без применения синтетических смол-связующих



XXI. НАУКИ О ЗЕМЛЕ



XXII. ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ АЭЭ



41. Информация

- 41-1-0-0 Краткие сообщения
А.И. Саликов (Россия, Москва, ДОР ЦНИИАтоминформ) (МНКСП)
Е.М. Тарараева (Россия, Москва, Дор ЦНИИАтоминформ) (МНКСП)
Е.А. Гудилин (Россия, Москва, ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова) (РНС)
И.В. Лобанова (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)
 41-2-0-0 Периодические издания
 41-3-0-0 Интернет-ресурсы
 41-4-0-0 Научные биографии ученых мира
 41-5-0-0 Научные фонды, научные проекты
 41-6-0-0 Международные научные конференции
 41-7-0-0 Рекламные материалы научных организаций, инвестиционных фирм и фирм-производителей
 41-8-0-0 Новые научные книги
 41-9-0-0 Интеллектуальная собственность
 41-10-0-0 Энциклопедия альтернативной энергетики. Термины и определения
 41-11-0-0 Отзывы, письма в редакцию, краткие сообщения
 41-12-0-0 Обращения членов редакционного научного совета
 41-13-0-0 Энергетические компании
 41-14-0-0 Новости Редколлегии
 41-15-0-0 Научные организации
 41-16-0-0 Новости науки и техники


I. RENEWABLE ENERGY

1. Solar energy

- A. Steinfeld* (Switzerland, Zurich, ETH-Swiss Federal Institute) (IEB)
G.I. Isakov (Azerbaijan, Baku, Institute of Physics of NAS of Azerbaijan) (DECH)
I.G. Khidirov (Uzbekistan, Tashkent, Institute of Nuclear Physics of NAS of Uzbekistan) (IEB)
S. Geruny (Armenia, Yerevan, Yerevan State University) (IEB)
S.M. Raza (Pakistan, Quetta, University Of Balochistan) (IEB)
S.Z. Ilyas (Pakistan, Quetta, University Of Balochistan) (IEB)
A.M. Pendjiev (Turkmenistan, Ashkhabat-32, Turkmenian Polytechnic Institute) (IEB)
V.F. Gremenok (Belorussia, Minsk, Joint Institute of Solid State and Semi-conductor Physics) (IEAB)
V.A. Butuzov (Russia, Krasnodar, «Yuzhgeoteplo»)
1-1-0-0 History of solar energy
1-2-0-0 Solar-hydrogen energy
T.N. Veziroglu (USA, Miami, IAHE, UNIDO-ICHET) (HECH)
1-2-1-0 Materials for solar-hydrogen energy
1-3-0-0 Solar power plants
1-3-1-0 Silicone solar thermal electric plants
1-3-2-0 Space solar stations
1-3-3-0 Photoelectric cell
1-3-4-0 Photovoltaic effect in semiconductor structures. Photoelectric modules
1-4-0-0 Ground solar stations
1-4-1-0 Solar collectors
1-5-0-0 Solar cities
1-5-1-0 Solar buildings
1-5-2-0 Solar refrigerators
1-5-3-0 Solar water-lifting systems
1-5-4-0 Solar energy units
1-6-0-0 Solar transport
1-7-0-0 Solar radiation concentrators


2. Wind energy

- I.Z. Boguslavskiy* (Russia, Moscow, DBREPE RAS) (IEB)
V.L. Okulov (Russia, Novosibirsk, SB RAS)
G.A.M. van Kuik (Netherlands, Delft, Wind Energy Research Institute)
2-1-0-0 Wind Energy and Architecture
2-2-0-0 Wind Energy and Ecology
2-3-0-0 Unique Wind Energy Solutions
2-4-0-0 Sail-Driven Wind Energy
2-5-0-0 Hybrid Wind Turbines
2-6-0-0 History of Wind Energy
2-7-0-0 Combined Wind and Hydrogen Energy
2-8-0-0 Electric Power Generators for Wind Energy
2-9-0-0 New Designs of Vertical-Axis Wind Turbines
2-10-0-0 Horizontal-Axis Wind Turbines
2-11-0-0 Savonius Vertical-Axis Wind turbines
2-12-0-0 Darrius Vertical-Axis Wind Turbines
2-13-0-0 Combined Wind and Solar Power Plants

- 2-14-0-0 Future of Wind Energy**
2-15-0-0 Balloon-Based Wind Energy
2-16-0-0 Wind Energy Materials
2-17-0-0 Computer Simulations of the Time Profile of Dynamic Wind Velocity Component
2-18-0-0 Integrated Modeling of Vertical-Axis Wind Turbines
2-19-0-0 Energy Conversion in Wind Turbines
2-20-0-0 Wind Energy Applications. Engineering, Economy, Ecology


3. Marine hydroenergetics

- 3-1-0-0 History of energy of tides**
A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)
3-2-0-0 Sea waves energy
3-3-0-0 Sea tide energy


4. Geothermal energy

- V.A. Butuzov* (Russia, Krasnodar, «Yuzhgeoteplo»)
4-1-0-0 History of geothermal energy
4-2-0-0 Basic research into geothermal energy
4-3-0-0 Problems of geothermal energy assimilation
4-4-0-0 Role of modeling and monitoring in geothermal energy assimilation. Appraisal of geothermal resources
4-5-0-0 Geothermal plants
4-5-1-0 Geothermal power plants
4-5-2-0 Geothermal heat plants
4-6-0-0 Efficiency and reliability of geothermal heat and power plants. Major ways to improve the efficiency of geothermal heat and power plants
4-7-0-0 Geothermal resources of world countries and prospects of their development


5. Energy of biomass

- S.A. Markov* (USA, Greencastle, DePauw University) (IEB)
A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)
5-1-0-0 Biogas plants
5-2-0-0 Thermochemical gas generators
5-3-0-0 Energy of biomass and ecology


6. Small hydroenergetics

- S. Shatvoryan* (Armenia, Yerevan, Energy Strategy Center) (IEB)
6-1-0-0 Equipment for small and micro hydro-power plants (HPP)
6-2-0-0 Derivation micro hydro-power plants
6-3-0-0 Small AeroHPPs


7. Unconventional sources of renewed energy

- V.A. Khusnutdinov* (Russia, Moscow, RAO UES of Russia) (IEB)
A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)
7-1-0-0 Application of ice in energy. Glacial power stations

- 7-2-0-0 Application of cold of permafrost for thermostatic control of domestic and process structures
 7-3-0-0 Physical and chemical properties of ice
 7-4-0-0 Thermal properties of ice
 7-5-0-0 Thermodynamic basis for production and application of ice
 7-6-0-0 Equipment for ice testing
 7-7-0-0 Facilities for ice production
 7-8-0-0 Methods and machinery for ice emergent break up for safety depth devices and over-land vehicles undergoing disaster
 7-9-0-0 Binary ice in science and technique
 7-10-0-0 Application of ice for construction of engineering and technical, and architecture structures
 7-11-0-0 Ice dynamics and strength. Embrittlement dynamics. Experimental methods of ice breaking up dynamic mechanics
 7-12-0-0 Numerical and combined numerical and experimental methods of ice breaking up dynamic mechanics
 7-13-0-0 Techniques for removing ice from water reservoirs
 7-14-0-0 Cold storage and application
 7-15-0-0 Transport of icebergs and production of fresh water
 7-16-0-0 Thermogradient energy

carbohydrides and hydrides of transition metals, high-temperature, super-conducting materials, intermetallic composition)



10. Explosion energy

- A.L. Mikhailov* (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)
N.N. Gerdyukov (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)
A.A. Sterzer (Russia, Novosibirsk, MATEM Co. Ltd) (IEB)
V.N. German (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)
10-1-0-0 Explosion technologies
10-2-0-0 Computer simulation of problems for explosion energy
M.A. Syrunin (Russia, Sarov, IEB RFNC-VNIIEF)
10-2-1-0 Setting up problems for explosion energy
10-2-2-0 Mobile Lagrangian and Euler grids
10-3-0-0 Explosion deuterium energy
10-4-0-0 Explosion energy for syntheses of new materials
10-4-1-0 Materials synthesis and sticking by the explosion
10-4-2-0 Shock-wave sticking
10-4-3-0 Computer modelling of processes of material shock-wave sticking
10-5-0-0 Explosives
10-6-0-0 Blasting chambers
A.A. Sterzer (Russia, Novosibirsk, MATEM Co. Ltd) (IEB)
10-7-0-0 Extremal state of matter. Detonation. Shock waves
10-8-0-0 Energy materials and physics of detonation
10-9-0-0 Equations of the state and phase transition

8. RES based power complexes



II. NONRENEWABLE energy



9. Atomic energy

- A.Ya. Stolyarevskiy* (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (IEB)
A.G. Chudin (Russia, Moscow, Federal Agency for Nuclear Energy) (IEAB)
V.A. Afanas'ev (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)
M.A. Prelas (USA, Columbia, University of Missouri) (IEB)
9-1-0-0 Atomic-hydrogen energy
N.N. Ponomaryov-Stepnoy, Acad. RAS (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (SEB)
A.Ya. Stolyarevskiy (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (IEB)
V.N. Fateev (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (IEB)
A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)
9-1-1-0 History of atomic-hydrogen energy
N.N. Ponomaryov-Stepnoy, Acad. RAS (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (SEB)
A.Ya. Stolyarevskiy (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (IEB)
A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)
9-1-2-0 High-temperature gas reactors (HTGR) for hydrogen production via high-temperature processes
9-1-3-0 Fast reactors with sodium cooling (SC) to produce midtemperature heat, and synthesis gas and hydrogen
9-1-4-0 Fast reactors with lead cooling as reactors of future generation to produce high-temperature heat
G.L. Khorasanov (Obninsk, SSC of the RF – Institute for Physics and Power Engineering Named After A.I. Leypunsky) (IEB)
9-2-0-0 Atomic energy for vehicles
I.V. Shamanin (Russia, Tomsk, Tomsk Polytechnical Univ.) (IEB)
9-2-1-0 Radionuclide heat sources
9-2-2-0 Radionuclide thermoelectric generators
9-2-3-0 Thermo- and radiation-stimulated phase transformation in alloys incorporated (carbides, nitrides, nitrides-hydrides,



III. THERMONUCLEAR ENERGY



11. Thermonuclear energy

- V.N. Lobanov* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)
11-1-0-0 Investigations on the controlled thermonuclear fusion
11-2-0-0 X-ray thermonuclear fusion
11-3-0-0 Beam fusion
11-4-0-0 Inertial fusion
11-5-0-0 Isotope effect
11-6-0-0 Cryogenic tritium targets
11-7-0-0 High-pressure targets designed for research of muonic catalysis processes in nuclear fusion
11-8-0-0 International project of thermonuclear fusion reactor, ITER
11-9-0-0 Radiological protection and nuclear security
11-10-0-0 Production of radioisotopes and application
11-11-0-0 Fuel cycle and ecology
11-12-0-0 Design, construction and maintenance of nuclear research and power reactors
11-13-0-0 Production of components and materials required for application in nuclear reactors and fuel cycles thereof
11-14-0-0 TOKAMAK systems
11-15-0-0 Auxiliary magnetocumulative systems



IV. HYDROGEN ECONOMY



12. Hydrogen economy

F. Karaosmanoglu (Turkey, Istanbul, Istanbul Technical Univ.) (IEB)

Z. Sen (Turkey, Istanbul, Istanbul Technical University) (IEB)

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)

12-1-0-0 History of hydrogen economy

T.N. Veziroglu (USA, Miami, IAHE, UNIDO-ICHET) (HECH)

A.G. Galeev (Russia, Sergiev Posad, JSC «NIIHIMMASH») (IEB)

12-2-0-0 Safety of hydrogen energy

A.G. Galeev (Russia, Sergiev Posad, JSC «NIIHIMMASH») (IEB)

J. Kleperis (Latvia, Riga, University of Latvia) (IEB)

L.F. Belovodskiy (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEAB)

12-2-1-0 Hydrogen recombinators

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)

12-2-2-0 Systems of inert gas blowing off

12-2-3-0 Ensuring of the safe operation of cryogenic systems

12-2-4-0 Safe application of hydrogen on board the vehicle

12-3-0-0 Gas analytical systems and hydrogen sensors

J. Kleperis (Latvia, Riga, University of Latvia) (IEB)

A.M. Polyansky (Russia, S.-Petersburg, «Electronic & Beam Technologies Ltd.») (IEB)

V.M. Aroutiounian, Academician NAS of Armenia (Armenia, Yerevan, Yerevan State University) (SEB)

J. Schoonman (Netherlands, Delft, Delft University of Technology) (IEAB)

L.I. Trakhtenberg (Russia, Moscow, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics RAS) (IEB)

12-4-0-0 Hydrogen storage

J. Kleperis (Latvia, Riga, University of Latvia) (IEB)

O.N. Srivastava (India, Varanasi, Banaras Hindu University) (IEB)

S.M. Aldoshin, Acad. RAS (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (SEB)

B.P. Tarasov (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

12-4-1-0 Hydrogen storage in carbon nanosystems

O.N. Efimov (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

B.K. Gupta (India, Varanasi, Banaras Hindu University) (IEB)

A.V. Vakhroushev (Russia, Izhevsk, Institute of Applied Mechanics of Ural branch of RAS) (IEB)

12-4-2-0 Hydrogen storage in an encapsulated gaseous state: in microspheres, in foam metals, in zeolites and others

V.S. Kogan (Ukraine, Khar'kov, NSC Kharkov Institute of Physics and Technology) (IEB)

A.F. Chabak (Russia, Moscow, Academy of perspective technologies) (IEB)

E. F. Medvedev (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)

12-4-3-0 Hydrogen storage in gaseous state under pressure

A.S. Koroteev, Academician RAS (Russia, Moscow, Keldysh Research Center) (SEB)

12-4-3-1 Hydrogen storage in gaseous state in large reservoirs

12-4-3-2 Hydrogen storage in gaseous state in tank

12-4-4-0 Hydrogen storage in liquid state

A.M. Arkharov (Russia, Moscow, Bauman Moscow State Technical University) (IEB)

A.M. Domashenko (Russia, Balashikha, «Cryogenmash») (IEB)

A.A. Makarov (Russia, Sergiev Posad, JSC «NIIHIMMASH») (IEB)

G.G. Shevyakov (Russia, Balashikha, JSC «Cryogenmash») (IEB)

V.S. Travkin (USA, Los Angeles, University of California) (IEB)

V.S. Kogan (Ukraine, Khar'kov, NSC Kharkov Institute of Physics and Technology) (IEB)

I.F. Kuz'menko (Russia, Balashikha, JSC «Cryogenmash») (IEAB)

A.G. Galeev (Russia, Sergiev Posad, JSC «NIIHIMMASH») (IEB)

12-4-4-1 Hydrogen storage in cryogenic liquid state in large reservoirs

12-4-4-2 Hydrogen storage in cryogenic liquid state on board the vehicles

B.A. Sokolov (Russia, Korolyov, S.P. Korolyov Energia RSC) (IEB)

12-4-5-0 Hydrogen storage in chemically-bonded state in liquid media

12-4-6-0 Hydrogen storage in solid phase state in metal hydride systems

M.D. Hampton (USA, Orlando, Univ. of Central Florida) (DECH)

B.P. Tarasov (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

S.P. Gabuda (Russia, Novosibirsk, IIC SO RAS) (IEB)

V.L. Kozhevnikov (Russia, Ekaterinburg, ISSC Ural Branch of RAS) (IEB)

12-4-7-0 Hydrogen storage in combined systems

12-4-8-0 Hydrogen storage in adsorbed state in cryogenic adsorbents

12-4-9-0 Novel methods of hydrogen storage

12-5-0-0 Hydrogen production methods

I.F. Kuz'menko (Russia, Balashikha, JSC «Cryogenmash») (IEAB)

V.V. Lunin, Acad. RAS (Russia, Moscow, M.V. Lomonosov MSU)

12-5-1-0 Radiolysis

M.A. Prelas (USA, Columbia, University of Missouri-Columbia) (IEB)

12-5-2-0 Electrolysis

12-5-3-0 Hydrogen production via thermochemical dissociation of water

12-5-4-0 Hydrogen production by ammonia decomposition

V.A. Kirillov (Russia, Novosibirsk, Borekov Institute of Catalysis) (IEB)

12-5-5-0 Method of catalytic conversion (reforming) of gaseous and liquid hydrocarbons

12-5-6-0 Hydrogen production by partial oxidation of hydrocarbons

12-5-7-0 High-temperature process for hydrogen production

12-5-8-0 Hydrates

S.P. Gabuda (Russia, Novosibirsk, IIC SO RAS) (IEB)

12-5-9-0 Hydrogen production on board of the vehicle from organic fuels

12-5-10-0 On board hydrogen production via reaction of interaction of water and metals (aluminium, magnesium etc.)

12-5-10-1 Mechanic and electric methods of removal of oxide layer during reaction

12-5-10-2 Chemical methods of removal of oxide layer during reaction

12-5-10-3 Ultrasonic methods of removal of oxide layer during reaction

12-5-10-4 Methods of increase of specific surface of metals

12-5-10-5 Thermal and pressure methods of intensification of hydrogen production

12-5-10-6 Devices for on board hydrogen production via reaction of interaction of water and metals

12-5-10-7 Devices for hydrogen production via reaction of interaction of water and metals for domestic applications

12-5-10-8 Devices for hydrogen production via reaction of interaction of water and metals for commercial applications

12-5-10-9 Physico-mathematical model of processes of hydrogen production

12-5-10-10 Novel lines of development of method for on-board application

12-5-11-0 Hydrogen production from deep-sea hydrogen sulphide

I.M. Nekhyudov (Ukraine, Khar'kov, Khar'kov Physical Technical Institute) (IEB)

N.A. Azarenkov (Ukraine, Khar'kov, Khar'kov Physical Technical Institute) (IEB)

V.I. Tkachenko (Ukraine, Khar'kov, Khar'kov Physical Technical



Institute) (IEB)

12-5-12-0 Novel hydrogen production methods**12-6-0-0 Hydrogen transport***A.G. Galeev* (Russia, Sergiev Posad, JSC «NIIHIMMASH») (IEB)**12-6-1-0 Transport of liquid cryogenic products by pipelines***A.M. Domashenko* (Russia, Balashikha, JSC «Cryogenmash») (IEB)**12-6-2-0 Cooling of cryogenic system mains****12-6-3-0 Transient processes in cryogenic systems****12-7-0-0 Fuel cells***B.A. Sokolov* (Russia, Korolyov, S.P. Korolyov Energia RSC) (IEB)*Yu.N. Shalimov* (Russia, Voronezh, VSTU) (IEB)*V.P. Pakhomov* (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (IEB)**12-7-1-0 Research and production of fuel cells****12-7-1-1 Membranes for fuel cells****12-7-1-2 Computer simulation of fuel cell operation****12-7-2-0 Fuel cells application****12-7-2-1 Power supply on fuel cells with methanol conversion for portable devices****12-7-3-0 Fuel cells with hydrogenous fuel pre-processing****12-8-0-0 Structural materials***P.G. Berezhko* (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)*A.M. Polyansky* (Russia, S.-Petersburg, «Electronic & Beam Technologies Ltd.») (IEB)*V.M. Chertov* (Russia, Moscow) (IEB)*Yu.N. Shalimov* (Russia, Voronezh, VSTU) (IEB)*P.Saint-Gregoire* (France, University de Toulon et du Var) (DECH)*F.A. Lewis* (Great Britain, Belfast, The Queen's University of Belfast) (SEB)*A.T. Ponomarenko* (Russia, Moscow, Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials of RAS) (IEAB)*L.V. Spivak* (Russia, Perm', Perm' State University) (IEAB)*M.V. Gol'tsova* (Ukraine, Donetsk, Donetsk STU) (IEAB)*N.M. Vlasov* (Russia, Podol'sk, SRI SIA «Luch») (IEB)*I.I. Fedik* (Russia, Podol'sk, SRI SIA «Luch») (IEB)**12-8-1-0 Hydrogen in metals and alloys***V.A. Gol'tsov* (Ukraine, Donetsk, DonSTU) (IEB)*L.F. Gol'tsova* (Ukraine, Donetsk, DonSTU) (IEB)**12-8-2-0 Hydrogen degradation****12-8-3-0 Structural materials hydrogenation systems****12-8-4-0 Static and dynamic strength of structural materials***N.N. Gerdyukov* (Russia, Sarov, Institute of Experimental Gasdynamics and Physics of Explosion RFNC-VNIIEF) (IEB)**12-8-5-0 Gasars. Application of gasars in marine and air fleet, motor-car construction****12-8-6-0 Electrical furnaces for thermovacuum processes***E.N. Marmar* (Moscow, VNIIEITO)**12-8-7-0 New structural materials for renewable energy structures****12-9-0-0 Synthesis-gas production methods***A.Ya. Stolyarevskiy* (Russia, Moscow, RRC «Kurchatov Institute») (IEB)**12-9-1-0 Adiabatic conversion of the natural gas****12-10-0-0 Hydrogen fuel vehicles and engines***T. Gaertig* (Germany, Berlin) (IEB)*A.L. Dmitriev* (Russia, S.-Petersburg, RSC «Applied Chemistry») (IEB)*A.M. Domashenko* (Russia, Balashikha, JSC «Cryogenmash») (IEB)*B.A. Sokolov* (Russia, Korolyov, S.P. Korolyov Energia RSC) (IEB)*A.Yu. Ramenskiy* (Russia, Moscow, Audit-Premier) (IEAB)*V.S. Sokolov* (Russia, S.Petersburg) (IEAB)**12-11-0-0 Hydrogen filling stations****12-12-0-0 Hydrogen for providing buildings, structures and houses with energy. Micro hydrogen power plants based on fuel cells****V. STRUCTURAL MATERIALS****13. Nanostructures***A.M. Lipanov*, Acad. RAS (Russia, Izhevsk, Institute of Applied Mechanics UB RAS) (IEB)*Yu.M. Shul'ga* (Russia, Chernogolovka, JSC «Cryogenmash») (IEB)*V.I. Kodolov* (Russia, Izhevsk, BRHE Centre of Chemical Physics and Mesoscopy) (IEAB)*Yu.S. Nechaev* (Russia, Moscow, Bardin Research Institute of the Ferrous-Metals Industry) (IEAB)*B.P. Tarasov* (Chernogolovka, IPCP RAS) (IEAB)*Yu.D. Tretiakov*, Acad. RAS (Russia, Moscow, FMS MSU) (SEB)**13-1-0-0 Nanosystems: synthesis, properties, and application***E.A. Goodilin*, Member Corresp. RAS (Russia, Moscow, FMS MSU) (SEB)*V.V. Kyrshva* (Russia, Sarov, STC «TATA») (IEB)**13-2-0-0 Fullerene structures and carbon nanomaterials for heat insulation****13-3-0-0 Fullerene structures and carbon nanomaterials for hydrogen sensors***M.V. Vorobiova* (Russia, Moscow, GIREDMET) (IEAB)*V.M. Aroutiounian*, Acad. NAS of Armenia (Armenia, Yerevan, Yerevan State University) (SEB)**13-4-0-0 Computer simulation of synthesis of carbon nanomaterials with specified properties****13-5-0-0 Carbon nanostructures for vehicles****VI. THERMODYNAMIC basics OF AEE****14. Thermodynamic analysis in renewable energy***V.A. Khusnutdinov* (Russia, Moscow, RAO UES of Russia) (IEB)*A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC «TATA») (IEB)**14-1-0-0 Thermodynamic analysis of basic energy generation processes in alternative energy****14-2-0-0 Exergetic analysis of basic energy generation processes in alternative energy****VII. ENVIRONMENTAL ASPECTS of ENERGY****15. Basic problems of energy and renewable energy****15-1-0-0 Electric energy storage****15-2-0-0 Superconductive materials. Superconductivity. Superconductivity of energy****15-3-0-0 New cycles and schemes for thermotransformers****15-4-0-0 Problems of megapolise illumination**



16. Application of helium and special materials in vehicles

- 16-1-0-0 Airships to transfer large-sized cargoes
 16-2-0-0 Airships to control states of emergency in megapolises: car inspection, fire safety, terrorism combat, technical and ecological state control of industrial buildings and structures. Energy control (heat leak control in buildings on a city's scale)
 16-3-0-0 Fire fighting airships, counteracting, and police airships



17. Energy and ecology

- O.L. Figovsky* (Israel, Israel Research Center Polymate) (IEB)
M.V. Vorobiova (Russia, Moscow, GIREDMET) (IEB)
A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)
 17-1-0-0 Greenhouse gas effect
 17-2-0-0 Ecological problems of industrial megapolises
 17-3-0-0 Ecology of air atmosphere and space
 17-4-0-0 Ecology of water resources
 17-5-0-0 Problems of unhealthy atmospheric emissions by heat-electric generating plants
 17-6-0-0 Problems of ground pollution by energy carriers
 17-7-0-0 Ecological tourism and ecological resorts
 17-8-0-0 Problems of factory and domestic waste utilization



18. Energy efficiency methods and facilities for aggressive gas mixture separation and purification

- A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC «TATA»)
A.A. Bobrova (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF)



19. Ecology and power resources of deserts



20. Water, its properties. Water preparation, application



21. Vibration and acoustic effects of energy facilities on the environment



VIII. LEGISLATIVE BASIS, MASS media, STATE SUPPORT



22. Legislative basis

- P.B. Shelishch* (Russia, Moscow, RF State Duma, President of National Association of Hydrogen Energy) (IEAB)
 22-1-0-0 Legislation basis for renewable energy in Russia
 22-2-0-0 Legislation assurance for innovation development of hydrogen energy
 22-3-0-0 Legislation basis for renewable energy in CIS
 22-4-0-0 Legislation basis for ecology



IX. PERSONNEL MANAGEMENT AND education



23. Education and scientific research centres

- B.F. Reutov* (Russia, Moscow, Federal Agency for Education and Sciences of RF) (IEB)
A.V. Chuvikovskiy (Russia, Sarov, RFNC-VNIIEF) (IEB)
Yu.P. Shcherbak (Russia, Sarov, Sarov Physicotechnical Institute) (IEB)
J.-P. Contzen (Belgium, von Karman Institute for Fluid Dynamics) (IEB)
 23-1-0-0 Educational activities in the field of alternative energy and ecology
 23-1-1-0 Educational activity within school program
 23-1-2-0 Educational activity in institutes of higher education
 23-2-0-0 Hydrogen trading estates and science and research cities
 23-3-0-0 Young people in alternative energy and ecology science and technology



X. ECONOMIC aspects OF AEE



24. Economical aspects

- 24-1-0-0 Investment attractiveness of various countries and companies in renewable energy
 24-2-0-0 Resources of conventional energy sources in exporting countries and world resources
 24-3-0-0 National scientific and technological programmes of the development of hydrogen economy
 24-4-0-0 Economical analysis in renewable energy
V.A. Khusnutdinov (Russia, Moscow, RAO UES of Russia) (IEB)
 24-5-0-0 Business-planning in renewable energy



XI. INNOVATION solutions, TECHNOLOGIES, FACILITIES AND THEIR INNOVATION



25. Nanotechnology for renewable energy

- A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC «TATA»)
V.V. Kursheva (Russia, Sarov, STC «TATA»)
O.N. Efimov (Russia, Sarov, STC «TATA»)
 25-1-0-0 Nanotechnology in the metal oxide synthesis and solid oxide fuel cells production
 25-2-0-0 Nanotechnology in cell framework manufacturing for medical purposes
 25-3-0-0 Radiation-chemical nanotechnology in production of new types fluoropolymer composite materials



26. Innovative solutions in alternative energy and ecology

- A.L. Gusev* (Russia, Sarov, STC «TATA»)



27. Information technologies (IT)



XII. ENVIRONMENTAL VEHICLES



28. Cryogenic and pneumatic vehicles

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)

28-1-0-0 Cryogenic nitrogen transport

28-2-0-0 Inert gas-based cryogenic vehicles for hazardous structures: fire engines, air port auxiliary vehicles, fuel and lubricant storage, vehicles in dangerously explosive chemical production

28-3-0-0 Pneumatic vehicles



29. On-board energy accumulators

29-1-0-0 Thermal energy accumulators

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)

29-1-1-0 Temperature above 273 K

29-1-2-0 Temperature below 273 K

29-1-3-0 Temperature below 77 K

29-2-0-0 Flywheel energy accumulators

29-3-0-0 Electrical energy accumulators

29-4-0-0 Spring energy accumulators

29-5-0-0 Compressed-air energy accumulators

29-6-0-0 Chemical energy accumulators



30. Multy mode vehicles

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)

O.B. Baklitskaya (Russia, Sarov, STC «TATA»)



31. External and onboard vehicle energy recovery systems

A.L. Gusev (Russia, Sarov, STC «TATA»)



32. Lithium-ion current sources and supercapacitor



XIII. RECOVERY TECHNIQUES FOR AEE



33. Juvenile hydrogen in geotectonics and geochemistry processes

S.V. Digonskiy (Russia, Ekaterinburg, FGUP «Urangeoologo-razvedka») (IEB)

V.L. Syvorotkin (Russia, Moscow, M. V. Lomonosov MSU) (IEB)

33-1-0-0 Role of hydrogen in chemical composition of the universe

33-2-0-0 Diving forces in the evolution of Earth and planets

33-3-0-0 Hydrogen in the Earth's core

33-4-0-0 Geology and geochemistry of natural gases in deep fault areas

33-5-0-0 Transport of juvenile hydrogen through the Earth stratum and formation of electrically charged zones

33-6-0-0 Natural synthesis of carbon-based substances

33-7-0-0 Deep degasifying of the Earth, global disasters and anomalous phenomena



XIV. CATALYSIS FOR AEE



34. Catalysis for renewable energy

Z.R. Ismagilov (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis) (IEB)

S.M. Aldoshin, Acad. RAS (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (SEB)

V.N. Parmon, Acad. RAS (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis of SD RAS) (SEB)

V.A. Kirillov (Russia, Novosibirsk, Boreskov Institute of Catalysis of SD RAS) (IEB)

O.N. Efimov (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS) (IEB)

N.N. Vershinin (Russia, Chernogolovka, IPCP RAS)

34-1-0-0 Catalytic methods for synthesis of alternative fuel

34-2-0-0 Catalysis in combined schemes «energy generation and production of useful products from natural gas»

34-3-0-0 Catalysis in generation of working fluid in gas turbines as an effective alternative flare generation method

34-4-0-0 Catalysis of fuel cells

34-5-0-0 Catalysis in processes of production of synthesis gas and hydrogen

34-6-0-0 Catalytic methods of hydrogen treatment

34-7-0-0 Catalysis in treating of power reactor waste gases

34-8-0-0 Catalysis in process water treatment systems

34-9-0-0 Photocatalytic and electrocatalytic methods for hydrogen production

34-10-0-0 Development and study of material properties to form catalytic layers in fuel cells

34-11-0-0 On mechanism of catalytic action. Effect of metal nature and degree of oxidation thereof on catalytic activity

34-12-0-0 Nanocomposites for application as catalysts. Effect of dimension factor on catalytic activity

34-13-0-0 Alternative catalysts with no platinum

34-14-0-0 Problems of catalyst poisoning

34-15-0-0 Catalyst carriers: design, synthesis, and properties

A.Ya. Vul' (Russia, St. Petersburg, Ioffe Institute)

34-16-0-0 Catalytic layers for fuel cells in planar design

34-17-0-0 Sol-gel process for production of catalysts and catalyst carriers

34-18-0-0 Catalytic conversion of fuel and technologies in the process of membrane production of hydrogen fuel compositions and ultra-pure hydrogen



XV. ENERGY SAVING



35. Energy-saving technologies, materials, systems, and instruments

A.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)



**XVI. PROBLEMS OF OIL-AND-GAS COMPLEX****36. Problems of oil, gas, and coal industry**

А.Л. Гусев (Россия, Саров, НТЦ «ТАТА»)

36-1-0-0 Problem definition for scientists and engineers to form a Task Order for research and R&D works taking into account ecological aspect

**37. Oil and gas pipelines and ecology**

Г.И. Сарапулова (Россия, Иркутск, НИТУ)

37-1-0-0 Protection against formation of methanohydrates during gas production

**XX. ISSUES OF AGRICULTURE**

40-1-0-0 Environmental technology manufacturing of wood products without the synthetic resin binder

**XXI. EARTH SCIENCES****XXII. INFORMATION FOR AEE****41. Information**

41-1-0-0 Brief messages

A.I. Salikov (Russia, Moscow, CNIIATOMINFORM) (IEAB)

E.M. Tararava (Russia, Moscow, CNIIATOMINFORM) (IEAB)

E.A. Goodilin, Member Corresponding RAS (Russia, Moscow, FMS MSU) (SEB)

I.V. Lobanova (Russia, Sarov, STC «ТАТА»)

41-2-0-0 Review of periodicals

41-3-0-0 Review of leading internet-resources

41-4-0-0 Prominent scientists' biographies

41-5-0-0 Scientific funds and scientific projects

41-6-0-0 International scientific conferences

41-7-0-0 Advertising matters of investment companies and manufacturers

41-8-0-0 Review of new scientific books

41-9-0-0 Intellectual property

41-10-0-0 Encyclopedia of renewable energy. Terms and definitions

41-11-0-0 Opinions, letters in publishing office, short articles

41-12-0-0 Messages of members of Scientific editorial board

41-13-0-0 Energetic companies

41-14-0-0 News of Editorial board

41-15-0-0 Scientific organizations

41-16-0-0 News

**XVII. OPTICAL PHENOMENA AND FACILITIES****38. Optical phenomena and facilities****XVIII. GAS-TURBINE TECHNOLOGIES****39. Gas-turbine technologies****XIX. ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS FACTORIES**

SEB — Scientific Editorial Board

IEB — International Editorial Board

IEAB — International Editorial Advisory Board

EB — Experts Board

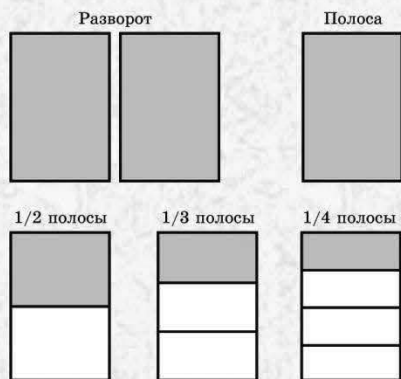
IRB — International Reviewers Board



РЕКЛАМА В МЕЖДУНАРОДНОМ НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ»

Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках разрабатываемой и выпускаемой продукции в области альтернативной энергетики и экологии.

Площади рекламного модуля



Требования к макетам рекламных модулей, изготовленных заказчиком

Макет рекламного модуля должен иметь размер, соответствующий размеру печатного оттиска. Форматы макетов: растровый — TIFF (см. требования), векторный — Corel Draw (см. требования). Использование редактора Microsoft Word для проектирования макетов рекламных модулей не допускается.

Допускается предоставление макета модуля (кроме обложки) в формате Adobe PageMaker версий 6.0, 6.5, 7.0. В этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты.

Требования к исходным рекламным материалам

Все элементы рекламного модуля (иллюстрации, логотипы, текст и др.) предоставляются в отдельных файлах.

1. Текст

Текст набирается гарнитурой Times New Roman, кегль 14, интервал полуторный. Допускается выделение важной информации полужирным начертанием. Формат Microsoft Word for Windows.

Использование OLE-объектов (графики, слайды презентаций, диаграммы в формате Microsoft Excel, результаты вычислений в математических и иных, в том числе собственных программах) в документах не допускается. Такие объекты присылаются в формате исходной программы и дублируются изображением (см. требования к иллюстрациям).

Использование дополнительных шрифтов (например, логотип выполнен специфической гарнитурой) оговаривается дополнительно. В этом случае предоставляется файл, содержащий начертание букв в формате TTF. Использование PS-шрифтов не допускается.

2. Иллюстрации

Все иллюстрации, находящиеся в рекламном модуле, должны предоставляться в отдельных файлах в форматах TIFF или BMP. Не допускается использование многослойных изображений. Черно-белые изображения должны быть в модели Grayscale. Цветные (обложка) — в модели CMYK. Все ч/б растровые изображения должны иметь разрешение 200 dpi, цветные — 250–400 dpi.

Для векторных изображений предпочтительным является использование формата Corel Draw (*.cdr) до версии 12.0 включительно.

Все встроенные эффекты (линзы, текстурные заливки, тени и т.д.) должны быть переведены в растровое изображение (bitmap). Векторные эффекты (Extrude, Envelope, Contour, Add Perspective, Blend, Distortion, Artistic media) должны быть преобразованы в кривые. Все текстовые объекты должны быть переведены в кривые. Размещение растровых рисунков в документе Corel Draw не допускается.

Стоимость размещения рекламных модулей

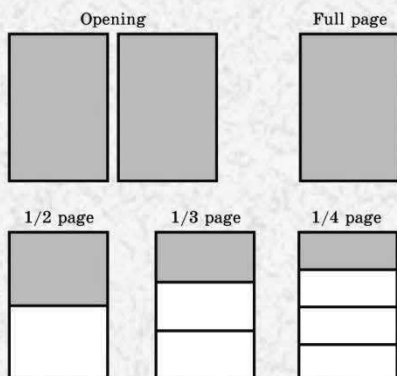
Объем рекламного модуля	Технические параметры	Цена публикации в одном номере (руб.)
Обложка (полноцветная)	285x205 мм	300 000
2-я или 3-я страницы обложки (полноцветная)	285x205 мм	25 000
Полный разворот на две полосы*	257x336 мм	10 000
Полная полоса 1/1*	257x168 мм	5 000
1/2 Полосы*	128x168 мм	5 000
1/3 Полосы*	85x168 мм	2 000
1/4 Полосы*	64x168 мм	1 000
СИСТЕМА СКИДОК		
При публикации в 2-3 номерах		10%
При публикации в 4-6 номерах		15%
При публикации в 7-9 номерах		20%
При публикации в 10-12 номерах		50%

Для заказа рекламной площади и получения счета необходимо заполнить форму заявки и отправить ее по адресу gusev@hydrogen.ru или по факсу (83130) 6-31-07. Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных объявлений.

ADVERTISEMENT IN INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL FOR ALTERNATIVE ENERGY AND ECOLOGY

The International scientific journal "Alternative energy and economy" invites scientific institutes, organizations and industrial enterprises to place advertisements on conferences, exhibitions, designed and production products in the field of alternative energy and ecology.

Spaces for advertisement module



General information on lay-outs of advertisement modules fabricated by a customer

The lay-out of an advertisement module is to have the dimension in accordance with that of a print. Lay-out formats: raster — TIFF (see General information), vector — Corel Draw (see General information). The use of Microsoft Word editor to design lay-outs of advertisement modules is not allowed.

The module lay-out (except the cover) in the format of 6.0, 6.5, 7.0 Adobe Pagemaker versions is allowed to be provided. In this case, all combined elements, and also all available fonts that are not included in the Microsoft Windows structure are to be provided.

Information on original advertisements

All elements of the advertisement module (illustrations, symbols, text, etc.) have to be put in individual files.

1. Text

Text is has to be composed by Times New Roman types, font 14, print interval: one and a half. Important information can be printed in italics. Format — Microsoft Word for Windows.

OLE-objects (graphs, presentation slides, diagrams in Microsoft Excel format, results of computations in mathematical and others including own programmes) are not allowed in documents. The objects as such are required to be sent in original programme format, and are copied by illustrations (see General information on illustrations).

The use of additional fonts (for example, a symbol is given by a specific type) is additionally specified. In this case, a file containing letter design in TTF format. PS-fonts is not allowed.

2. Illustrations

All illustrations available in the advertisement module are to be displayed in TIFF or BMP formats. Multilayer displays are not allowed. Black-and white displays are to be used in Grayscale model. Coloured displays (cover) are in CMYK model. All black-and-white raster displays are to be of resolution of 200dpi, colour — of 250–400dpi.

The use of Corel Draw (*.cdr) format to 12 version inclusive is considered to be advantageous for vector display.

All incorporated effects (lenses, texture fillings, shadows, etc.) are to be converted to raster display (bitmap). Vector effects (Extrude, Envelope, Contour, Add Perspective, Blend, Distortion, Artistic media) are to be transformed to curves. All text objects are to be converted to curves. Raster figures are not allowed to be placed in Corel Draw document.

Advertisement space price

Advertisement module space	Technical parameters	Publication price in one issue (\$US)
1 st page of the cover (full-coloured)	160x145 мм	10000
Full opening in two pages	257x336 мм	1000
2 nd or 3 ^d pages of the cover (full-coloured)	257x168 мм	300
Full page	128x168 мм	200
1/2 page	85x168 мм	200
1/3 page	64x168 мм	60
1/4 page	64x168 мм	30
Price rebate		
When published in 2-3 issues		5%
When published in 4-6 issues		7%
When published in 7-9 issues		10%
When published in 10-12 issues		15%

To order an advertisement space and make up a bill, please fill in an order form and send it using the following address: gusev@hydrogen.ru or by fax +7 (83130) 6-31-07.

The editorial board reserves the right to choose advertisements entered.





452613, Башкортостан респ., г. Октябрьский, 35-й мкр., дом 9А, абонентский ящик № 33
 По подписке: Виктории Анатольевне Онищенко: тел/whapp/telegramm: +79373657497
 По редакторским вопросам: Алевтине Сергеевне Хазиевой: тел/whapp/telegramm: +79375000422

По всем вопросам: Главному редактору Гусеву Александру Леонидовичу
 Тел.: +79046720397; WhatsApp: +79046720397; Telegram: +38269260722 или <https://t.me/isjaee1> ;
 skype: aleksandr_tata

E- mail: gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru; alexandergusev777@gmail.com

Рекомендуемые сайты по работе журнала: <http://isjaee.com>, <https://t.me/isjaee>;
<https://t.me/hydrogentechnologies>; https://t.me/Science_Montenegro; <https://t.me/HYDROGENinstitute>
 Для справок: e-mail: info@hydrogen.ru

452613, Russia, Bashkortostan Rep., Oktyabrsky, 35th mkrn., house 9a, Post Box Office 33
 By subscription: Victoria Anatolyevna Onishchenko: Tel / Whapp / Telegramm: +79373657497
 Editorial: Alevtina Sergeevna Khazieva: Tel / Whapp / Telegramm: +79375000422

For all questions: Chief Editor Gusev Alexander Leonidovich
 Phone: +79046720397; whatsApp: +79046720397; telegramm: +38269260722; skype: aleksandr_tata
 E-mail: gusev@hydrogen.ru, <http://isjaee.com>

Information: gusev@hydrogen.ru; ceo@yaalgusev.ru; alexandergusev777@gmail.com

Recommended sites for the work of the journal: <http://isjaee.com>, <https://t.me/isjaee>;
<https://t.me/hydrogentechnologies>; https://t.me/Science_Montenegro; <https://t.me/HYDROGENinstitute>
 Reference: e-mail: info@hydrogen.ru

**Международный научный журнал
 «Альтернативная энергетика и экология»**

Подписано в печать 30.01.2024
 Формат 60×84/8 Тираж 260 000 экз.
 255 000 (EBSCO)
 Цена договорная

Журнал включён в каталог «Роспечать» (индекс 10337
 «Альтернативная энергетика и экология»
 и Объединённый каталог «Пресса России. Российские
 и зарубежные газеты и журналы» (индекс 41935
 «Альтернативная энергетика и экология»).