



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
имени академика М. Ф. Решетнева

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАЦИИ И КОСМОНАВТИКИ

Том 2



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАЦИИ И КОСМОНАВТИКИ

*Сборник материалов
XII Международной научно-практической конференции,
посвященной Дню космонавтики
(06–10 апреля 2026 г., Красноярск)*

В 3-х томах

Том 2

Электронное издание

Красноярск 2026

© СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2026

УДК 629.7
ББК 39.5
А43

Редакционная коллегия:

Ю. А. Аникина, Ю. А. Анищенко, Е. Н. Бельская, Е. В. Белякова, Г. М. Гринберг, С. П. Дуреев, С. А. Евсеева, Д. В. Еремеев, А. А. Зуев, М. С. Злотников, В. В. Золотарев, Л. А. Казаковцев, А. А. Кишкин, В. В. Кольга, А. В. Кустов, В. А. Лапко, О. В. Летунова, К. Ю. Лобков, Ю. Ю. Логинов, А. В. Лонин, И. В. Маркевич, Т. А. Мартиросова, А. В. Михайлов, А. В. Мурыгин, В. П. Назаров, О. Е. Подвербных, К. В. Сафонов, В. В. Сафронов, В. Г. Сидоров, Н. А. Смирнов, А. А. Снежко, С. В. Стрельникова, О. В. Тасейко, А. С. Тимохович, П. В. Тимошев, И. В. Трифанов, М. Н. Фаворская, А. А. Фадеев, А. А. Ходенков, В. В. Худоногов, А. В. Цветцых, П. Р. Чирков, И. Я. Шестаков, А. С. Шпак

Под общей редакцией

кандидата технических наук, доцента П. Г. Колесникова

Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики : в 3 т. Т. 2, 06–10 апреля 2026 г., Красноярск / СибГУ им. М. Ф. Решетнева ; под общ. ред. П. Г. Колесникова. – Красноярск, 2026. – 1071 с. – Системные требования : 1 файл: 24,4 МБ ; Internet Explorer ; Acrobat Reader 7.0 (или аналогичный продукт для чтения файлов формата .pdf). – URL: <https://apak.sibsau.ru/page/materials>. – Текст : электронный.

Представлены результаты научных исследований студентов, аспирантов и молодых специалистов (до 30 лет) высших учебных заведений, НИИ, промышленных предприятий аэрокосмического комплекса России по приоритетным направлениям отраслей науки и производства аэрокосмической техники. Рассмотрены теоретические и прикладные вопросы разработки и использования современных технологий, показаны результаты исследования по экономическим и социальным проблемам развития современного общества, а также решения в области информационных технологий. Изложены результаты исследования свойств новых композитных материалов, позволяющих уменьшить вес и габариты аэрокосмических изделий. Описаны проблемы и указаны пути их решения в области экологии и обеспечения безопасности полетов, сертификации и управления качеством продукции.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и молодых специалистов.

Информация для пользователя: в программе просмотра навигация осуществляется с помощью панели закладок слева; содержание в файле активное.

**УДК 629.7
ББК 39.5**

Подписано к использованию: 10.06.2026. Объем: 24,4 МБ. С 1307/26.

Корректura, макет и компьютерная верстка *Е. С. Завьяловой*.

Редакционно-издательский отдел СибГУ им. М. Ф. Решетнева.
660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
E-mail: rio@mail.sibsau.ru. Тел. (391) 291-90-96.

УДК 539.3

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ТЯЖЕЛОЙ НИТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОБСТВЕННОГО ВЕСА

Д. Е. Решетников, А. Н. Кожевников*

Новосибирский государственный технический университет
Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, просп. К. Маркса, 20
*E-mail: kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru

Тросовые элементы получили широкое распространение в строительстве и в ракетно-космической отрасли. В работе сопоставлены трех моделей определения конфигурации нити под действием собственного веса. Используются две оценки близости кривых.

Ключевые слова: тросовые элементы, тяжёлая нить, цепная линия, провис, оценка погрешности.

ESTIMATION OF THE ERROR IN DETERMINING THE HEAVY THREAD CONFIGURATION UNDER ITS ONLY WEIGHT APPLIED

D. E. Reshetnikov, A. N. Kozhevnikov*

Novosibirsk state technical university
20, Karl Marks prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation
*E-mail: kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru

Elastic cable elements have become widespread in construction and the aerospace industry. This paper compares three models for determining the configuration of a cable under its own weight applied. Two curve proximity estimates are introduced and discussed.

Keywords: Cable elements, heavy thread, chain line, sagging, error estimation.

В современном мире широкое распространение получили конструкции, использующие растянутые тросовые элементы в качестве растяжек или оттяжек с целью повышения общей жесткости конструкции. При использовании таких элементов крайне важно определить конфигурацию троса, потому как в силу своей большой гибкости возможны такие сочетания геометрических параметров и растягивающей нагрузки, которые приведут к провисам троса соразмерным расстоянию между неподвижными опорами или концами упругого элемента.

С точки зрения механики рассматриваются несколько подвидов этой задачи: опоры на одном уровне или на разных; наличие только собственного веса или учет горизонтальной составляющей внешней нагрузки. Для определения состояния или конфигурации нити традиционно применяют подходы на основе цепной линии (или *catenary line* в англоязычной литературе) [1; 2], моделей гибких стержней, например, Светлицкого В.А. [3] или Левина В.Е. [4]. Все эти подходы могут быть применены для практически всех сформулированных выше задач, однако в случаях достаточно большого натяжения (или малого провиса) применяются аппроксимации реальной конструкции в виде параболической функции [5].

В рамках работы использованы модель цепной линии (1), модель Левина В.Е. (2) и параболическое упрощение (3).

$$y(x) = a \cdot ch\left(\frac{x-x_0}{a}\right) + y_0, \quad (1)$$

где a - параметр натяжения нити; x_0 – абсцисса точки с максимальным провисом; y_0 – сдвиг цепной линии по вертикали.

$$\begin{aligned} x_1(u) &= \frac{u-u_0}{sh(u_L)-sh(u_0)} \\ x_2(u) &= \frac{ch(u)-ch(u_0)}{sh(u_L)-sh(u_0)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где u – осевая координата по длине нити от u_0 до u_L ; $(x_1(u); x_2(u))$ - декартовы координаты точки нити с осевой координатой u .

$$y(x) = a_0 \cdot x^2 + a_1 \cdot x + a_2, \quad (3)$$

где a_i – коэффициенты полинома параболического приближения конфигурации нити.

Для оценки близости двух решений $y_1(x)$ и $y_2(x)$ в n точек с координатами x_i использованы следующие оценки:

O_1 – среднее значение абсолютной разницы между кривыми, которое определяется по формуле (4) [6]:

$$O_1 = \frac{1}{n} \sum_i |y_1(x_i) - y_2(x_i)| \quad (4)$$

O_2 – среднеквадратичное отклонение, которое определяется по формуле (5) [7]:

$$O_2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (y_1(x_i) - y_2(x_i))^2} \quad (5)$$

При проведении исследования рассмотрим трос длиной 6 метров, закрепленный на опорах на одном уровне в точках (0;0) и (0;h). Будем использовать различные расстояния между опорами h от одного до шести метров. Отслеживать будем значение провиса Δ в средней точке пролета между опорами и значения оценок O_1 и O_2 . Результаты расчетов удобно представить в виде таблицы 1.

Таблица 1

Сводные результаты расчетов

$h, \text{ м}$	$\Delta, \text{ м}$			модель Левина – цепная линия		модель Левина – парабола		цепная линия - парабола	
	модель Левина	цепная линия	пара- бола	O_1	O_2	O_1	O_2	O_1	O_2
1,0	-2,872	-2,872	-2,922	0,000	0,000	0,282	0,347	0,282	0,347
2,0	-2,668	-2,668	-2,735	0,000	0,000	0,160	0,195	0,160	0,195
3,0	-2,389	-2,389	-2,452	0,000	0,000	0,089	0,106	0,089	0,106
4,0	-2,011	-2,011	-2,055	0,000	0,000	0,044	0,050	0,044	0,050
5,0	-1,462	-1,462	-1,482	0,000	0,000	0,014	0,016	0,014	0,016
5,2	-1,314	-1,314	-1,329	0,000	0,000	0,010	0,011	0,010	0,011
5,4	-1,144	-1,144	-1,154	0,000	0,000	0,007	0,007	0,007	0,007
5,6	-0,939	-0,939	-0,945	0,000	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004
5,8	-0,667	-0,667	-0,670	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001

Результаты анализа провисов в центральной точке и обеих оценок близости решений показали, что модели Левина В.Е. и цепной линии являются идентичными, поскольку основаны на использовании гиперболических функций и решении трансцендентных уравнений для определения параметров конфигурации нитей. Анализ максимальных провисов по модели параболического приближения показывает отличие от двух других моделей не более 2,64% и снижается до величины менее 1,4% при отношении $\Delta/h < 0,3$.

Сопоставление двух выбранных оценок близости конфигураций нити приводит к выводу о том, что сближение значений O_1 и O_2 , можно использовать в качестве критерия определения границ применимости модели параболического приближения.

Библиографические ссылки

1. EN 10385-4: Steel wire ropes - Safety - Part 4: Stranded ropes for general lifting applications; German version EN 12385-4:2002 31 p.
2. Цаплин, С. А. Теория расчета гибких нитей / С. А. Цаплин. – М., 1937. – 68 с.
3. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. – М. : Машиностроение, 1978. - 222 с.
4. Левин В.Е., Пустовой Н.В. Механика деформирования криволинейных стержней: монография. – Новосибирск : Из-во НГТУ, 2008. 208 С.
5. Качурин В. К. «Гибкие нити с малыми стрелками» — М. : Гос. изд.-во тех.-теорет. литературы, 1956, 224 с..
6. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М. : Наука. 1989. —432 с.7.
7. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: учебник для вузов. – М. : Высш. шк., 2005

© Решетников Д. Е., Кожевников А. Н., 2026

Секция 18

«ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА»

Исмайллов С. Р. Архитектура программной реализации цифровых чек-листов для настройки космического оборудования	434
Исмайллов С. Р. Модель цифровых чек-листов для контроля конфигурации космического оборудования	437
Карелина А. А., Титов К. А. Верификация математических моделей СОС на КМС	440
Кустова А.Г., Карелина А. А. Интерфейсы сопряжения математических моделей и устройств целевой аппаратуры в контуре полунатурального моделирования СОС КА	443
Литвинцева А. К. Применение РСА к спутниковым данным	446
Литке В. А., Ушанов С. В. Анализ методом статистических испытаний экспериментальных данных и полученных по ним результатов моделирования	449
Пивоваров С. Д., Саяпин А. В. Применение алгоритмов компьютерного зрения для создания бесконтактного интерфейса «виртуальная мышь» в задачах управления операционной системой	452
Пивоваров С. Д., Саяпин А. В. Применение метода глубокого обучения для распознавания и преобразования в текст языка жестов	455
Полежаев С. Ю. Автоматизация создания программного документа на основе текста программы	458
Полежаев С. Ю. Автоматизированная генерация документации с использованием GitLab CI	462
Примушеницкий М. Р. Исследование методов диагностики и обнаружения отказов оборудования наземных станций управления КА	465
Решетников Д. Е., Кожевников А. Н. Оценка погрешности определения конфигурации тяжелой нити под действием собственного веса	468
Сенникова К. И., Фиошина В. Н., Городов А. А. Классификация методов статистического анализа в задачах и виды его применений	471
Сенникова К. И., Фиошина В. Н., Городов А. А. Методология решения задач об идентификации авторства	474
Сергеева А. Ю., Казак Д. В. Эволюция методов поиска изображений: от CBIR к мультимодальным нейросетевым моделям	477
Сергеева А. Ю., Казак Д. В. Проблема семантического разрыва в системах поиска изображений и современные методы её преодоления	480
Сидорченко Д. А. Использование пакетов прикладных программ при моделировании сигналов с помощью рядов Фурье	483
Соколова А. А. Оценка критических значений критериев согласия методом имитационного моделирования	486
Соколова А. А. Оценка точности параметров смеси нормальных распределений при моделировании нестационарных процессов	488
Титов К. А., Кустова А. Г. Численное моделирование зон радиовидимости спутников Глонасс для космических аппаратов на геостационарной орбите	490
Трусов М. А. Методология проверки адекватности теоретических и эмпирических функций распределения	493