

«

»

“ ”

. . . . .

31.08.2022

: . . . . .

:

:

<https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education>

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ Термодинамика материалов

: 22.03.01

, :

: 2, : 4

-		,
		<b>4</b>
<b>1</b>	( )	6
<b>2</b>		216
<b>3</b>	, .	71
<b>4</b>	, .	36
<b>5</b>	, .	18
<b>6</b>	, .	0
<b>7</b>	, .	12
<b>8</b>	, .	10
<b>9</b>	, .	2
<b>10</b>	, .	15
<b>11</b>	, .	145
<b>12</b>	( , ( )/ , )	
<b>13</b>		

( ): 22.03.01

701 02.06.2020 ., : 10.07.2020 .

: 1,

( ): 22.03.01

, 31.08.2022

- , 6 31.08.2022

:

, . . . . .

:

. .

# 1.

1.1

	-4
	-4. 2
	-8
	-8. 1
	-1
	-1. 1

## 2.

2.1

<b>ОПК-4. 2 Умеет применять современные подходы для получения, анализа и визуального представления результатов экспериментальных и теоретических исследований</b>	
	; ;
<b>ОПК-8. 1 Знает принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства</b>	
<b>УК-1. 1 Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации.</b>	
	; ;

## 3.

3.1

: 4					
:					
1.	2	0	0,75	-4.2, -1.1	
2.	2	0	0,75	-4.2, -1.1	
3.	2	0	0,75	-4.2, -1.1	

4.	.	.	2	0	0,75	-4.2, -1.1	
:							
5.	.	.	2	0	0,75	-4.2, -1.1	
6.	.	.	2	0	0,75	-1.1	
7.	.	.	3	0	0,75	-1.1	
( )							
8.	.	( )	3	0	0,75	-1.1	
: ,							
9.	.	.	2	0	0,75	-1.1	
10.	.	.	2	0	0,75	-1.1	
11.	.	.	3	0	0,75	-1.1	
12.	.	,	2	0	0,75	-1.1	
:							
13.			2	0	0,75	-1.1	
14.	.	.	2	0	0,75	-1.1	
15.	.	.	2	0	0,75	-1.1	
16.	.	.	3	0	0,75	-1.1	

		„ .	, .		
: 4					
:					

1.		2,25	1	0	-4.2	
2.	-	2,25	1	0	-4.2	
:						
3.	.	2,25	1	0	-4.2	
4.		2,25	1	0	-4.2	
5.	.	2,25	1	0	-4.2	
: ,						
6.		2,25	1	0	-4.2	
7.		2,25	1	0	-4.2	
:						
8.		2,25	0	0	-4.2	

			„ .	, .		
: 4						
:						
2.		36	1	0	-4.2, -8.1, -1.1	
3.		36	1	0	-4.2, -8.1, -1.1	
4.		38	1	0	-4.2, -8.1, -1.1	

3.1

3.2

			( )
1			: , ,
2	-		:
3	.		: ,

4			: , " _ "
5	.		: , .
6			: .
7			: .
8		.	: , .
9		.	: , .
10		.	: , , , - .

3.2

3.3

: 4				
1	/	-1.1	31	7

<p> : , . . : / . . , 2013. — 87 c. — ISBN 978-5-7996-0919-1. — : IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/66588.html">https://www.iprbookshop.ru/66588.html</a> ( : 24.06.2022). — : , . . - / . . , . . . — : , 2018. — 334 . — ISBN 978-5-7638-3921-0. — : // : - . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/157563">https://e.lanbook.com/book/157563</a> ( : 06.03.2023). — : / . . , . . , . . , . . — : , 2017. — 108 c. — ISBN 978-5-7782-3312-6. — : // IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/91453.html">https://www.iprbookshop.ru/91453.html</a> ( : 24.06.2022). — : , . . - « » / . . : , 2015. — 32 c. — : // IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/57596.html">https://www.iprbookshop.ru/57596.html</a> ( : 06.03.2023). — : </p>				
2		-1.1	0	0
<p> , : , . . - / . . , . . . — : , 2018. — 334 . — ISBN 978-5-7638-3921-0. — : // : - . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/157563">https://e.lanbook.com/book/157563</a> ( : 06.03.2023). — : / . . , . . , . . , 2017. — 108 c. — ISBN 978-5-7782-3312-6. — : // IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/91453.html">https://www.iprbookshop.ru/91453.html</a> ( : 24.06.2022). — : , . . - « » / . . : , 2015. — 32 c. — : // IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/57596.html">https://www.iprbookshop.ru/57596.html</a> ( : 06.03.2023). — : </p>				
3		-4.2, -1.1	4	0
<p> : , . . - / . . , . . . — : , 2018. — 334 . — ISBN 978-5-7638-3921-0. — : // : - . — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/157563">https://e.lanbook.com/book/157563</a> ( : 06.03.2023). — : / . . , . . , . . , 2017. — 108 c. — ISBN 978-5-7782-3312-6. — : // IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/91453.html">https://www.iprbookshop.ru/91453.html</a> ( : 24.06.2022). — : , . . - « » / . . : , 2015. — 32 c. — : // IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/57596.html">https://www.iprbookshop.ru/57596.html</a> ( : 06.03.2023). — : </p>				

4		-1.1	0	8
<p> : , . . : , 2013. — 87 с. — ISBN 978-5-7996-0919-1. — : // IPR SMART : [ ].  — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/66588.html">https://www.iprbookshop.ru/66588.html</a> ( : 24.06.2022). — :  - / . . , . . : , 2018. — 334 :  — ISBN 978-5-7638-3921-0. — : // : - . —  URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/157563">https://e.lanbook.com/book/157563</a> ( : 06.03.2023). — :  / . . , . . , . . : —  978-5-7782-3312-6. — : // IPR SMART : [ ].  — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/91453.html">https://www.iprbookshop.ru/91453.html</a> ( : 24.06.2022). — :  . : -  « : » / . . : —  , 2015. — 32 с. — : //  IPR SMART : [ ]. — URL:  <a href="https://www.iprbookshop.ru/57596.html">https://www.iprbookshop.ru/57596.html</a> ( : 06.03.2023). — : </p>				
5		-4.2, 8.1, -1.1	110	0
<p> 3.3 : , . .  : / . . : —  , 2013. — 87 с. — ISBN 978-5-7996-0919-1. — : //  IPR SMART : [ ]. — URL:  <a href="https://www.iprbookshop.ru/66588.html">https://www.iprbookshop.ru/66588.html</a> ( : 24.06.2022). — :  - / . . , . . : , 2018. — 334 :  — ISBN 978-5-7638-3921-0. — : // : - . —  URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/157563">https://e.lanbook.com/book/157563</a> ( : 06.03.2023). — :  . : -  : «  » / . . : —  , 2015. — 32 с. — : //  IPR SMART : [ ]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/57596.html">https://www.iprbookshop.ru/57596.html</a> ( : 06.03.2023). — : </p>				

### 3.3

, ( . 3.4).

3.4

	-
	e-mail:romashova@corp.nstu.ru;
	e-mail:romashova@corp.nstu.ru;
	;



#### 4.

( ), - 15- ECTS.

. 4.1.

1

4.1

	.	
: 4		
Лекция:	10	20
Практические занятия:	8	16
РГЗ/Реферат:	12	24
Экзамен:	20	40

4.2

4.2

		/	
-4	-4 2.	+	+
-8	-8 1.		+
-1	-1 1.		+

1

#### 5.

1. Свечникова, Л. А. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах: Учебное пособие / Свечникова Л.А., Темных В.И., Токмин А.М. - Краснояр.:СФУ, 2016. - 194 с.: ISBN 978-5-7638-3425-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/967980> (дата обращения: 06.03.2023). – Режим доступа: по подписке.
2. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология материалов : учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 397 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/e10.12737/3557](http://www.dx.doi.org/e10.12737/3557). - ISBN 978-5-16-006899-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1192234> (дата обращения: 29.06.2022). – Режим доступа: по подписке.
3. Черепанова, В. К. Физика фазовых превращений: в 2 ч. Ч.1. Термодинамика фазовых равновесий : учебно-методическое пособие / В. К. Черепанова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - 31 с. - ISBN 978-5-7782-3815-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1868906> (дата обращения: 29.06.2022). – Режим доступа: по подписке.

4. Термодинамика фазовых превращений и диффузия в металлах и сплавах : учебное пособие / Ю. Н. Малютина, И. А. Батаев, О. Г. Ленивцева, Д. В. Лазуренко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 108 с. — ISBN 978-5-7782-3312-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91453.html> (дата обращения: 24.06.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

1. Базлов, Е. Ф. Радиотехнические цепи и сигналы : учебное пособие / Е. Ф. Базлов. — Казань : КНИТУ-КАИ, 2016. — 232 с. — ISBN 978-5-7579-2159-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/149562> (дата обращения: 06.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Литвинов, В. С. Рекристаллизация металлов и сплавов : учебное пособие / В. С. Литвинов, С. В. Гриб. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 87 с. — ISBN 978-5-7996-0919-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/66588.html> (дата обращения: 24.06.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

3. Лобанов, М. Л. Методы определения коэффициентов диффузии : учебное пособие / М. Л. Лобанов, М. А. Зорина ; под редакцией А. А. Попова. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2017. — 100 с. — ISBN 978-5-7996-2098-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/106415.html> (дата обращения: 24.06.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

1. Elsevier : site. — URL: [https://www.elsevier.com/?dgcid=RN\\_AGCM\\_Sourced\\_300005030](https://www.elsevier.com/?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030) (access data: 18.07.2022). — Text : electronic.

2. SpringerLink : website / Springer Nature. — URL: <https://link.springer.com/> (access data: 18.07.2022). — Text : electronic.

## 6.

### 6.1

1. Севостьянов, А. В. Использование конечно-разностных методов при решении задач теплопроводности : методические указания к расчётной работе по дисциплине «Методы математического моделирования» / А. В. Севостьянов. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 32 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/57596.html> (дата обращения: 06.03.2023). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Носков, Ф. М. Технология и оборудование термической и химико-термической обработки. Теория и технология термической обработки металлов и сплавов : учебное пособие / Ф. М. Носков, Л. И. Квеглис, М. В. Носков. — Красноярск : СФУ, 2018. — 334 с. — ISBN 978-5-7638-3921-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/157563> (дата обращения: 06.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### 6.2

1 Создание отчётов для лабораторных работ. Microsoft Microsoft Office

### 6.3

, - .

7. -

1	( Internet )	

1		



## 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Термодинамика материалов представлена в Таблице. Совокупность результатов обучения по дисциплине соотнесена с уровнями сформированности компетенций и соотнесенными с ними индикаторами. Индикаторы достижения компетенций измеряемы с помощью средств текущей и промежуточной аттестации по дисциплине Термодинамика материалов.

Таблица

Формируемые компетенции	Индикаторы компетенций	Темы	Этапы оценки результатов обучения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (контрольная работа, курсовой проект, РГЗ(Р), реферат и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК-4 Способен проводить измерения и наблюдения в сфере профессиональной деятельности, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	2. Умеет применять современные подходы для получения, анализа и визуального представления результатов экспериментальных и теоретических исследований	Вакансионный и междоузельный механизмы диффузии. Равновесная концентрация вакансий. Диаграммы состояния для однокомпонентных систем. Диаграммы состояния однокомпонентных, двухкомпонентных и трёхкомпонентных систем. Диффузионные превращения в сплавах. Превращения при отжиге. Получение глобулярных структур. Идеальные растворы и реальные растворы. Химические соединения. Диаграммы состояния двойных систем. Правило фаз Гиббса. Первое и второе начало термодинамики. Основные термодинамические функции. Понятие равновесия. Роль диффузии в различных процессах. Химико-термическая обработка Цементация стали	РГЗ, задание 1	Экзамен, вопросы 1-42
ОПК-8 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	1. Знает принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства	Второй закон Фика. Использование методов конечных разностей и конечных элементов для решения уравнений диффузии. Обзор методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Определение коэффициента диффузии и энергии активации диффузии из экспериментальных данных. Первый закон Фика. Решение уравнений диффузии. Решение уравнения диффузии для полубесконечного образца	РГЗ, задание 2-3	Экзамен, вопросы 43-90, задачи 1, 2
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический	1. Знает принципы сбора, отбора и обобщения	Пути ускоренной диффузии в кристаллах. Влияние дислокаций, границ зёрен и	РГЗ, задание 4	Экзамен, вопросы 91-120

анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	информации.	свободных поверхностей на диффузию. Роль диффузии в различных процессах		
---------------------------------------------------------------------------------------	-------------	-------------------------------------------------------------------------	--	--

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций по дисциплине

Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций проверяются при проведении мероприятий текущей аттестации (контроля) в процессе изучения дисциплины, указанных в таблице раздела 1.

В 4 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 4 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ОПК-4, ОПК-8, УК-1 и соотнесенных с ними индикаторов. (см. таблицу раздела 1).

Экзамен проводится в письменном виде по билетам. Билет представляет собой набор вопросов и задач по темам, изученным в течение семестра. Для написания билета студенту отводится 1,5 часа. Для решения задач студенту разрешено пользоваться калькуляторами и таблицами функции ошибок, выданных заранее преподавателем. Требования к выполнению экзамена, состав и правила оценки сформулированы в паспорте экзамена.

Общие правила выставления оценок текущей и промежуточной аттестации по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании критериев, приведенных в п. 3, осуществляется оценка уровней достигнутых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ОПК-4, ОПК-8, УК-1, закрепленных за дисциплиной.

## 3. Общая характеристика уровней результатов обучения, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

**Продвинутый.** Теоретическое содержание курса освоено полностью. Студент демонстрирует систематическое и глубокое понимание учебного материала и способность к самостоятельному пополнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Сформированы необходимые навыки практической работы. Все учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнены качественно, без замечаний. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящим в диапазон продвинутого уровня.

**Базовый.** Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Навыки практической работы сформированы на базовом уровне. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены с небольшими погрешностями. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах базового уровня.

**Пороговый.** Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Некоторые практические навыки работы сформированы с пробелами. Учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнялись с ошибками, исправленными под руководством преподавателя. Результаты

обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах порогового уровня.

**Ниже порогового.** Теоретическое содержание курса освоено фрагментарно. Необходимые навыки практической работы сформированы минимально. Большинство учебных заданий, предусмотренных программой обучения, не выполнены. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящих в диапазон ниже порогового уровня.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Термодинамика материалов», 4 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет состоит из 8 вопросов и 2 задач и формируется по следующему правилу:

- первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-17;
- второй вопрос из диапазона вопросов выбирается из диапазона вопросов 18-30;
- третий вопрос выбирается из диапазона вопросов 31-42;
- четвертый вопрос выбирается из диапазона вопросов 43-60;
- пятый вопрос выбирается из диапазона вопросов 61-78;
- шестой вопрос выбирается из диапазона вопросов 79-90;
- седьмой вопрос выбирается из диапазона вопросов 91-108;
- восьмой вопрос выбирается из диапазона вопросов 107-120;
- девятый вопрос – задача;
- десятый вопрос – задача.

Форма экзаменационного билета приведена в Приложении 1

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

На экзамене преподаватель вправе задавать студенту уточняющие и дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### 2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент проводит сравнительный комплексный анализ материала, выявляет проблемы, предлагает механизмы их решения, представляет количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном объеме. Оценка составляет *от 35 до 40 баллов*.

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, способен представить количественные и качественные характеристики процессов, не допускает существенных ошибок при решении задачи. Совокупность результатов обучения по дисциплине соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка



составляет *от 34 до 27 баллов*.

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 26 до 20 баллов*.

Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным** (ниже порогового уровня), если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее 20 баллов*.

### 3. Шкала оценки

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 20 до 40 баллов включительно. Сумма менее 20 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Термодинамика материалов»

1. Что изучает термодинамика?
2. Какие типы термодинамических систем различают? Приведите примеры?
3. При каких условиях считается, что система находится в состоянии равновесия?
4. В чем суть первого закона термодинамики? Приведите математическую формулировку закона.
5. Дайте определение энтальпии. При каких значениях энтальпии реакции будут экзотермическими, эндотермическими или протекающими по кругу?
6. В чём суть второго закона термодинамики?
7. Охарактеризуйте самопроизвольные и несамопроизвольные процессы.
8. Дайте определение энтропии. Что она показывает?
9. Назовите основные термодинамические потенциалы. В чём отличие свободной энергии Гиббса от свободной энергии Гельмгольца?
10. При каких значениях энергии Гиббса и Гельмгольца процессы протекают самопроизвольно, несамопроизвольно, остаются в равновесии?
11. Дайте определение стабильному, нестабильному и метастабильному состояниям. Приведите примеры.
12. При каком условии возможно протекание фазового превращения?
13. Две кристаллические структуры находятся в равновесии и их энергии Гиббса одинаковы. Что можно сказать об их движущей силе?
14. Что показывают фазовые диаграммы?
15. Приведите пример однокомпонентной диаграммы состояния?
16. Дайте определение понятию «температура перехода».
17. Что такое удельная теплоемкость?
18. Опишите каким образом температура влияет на изменение свободной энергии

- Гиббса? При каких условиях будет стабильна жидкая или твёрдая фазы?
19. В чём заключается физический смысл скрытой теплоты плавления?
  20. При увеличении температуры выше точки плавления происходит переход материала из твёрдого состояния в жидкое. Объясните возможные знаки изменения энтальпии, энтропии и свободной энергии? Каким будет знак этих же характеристик при протекании обратного превращения (из жидкости в твёрдое состояние)?
  21. Каким образом давление влияет на фазовые превращения (на примере чистого железа)?
  22. Почему энтальпия  $\gamma$ -Fe при высоких температурах выше, чем энтальпия  $\alpha$ -Fe при низких температурах?
  23. Что показывает уравнение Клапейрона-Клаузиуса?
  24. Как изменится свободная энергия Гиббса после процесса смешения двухкомпонентных сплавов?
  25. Как изменяется свободная энергия Гиббса в двухкомпонентных системах при различных температурах?
  26. Для чего применяют правило рычага?
  27. В чём заключается правило фаз Гиббса?
  28. Что изучает диффузия?
  29. В чём суть встречной диффузии?
  30. Перечислите основные механизмы диффузии.
  31. В чём суть вакансионного механизма диффузии?
  32. Кратко опишите дефекты по Френкелю и дефекты по Шоттки. В чём их основное отличие?
  33. Как определить равновесную концентрацию вакансий?
  34. Что происходит с концентрацией вакансий при увеличении температуры?
  35. Для чего применяют метод дифференциальной дилатометрии? В чём заключается основной принцип данного метода?
  36. Как изменяется энергия миграции при переходе междоузельного атома из одного положения в другое?
  37. Что представляет собой энергия активации в диффузии?
  38. Какой механизм диффузии междоузельный или вакансионный протекает быстрее и почему?
  39. Что является движущей силой в нестационарной диффузии?
  40. Что описывает первый закон Фика?
  41. В чём отличие стационарной диффузии от нестационарной? Приведите примеры.
  42. Почему первый закон Фика не может быть применён для определения концентрационных профилей в случае нестационарной диффузии?
  43. Что описывает второй закон Фика? Каково его математическое представление?
  44. Какое твёрдое тело считается полубесконечным?
  45. В чём заключается суть аналитического метода решения диффузионных задач?
  46. Что такое функция ошибок и дополнительная функция ошибок?
  47. 29. В чём отличие аналитического метода решения диффузионных задач от численного?
  48. Опишите в чём заключается основная идея метода конечных разностей для решения диффузионных задач?
  49. При каких условиях метода конечных разностей решения будут являться устойчивыми?
  50. Какие факторы оказывают влияние на скорость диффузии?
  51. Какой из приведённых элементов углерод или водород будет быстрее диффундировать в железо? В какой кристаллической решётке ОЦК или ГЦК диффузия будет протекать быстрее и почему?
  52. Каким образом температура влияет на коэффициент диффузии?

53. Как протекает циклический механизм диффузии? В каких структурах наиболее вероятен?
54. Как протекает краудинный механизм диффузии? При каких условиях возможна реализация данного механизма?
55. Какое уравнение описывает температурную зависимость коэффициента диффузии?
56. Что такое процесс самодиффузии? В каких процессах и явлениях самодиффузия играет важную роль?
57. Для чего применяют метод Больцмана-Матано?
58. Кратко опишите суть эксперимента Смигельскаса и Киркендалла.
59. Каким образом можно контролировать пористость материалов при их диффузионном взаимодействии?
60. Что определяет первое уравнение Даркена? Каково его математическое представление?
61. Если предположить, что диффузионный поток  $J_A > J_B$ , то в сторону какого компонента  $A$  или  $B$  будет происходить смещение инертных маркеров?
62. Для нахождения чего используется второе уравнение Даркена? Каково его математическое представление?
63. Каково практическое применение уравнений Даркена?
64. Кратко опишите процесс диффузионной сварки.
65. Перечислите основные механизмы диффузии, присутствующие в процессе спекания порошков.
66. Почему диффузия по границам зерен протекает быстрее, чем в их объёме?
67. Как будет меняться скорость диффузии вдоль дислокаций при повышении температуры?
68. За счёт чего происходит переползание дислокаций?
69. Что влияет на скорость диффузии атомов вдоль границ зёрен?
70. Какие процессы протекают во время отдыха и полигонизации?
71. Кратко опишите особенности структуры после процесса рекристаллизации.
72. Что является движущей силой формирования зёрненной структуры в процессе рекристаллизации?
73. Что является движущей силой для первичной и собирательной рекристаллизации?
74. Какие факторы оказывают влияние на температуру рекристаллизации?
75. Какие факторы влияют на скорость рекристаллизации?
76. Что представляет собой диффузионная ползучесть? В чём отличие протекания диффузионной ползучести по механизму Набарро-Херринга и Кобла?
77. Кратко опишите скольжение Рачингера и Лифшица.
78. Цементация – это процесс термической обработки, применяемый для поверхностного упрочнения сталей. В результате какого механизма происходит диффузия углерода в поверхность стали?
79. Кратко опишите стадии образования оксидной плёнки.
80. О чём свидетельствуют следующие значения соотношения Пиллинга-Бедворта: а)  $P - B < 1$ , б)  $P - B = 1 - 2$ , в)  $P - B > 2$ ? Для каких материалов характерны такие значения (приведите примеры).
81. В каких случаях выполняются линейный, параболический, и логарифмический законы роста плёнок?
82. Почему для затвердевания требуется переохлаждение?
83. Изобразите кривую охлаждения для сплава эвтектического состава. Охарактеризуйте основные линии.
84. Что такое скорость охлаждения и как её можно определить на кривой охлаждения?
85. Кратко опишите явления перегрева и переохлаждения. Почему происходят эти явления?
86. Изобразите кривую охлаждения для сплавов с интервалом кристаллизации.

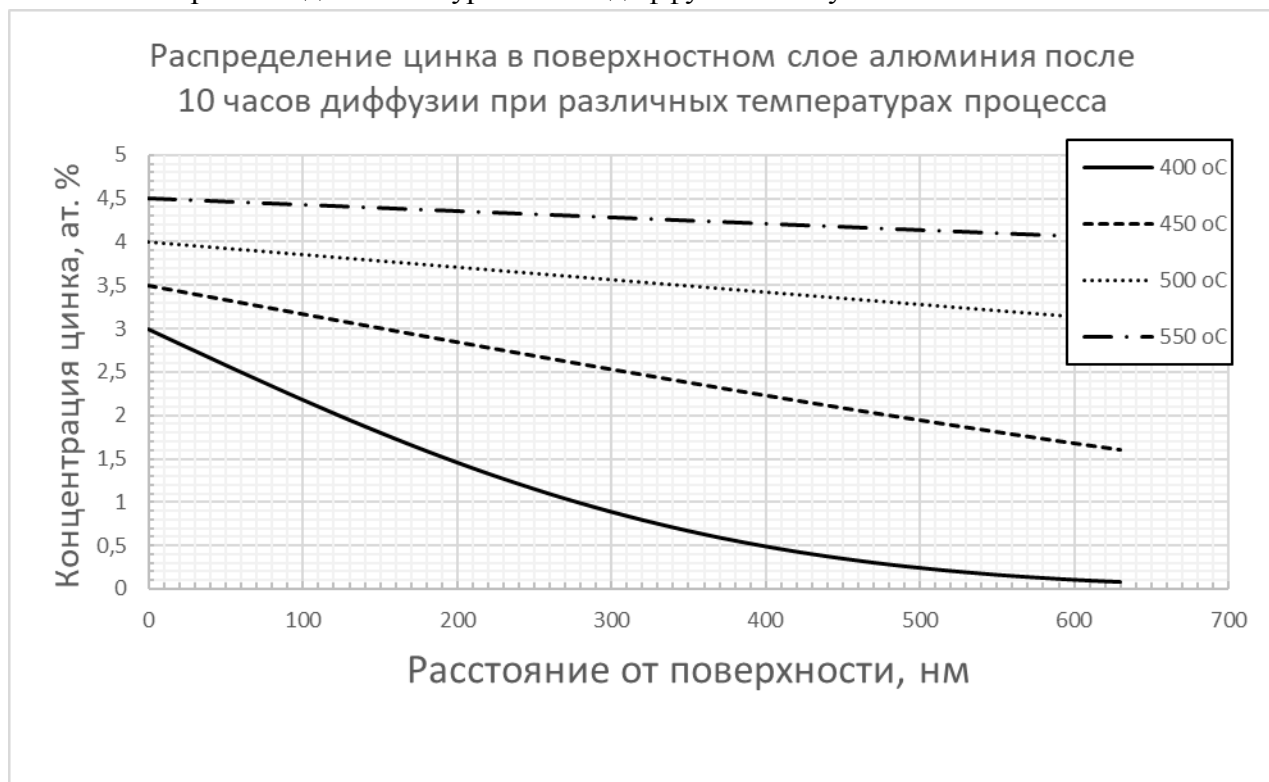
Охарактеризуйте основные линии.

87. Опишите, при каких условиях следует ожидать, что расплавленные металлы будут подвергаться дендритному затвердеванию?
88. Опишите, при каких условиях следует ожидать, что расплавленные металлы претерпят плоское фронтальное затвердевание?
89. Что влияет на морфологию границы раздела в процессе кристаллизации чистых металлов?
90. Как происходит переход от планарного роста к дендритному?
91. Назовите две стадии образования частиц новой фазы. Кратко опишите каждый из них.
92. В чём разница между гомогенным и гетерогенным зарождением?
93. Какие факторы влияют на общее изменение свободной энергии при гомогенном зарождении?
94. В каком случае зародышеобразование при гомогенном будет протекать быстрее: при понижении или повышении температуры? Почему?
95. При каком типе зарождения (гетерогенном или гомогенном) зародышеобразование протекает легче и почему?
96. Что влияет на скорость роста кристаллов?
97. О чём гласит правило Чворинова?
98. Почему в литых материалах затвердевание почти всегда начинается со стенок формы?
99. Изобразите кривую охлаждения, в соответствии с которой формируется дендритная структура.
100. Каково строение литой структуры? Опишите кратко основные структурные составляющие. По возможности нарисуйте литую структуру.
101. Что такое сегрегация и какие основные виды сегрегации существуют?
102. Что такое направленная кристаллизация? Какими способами она может быть реализована?
103. Назовите пять возможных видов диффузионных фазовых превращений?
104. Кратко опишите, как происходит выделение частиц второй фазы? Приведите примеры сплавов, в которых превращения происходят по данному механизму.
105. Кратко опишите, как происходит эвтектоидное превращение? Приведите примеры.
106. Кратко опишите, как происходит реакция упорядочения.
107. Кратко опишите, как происходит массивное превращение?
108. Кратко опишите, как происходит полиморфное превращение? Приведите примеры?
109. Что такое дисперсионное упрочнение? При каких условиях будет происходить упрочнение частицами второй фазы?
110. Кратко опишите, как происходит фазовое превращение для сплавов эвтектического состава?
111. От чего зависит форма дисперсных частиц, выделившихся при кристаллизации?
112. Что такое термическая обработка «старение»? Кратко опишите, какие основные этапы превращений характерны для данного вида термической обработки?
113. Как происходит образование эвтектоидных структур? Опишите на примере образования перлита?
114. Что представляют собой диаграммы изотермического превращения?
115. Кратко объясните, почему мелкодисперсный перлит твёрже и прочнее крупнодисперсного перлита?
116. Кратко опишите теории, в соответствии с которыми может происходить бейнитное превращение.
117. Каким образом происходит образование глобулярных структур? Что является движущей силой образования глобулярных структур?
118. Для чего применяют фазовые диаграммы непрерывного охлаждения?

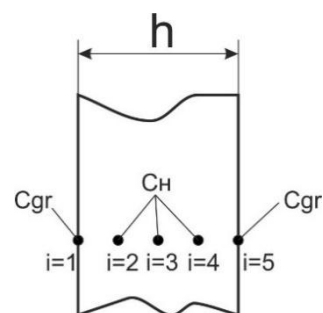
119. На основе диффузионных соображений объясните, почему мелкодисперсный перлит образуется при умеренном охлаждении аустенита до температуры эвтектоида, а крупнодисперсный перлит образуется при относительно медленном охлаждении?
120. Кратко объясните, почему на диаграмме непрерывного охлаждения сплава железа с углеродом эвтектоидного состава отсутствует область бейнитного превращения?

## 5. Задачи к экзамену по дисциплине «Термодинамика материалов»

1. На основании представленного графика определите коэффициент диффузии цинка в алюминии при температуре 400 °С. Считать, что распределение концентрации цинка в алюминии хорошо подчиняется уравнению диффузии в полубесконечном теле.



2. Используя метод конечных разностей решить следующую задачу. Начальная концентрация некоторого вещества в тонкой пластине постоянна и равна 3% ( $C_H$ ). Граничная концентрация вещества поддерживается постоянной, равной 1% ( $C_{gr}$ ). Толщина пластины –  $h$ , коэффициент диффузии  $D$ . Число узлов по толщине пластины взять равным 5. Коэффициент  $\tau = \frac{D \Delta t}{\Delta x^2}$  принять равным 0.25. **Построить на одном графике** концентрацию вещества  $Y$  в пластине в моменты времени  $m = 0$ ,  $m = 1$  и  $m = 2$  ( $m = 0$  – начальный момент времени (0 секунд),  $m = 1$  соответствует  $\Delta t$  секунд,  $m = 2$  соответствует  $2\Delta t$  секунд)

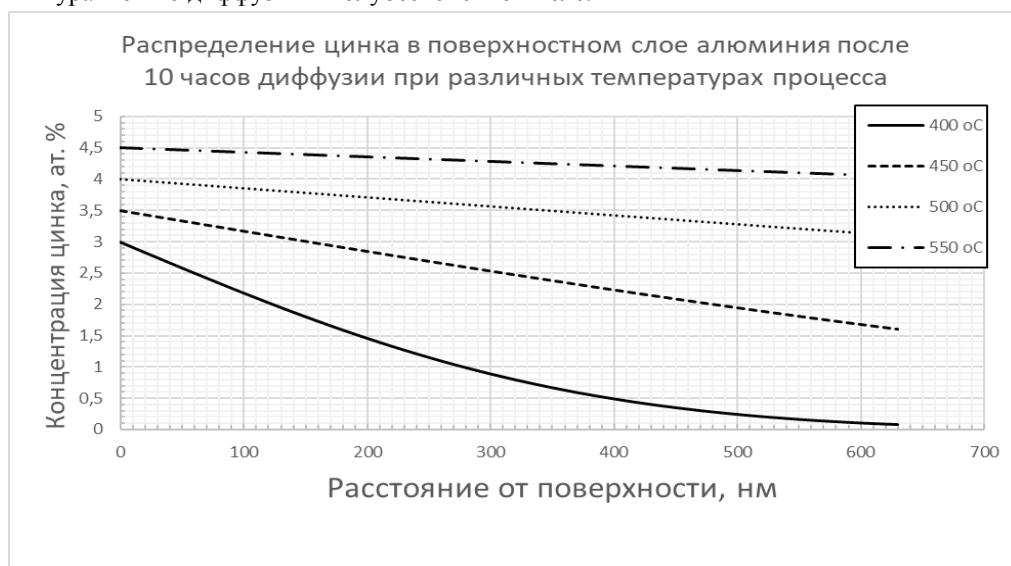


НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет МТФ

Билет № \_\_\_\_\_

к экзамену по дисциплине «Термодинамика материалов»

1. При каких значениях энергии Гиббса и Гельмгольца процессы протекают самопроизвольно, несамопроизвольно, остаются в равновесии?
2. Почему энтальпия  $\gamma$ -Fe при высоких температурах выше, чем энтальпия  $\alpha$ -Fe при низких температурах?
3. Что представляет собой энергия активации в диффузии?
4. В чём отличие аналитического метода решения диффузионных задач от численного?
5. Если предположить, что диффузионный поток  $J_A > J_B$ , то в сторону какого компонента  $A$  или  $B$  будет происходить смещение инертных маркеров?
6. Кратко опишите стадии процесса массопереноса при химико-термической обработке.
7. Какие факторы влияют на общее изменение свободной энергии при гомогенном зарождении?
8. Как происходит образование эвтектоидных структур? Опишите на примере образования перлита.
9. На основании представленного графика определите коэффициент диффузии цинка в алюминии при температуре 400 °С. Считать, что распределение концентрации цинка в алюминии хорошо подчиняется уравнению диффузии в полубесконечном теле.

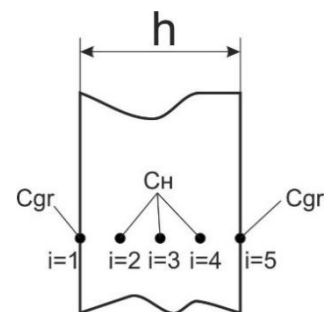


10.

И

используя метод конечных разностей решить следующую задачу.

Начальная концентрация некоторого вещества в тонкой пластине постоянна и равна 3% ( $C_H$ ). Граничная концентрация вещества поддерживается постоянной, равной 1% ( $C_{gr}$ ). Толщина пластины –  $h$ , коэффициент диффузии  $D$ . Число узлов по толщине пластины взять равным 5. Коэффициент  $\tau = \frac{D \Delta t}{\Delta x^2}$  принять равным 0.25. Построить на одном графике концентрацию вещества  $Y$  в пластине в моменты времени  $m = 0$ ,  $m = 1$  и  $m = 2$  ( $m = 0$  – начальный момент времени (0 секунд),  $m = 1$  соответствует  $\Delta t$  секунд,  $m = 2$  соответствует  $2\Delta t$  секунд)



Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись)

(дата)

## **Паспорт расчетно-графического задания (работы)**

по дисциплине «Термодинамика материалов», 4 семестр

### **1. Методика оценки**

Выполнение расчетно-графического задания (работы) (далее - РГЗ(Р)) является формой текущей аттестации (контроля) по дисциплине, предусмотренной учебным планом.

Цель РГЗ(Р): студенты должны освоить аналитические и численные методы решения задач, связанных с процессами термодинамики и кинетики различных процессов, протекающих в металлических материалах.

Обязательным элементом РГЗ(Р) являются решение уравнений диффузии, описание и обсуждение полученных результатов, оформление графиков и диаграмм с использованием компьютера.

Номер варианта соответствует порядковому номеру в зачетной книжки (студенческого билета).

РГЗ(Р) выполняется индивидуально.

Количество заданий достаточно для обеспечения, каждого обучающегося индивидуальным заданием РГЗ(Р).

Замена задания РГЗ(Р) осуществляется по согласованию с преподавателем из числа резервных (не занятых) заданий.

Перед выполнением задания студент должен ознакомиться с аналитическим методом и методом численного интегрирования для решения уравнений диффузии.

Преподаватель осуществляет руководство по выполнению задания, оказывает консультационную помощь и принимает отчет по РГЗ(Р).

По результатам выполнения РГЗ(Р) выполняется отчет, который состоит из следующих частей:

1. Титульный лист (см. Приложение 1)
2. Задание 1 (по вариантам)
3. Задание 2 (по вариантам)
4. Задание 3 (по вариантам)
5. Задание 4 (по вариантам)
6. Список литературы и источников

#### *Требования к оформлению:*

Объем РГЗ(З) 10-15 страниц машинописного текста формата А4. Шрифт Times New Roman, 14. Формулы набираются в редакторе MathType или с помощью команды Формула/Уравнение. Размещение сканированных формул не допускается. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа по центру арабскими цифрами. Работа должна быть отредактирована, не содержать орфографических, синтаксических и стилистических ошибок. На титульном листе должны быть указаны дисциплина, вариант РГЗ, фамилия, имя и группа студента. Титульный лист оформляется по образцу, приведенному на рисунке 1. Брошюровка работы должна быть книжной; поля: сверху – 2,0 см, слева – 1,5 см, внизу – 2,0 см, справа – 3,0 см. Шрифт набора текста должен быть 12-14 пунктов.

Межстрочный интервал полуторный. Текст должен иллюстрироваться.

Отчет в установленные сроки сдается на кафедру для проверки. Преподаватель оценивает качество работы, отмечает положительные стороны и недостатки работы и определяет, допускается ли она к защите. При необходимости преподаватель возвращает РГЗ(Р) студенту для доработки и устанавливает сроки повторного предоставления для проверки. До защиты работы студентом должны быть сделаны необходимые исправления и дополнения по всем замечаниям преподавателя.

При положительном результате оценивания РГЗ(Р) студент её распечатывает, передает на кафедру и защищает до сессии в назначенное преподавателем время.

Защита РГЗ(Р) состоит в индивидуальном устном собеседовании студента с преподавателем. В процессе защиты выявляется уровень знаний студента, степень его самостоятельности при выполнении работы. По результатам защиты студенту выставляется оценка в соответствии с критериями, приведенными в п. 2 настоящего Паспорта.

## **2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций**

Общие правила выставления оценок текущей аттестации определяются балльно-рейтинговой системой, установленной локальным актом НГТУ.

РГЗ(Р) считается выполненной **на продвинутом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно и без ошибок; все разделы РГЗ(Р) выполнены правильно и в полном объеме; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю в указанные сроки и не возвращалась для доработки; даны полные и развернутые выводы и рекомендации; на защите студентом даны уверенные и аргументированные ответы. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Закрепленные за РГЗ(Р) компетенции сформированы на продвинутом уровне. Оценка составляет *от 24 до 20 баллов*.

РГЗ(Р) считается выполненной **на базовом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно и без существенных ошибок; все разделы РГЗ(Р) выполнены правильно, но есть замечания к полноте предоставления информации; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю в указанные сроки и однократно возвращалась студенту для незначительной доработки; в заключении даны выводы и рекомендации; на защите студентом допущены непринципиальные ошибки. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Закрепленные за РГЗ(Р) компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 19 до 16 баллов*.

РГЗ(Р) считается выполненной **на пороговом** уровне, если все необходимые расчеты произведены самостоятельно, но с ошибками, часть из которых носит принципиальный характер; есть замечания к полноте предоставления информации; работа оформлена в соответствии с требованиями; сдана преподавателю, но неоднократно возвращалась студенту для доработки; в заключении даны краткие выводы; защита РГЗ(Р) вызывает у студента серьезные затруднения. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Закрепленные за РГЗ(Р) компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 15 до 13 баллов*.

РГЗ(Р) считается **не выполненной** (ниже порогового уровня), если расчеты произведены с серьезными ошибками; есть замечания к полноте предоставления информации и оформлению; РГЗ(Р) была сдана преподавателю, но неоднократно возвращалась студенту для доработки, что не привело к улучшению ее качества; РГЗ(Р) не



допущена до защиты, что свидетельствует о неудовлетворительном уровне достигнутых студентом результатов. Совокупность запланированных результатов и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит множественные существенные пробелы. Закрепленные за РГЗ(Р) компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее 12 баллов*.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

РГЗ(Р) как форма текущей аттестации (контроля) по дисциплине считается успешно выполненной, если сумма полученных баллов по всем его заданиям составляет от *12 до 24 баллов* включительно.

### 4. Примерный перечень тем заданий РГЗ(Р)

1. Используя решение 2го закона Фика для полубесконечного образца постройте на одном графике кривые распределения концентрации углерода по толщине стального образца стали с содержанием углерода  $N \cdot 0,025$  (где N – номер варианта) после цементации при следующих значениях температуры и времени цементации:

- а. 900 °С, 1 час
- б. 900 °С, 3 часа
- в. 900 °С, 10 часов
- г. 950 °С, 1 час
- д. 950 °С, 3 часа
- е. 950 °С, 10 часов
- ж. 1000 °С, 1 час
- з. 1000 °С, 3 часа
- и. 1000 °С, 10 часов

Коэффициент диффузии при разных температурах найдите из соотношения Аррениуса учитывая, что  $D_0 = 2,3 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $Q_a = 148 \text{ кДж/моль}$ . Для упрощения расчётов примите, что на границах образца концентрация углерода соответствует максимальной растворимости углерода в аустените при данной температуре.

2. Используя метод конечных разностей, решите задачу по цементации пластины из стали с концентрацией углерода  $N \cdot 0,025$  (где N – номер варианта) толщиной 5 мм и постройте на одном графике кривые распределения углерода по толщине пластины при следующих значениях температуры и времени цементации:

- а. 900 °С, 1 час
- б. 900 °С, 3 часа
- в. 900 °С, 10 часов
- г. 950 °С, 1 час
- д. 950 °С, 3 часа
- е. 950 °С, 10 часов
- ж. 1000 °С, 1 час

ж. 1000 °С, 3 часа

з. 1000 °С, 10 часов

Коэффициент диффузии при разных температурах найдите из соотношения Аррениуса учитывая, что  $D_0 = 2,3 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $Q_a = 148 \text{ кДж/моль}$ . Возьмите не менее 20 точек на толщину пластины. Для упрощения расчётов примите, что на границах образца концентрация углерода соответствует максимальной растворимости углерода в аустените при данной температуре.

Постройте все графики на одном рисунке.

3. В каких случаях из представленных в задаче 2 для решения задачи по цементации пластины можно было использовать приближение для полубесконечного образца? Для одного из выбранных случаев отобразите на одном графике решение задачи, полученное методом конечных разностей и точное решение задачи.

4. Определите глубину обезуглероженного слоя после отжига стального образца толщиной 1 мм из стали У8 при температуре 900 °С в течение 1 часа. Используйте для решения задачи метод конечных разностей. За обезуглероженный слой условно примите слой, в котором концентрация углерода снизилась более чем на 0,1%.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»  
Кафедра материаловедения в машиностроении

Расчетно-графическое задание  
по курсу «Термодинамика материалов»

Вариант \_\_\_\_\_

Факультет механико-технологический

Группа \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

Новосибирск \_\_\_\_\_ г.

Рисунок 1 – Титульная страница РГЗ.