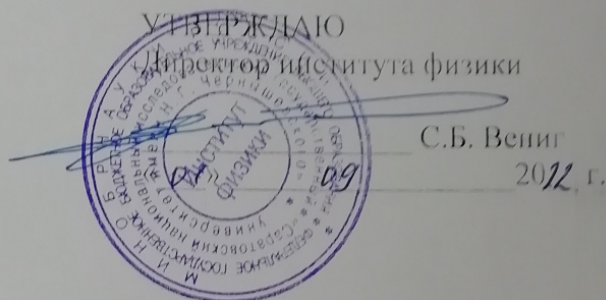


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики



Рабочая программа дисциплины

Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем

Направление подготовки бакалавриата  
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата  
«Физика и технология твердотельных электронных  
микро- и наноструктур»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2022

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Ломова М.В.		01.09.2022
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		01.09.2022
Заведующий кафедрой	Вениг С.Б.		01.09.2022
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний умений и владений и усвоение материала о физических и химических свойствах границ раздела фаз и коллоидных систем, которые необходимы для выполнения работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина по выбору «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем» является дисциплиной по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП бакалавриата и изучается студентами очной формы обучения института физики СГУ, обучающимися по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» по профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур» в течение 6 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, инженерной и компьютерной графике, квантовой механике, кристаллографии и кристаллофизике, термодинамике, электродинамике, физике полупроводников, подготавливает студентов к изучению в следующем семестре таких дисциплин как «Физико-химические основы технологии электроники и наноэлектроники», «Основы молекулярной электроники».

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-3 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<b>1.1_Б. ПК-3.</b> Аргументированно применяет методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик узлов и блоков установок электроники и наноэлектроники <b>2.1_Б. ПК-3.</b> Решает конкретные задачи по проведению исследований характеристик электронных приборов различного функционального назначения <b>3.1_Б. ПК-3.</b> Обрабатывает и анализирует результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяет эле-	<b><u>Знать:</u></b> ▪ физические и химические процессы, протекающие на границе раздела фаз и в коллоидных системах, которые используются в технологии создания и методах диагностики полупроводниковых структур, используемых в приборах твердотельной электроники и наноэлектроники. <b><u>Уметь:</u></b> ▪ теоретически анализировать, рассчитывать и экспериментально исследовать пара-

	менты новизны в разработке	метры и характеристики границы раздела фаз и коллоидных систем и управлять ими. <b>Владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>методиками экспериментального исследования границ раздела фаз и коллоидных систем, методами и основными подходами к их теоретическому описанию и анализу.</li> </ul>
--	----------------------------	---

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				5	6	7	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	
				Лек	Лаб	Пр	СРС	
1.	Роль физики и химии границы раздела фаз и коллоидных систем в технологии электроники и нанoeлектроники.	6	1-2	3		3	7	Устный опрос по пройденной теме, подготовка заданных упражнений
2.	Уравнение Кельвина (вывод, применение).		3-4	3		3	7	Устный опрос по пройденной теме, подготовка заданных упражнений
3.	Теория гомогенной нуклеации.		5-7	3		3	7	Устный опрос по пройденной теме, подготовка заданных упражнений
4.	Термодинамическое описание границы раздела фаз.		8-10	3		3	7	Устный опрос по пройденной теме, подготовка заданных упражнений
5.	Двойной заряженный слой.		11-13	2		2	6	Устный опрос по пройденной теме, подготовка заданных упражнений

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- местр	Неде- ля се- мест- ра	Виды учебной работы, включая самостоятель- ную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы те- кущего кон- троля успева- емости ( <i>по неделям се- местра</i> ) Формы про- межуточной аттестации ( <i>по семест- рам</i> )
				5	6	7	8	
1	2	3	4	Лек	Лаб	Пр	СРС	
6.	Электрокинетические явления.	6	14-15	2		2	6	Устный опрос по пройденной теме, подготовка заданных упражнений. <b>Контрольная работа. Реферат</b>
	<b>Промежуточная аттестация</b>							<b>Зачет</b>
	<b>Итого:</b>	<b>6</b>		<b>16</b>		<b>16</b>	<b>40</b>	
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>			<b>72</b>				

### Содержание дисциплины

1. **Роль физики и химии границы раздела фаз и коллоидных систем в технологии электроники и наноэлектроники.** Граница раздела жидкость-газ. Поверхностное натяжение. Уравнение Юнга-Лапласа (вывод, следствия, применение). Методы измерения поверхностного натяжения.

2. **Уравнение Кельвина (вывод, применение).** Капиллярная конденсация (конденсация в конической поре, конденсация между двумя сферами). Созревание Оствальда.

3. **Теория гомогенной нуклеации.** Критический радиус нуклеации. Скорость нуклеации. Иллюстрации применения. Виды нуклеации. Нуклеационный барьер.

4. **Термодинамическое описание границы раздела фаз.** Модель Гиббса. Модель Гюгенхайма. Понятие адсорбции или поверхностного избытка. Термодинамические параметры, характеризующие границу раздела фаз. Адсорбция Гиббса. Уравнение адсорбции Гиббса для одно- и двухкомпонентных систем. Поверхностноактивные, поверхностноинактивные и поверхностнонеактивные вещества. Эффект Марангони.

5. **Двойной заряженный слой.** Теория Пуассона-Больцмана. Уравнение Грэхема. Емкость двойного электрического слоя. Ограничения теории Пуассо-

на-Больцмана. Реальные поверхности. Заряженные поверхности (ионные кристаллы, оксиды, слюда, полупроводники).

6. **Электрокинетические явления.** Уравнение Навье-Стокса. Электроосмос. Потенциал течения. Электрофорез и электрокинетический потенциал. Метод Кельвина.

#### **Примерная тематика практических занятий (семинаров)**

- 1) Уравнение Юнга-Лапласа. Методы измерения поверхностного натяжения.
- 2) Уравнение Кельвина. Капиллярная конденсация. Созревание Оствальда.
- 3) Теория гомогенной нуклеации. Критический радиус нуклеации. Нуклеационный барьер. Скорость нуклеации. Виды нуклеации.
- 4) Термодинамические параметры, характеризующие границу раздела фаз. Уравнение адсорбции Гиббса для двухкомпонентных систем.
- 5) Двойной заряженный слой. Теория Пуассона-Больцмана. Уравнение Грэхема. Емкость двойного электрического слоя.
- 6) Заряженные поверхности (электролиты, оксиды, слюда, полупроводники).
- 7) Электрокинетические явления. Уравнение Навье-Стокса. Электроосмос. Потенциал течения. Электрофорез и электрокинетический потенциал.
- 8) Метод Кельвина.

#### **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

При реализации различных видов учебной работы (практические занятия (семинары), самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- исследовательские методы в обучении;
- дискуссии.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении лекций занятий активно используются ПК и мультимедийный проектор.

При проведении практических занятий (семинаров) в интерактивной форме осуществляется детальный анализ вопросов физики и химии поверхности и коллоидных систем.

При проведении более 50 % практических (семинарских) занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

Студентам предлагаются различные задания, направленные на углубленное освоение дисциплины «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем». По итогам выполнения этих заданий проводятся дискуссии, вовлекающие всех студентов в изучение современных проблем данной области.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим занятиям, к контрольной работе, в подготовке реферата, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 50 % аудиторных занятий. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 50 % аудиторных занятий.

#### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения и индивидуальных консультаций;
- использование дистанционных образовательных технологий.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, практическим занятиям, в выполнении заданий лектора.

#### Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;

- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения проверяется во время зачета.

Студентами в течение семестра должны быть изучены самостоятельно следующие темы:

1. Записать уравнения Лапласа для капли полученной между двух торцевых частей цилиндра.
2. Привести примеры практического применения правила созревания Оствальда.
3. Сравнить модели двойного заряженного слоя.
4. Рассказать о необходимости учета капиллярной конденсации при измерениях методом сканирующей зондовой микроскопии.

Устный опрос по этим темам проводится в рамках практических занятий. Критериями оценки являются: полнота самостоятельно изученного материала, способность аргументировать свои ответы, приводить примеры и т.д.

После завершения лекционного курса студенты должны выполнить контрольную работу, в которой необходимо дать письменный ответ на 3 вопроса. Критериями оценки являются: полнота информации, последовательность изложения материала, наличие примеров и т.д.

Примерные варианты контрольных работ:

### Вариант 1

1. Как зависит температура плавления наночастиц от размера. Дайте объяснение данной экспериментальной зависимости.
2. Оценить поверхностное натяжение циклогексана, если известна энергия испарения при  $t_0=25^\circ\text{C}$ ,  $\rho=773\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ,  $H=84.16\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$
3. Пластиковая коробка высотой  $h=1\text{м}$  наполнена водой. В дне сделано отверстие диаметром  $d=0.1\text{мм}$ . Пластик считать гидрофобным  $\sigma=72\frac{\text{Н}}{\text{м}}$
4. Дано поверхностное натяжение

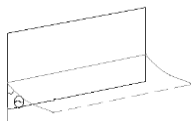
	10°C	20°C	50°C
метанол	23.23	22.07	20.14
Октан	22.57	21.14	18.77

Вычислить поверхностную энтропию и внутреннюю энергию при  $T=25^\circ\text{C}$ .

### Вариант 2

1. Рассчитать отношение поверхностных атомов к атомам находящимся в объеме для радиуса золотых наночастиц, температура плавления которых на 300 градусов меньше температуры плавления объемного золота.
2. Оценить давление в сферическом пузырьке, который находится в воде, если его диаметр а)  $d_1=2\text{мм}$ ; б)  $d_2=20\text{нм}$  и сравнить его с атмосферным давлением.  $\sigma=72\frac{\text{Н}}{\text{м}}$

3. Пластина Вильгельми. Краевой угол смачивания  $\theta=45^\circ$ .  $\sigma=72 \text{ мН/м}$ . Найти силу поверхностного натяжения.



4. Поверхностное натяжение воды с мольной фракцией пропанола при  $T=25^\circ\text{C}$ :

$X_1=0.001$	67.4 мН/м
$X_2=0.002$	64.4 мН/м
$X_3=0.003$	61.9 мН/м
$X_4=0.004$	59.7 мН/м
$X_5=0.005$	57.7 мН/м
$X_6=0.006$	55.8 мН/м
$X_7=0.007$	54.1 мН/м

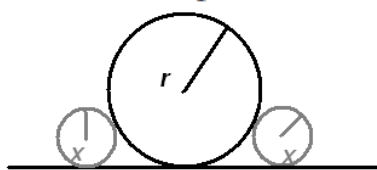
Определить  $\Gamma$  для  $X_2, X_4, X_6$ . Будет ли  $\Gamma$  линейно зависеть от мольной фракции пропанола?

### Вариант 3

1. При каких размерах золотые наночастицы начинают проявлять каталитические свойства?

2. Имеем пористое твердое тело, по всем трем направлениям поры одинаковы.  $T=20^\circ\text{C}$ , влажность  $\varphi=90\%$ . Найти радиус капилляра, который заполнится водой.

3. Гидрофильная сфера  $r=5\text{мкм}$  лежит на гидрофильной поверхности. Вода конденсируется в порах. Чему равна длина окружности мениска? В равновесии влажность  $\frac{P_0^k}{P_0}$



4. В мыльные пузыри для стабилизации добавляют ПАВ,  $c=2\text{мМ}=2 \cdot 10^{-3}\text{моль/л}$ . В среднем 1 молекула ПАВ занимает площадь  $A=0.7\text{нм}^2$ . Узнать изменение давления внутри пузыря  $r=1\text{см}$  по сравнению с гипотетическим пузырем того же диаметра без ПАВ.

### Вариант 4

1. Как зависит поверхностное натяжение жидкости от температуры?

Какое значение принимает поверхностное натяжение жидкости при критической температуре?

2. Кварцевая сфера висит на второй подобной сфере, причем частица держится за счет капиллярных сил. Найти, при каком радиусе сфер силы тя-



жести будет достаточно, чтобы разорвать частицы. Жидкость-вода,  $\rho_{\text{кварца}}=3000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\sigma_{\text{воды}}=72 \text{ мН/м}$ .

3. Поверхностное натяжение измеряется цилиндром, у которого  $l=1 \text{ см}$ ,  $r=1 \text{ мм}$ . Равнодействующая сил поверхностного натяжения равна  $F=0.49 \text{ мН}$ . Найти  $\sigma$ . Чему равно поверхностное натяжение, если контактный угол  $>90^\circ$ ? При абсолютно гидрофильной (гидрофобной) поверхности?

4. Микрофлюидная система имеет стеклянный капилляр

( $\xi_{\text{стекла}} = -30 \text{ мВ}$ ),  $r=10 \text{ мкм}$ ,  $l=5 \text{ см}$ . В водном растворе хлорида калия концентрация  $[\text{KCl}]=0.01 \text{ М}$ . К капилляру прикладывают  $U=5 \text{ В}$ . Найти  $v$ .

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета (3-й семестр).

### Список вопросов к устному зачету:

1. Граница раздела жидкость-газ. Поверхностное натяжение. Методы измерения поверхностного натяжения.
2. Вывести уравнение Юнга-Лапласа. Перечислить следствия из уравнения Юнга-Лапласа. Записать уравнения Лапласа для случая сферической капли воды, и для пузырька воздуха.
3. Вывести уравнение Кельвина. Провести анализ с применением уравнения Кельвина для случая сферической капли воды, и для пузырька воздуха.
4. Рассказать о капиллярной конденсации (конденсация в конической поре, конденсация между двумя сферами)
5. Рассказать о теории гомогенной нуклеации. Вывести уравнение для определения критического радиуса нуклеации.
6. Дать понятие нуклеационного барьера и провести сравнительный анализ данного параметра анализируя различные виды нуклеации.
7. Рассказать о термодинамических параметрах, характеризующие границу раздела фаз.
8. Записать уравнение адсорбции Гиббса для двухкомпонентных систем и ввести понятие поверхностноактивных, поверхностноинактивных и поверхностнонеактивных веществ.
9. Объяснить эффект Марангони.
10. Рассказать о модели двойного заряженного слоя
11. Записать уравнение Пуассона-Больцмана в общем и линеаризованном виде. Записать решение уравнения Пуассона-Больцмана для линеаризованного вида.
12. Записать уравнение Грэхема. Вывести соотношение для емкости двойного электрического слоя.
13. Рассмотреть заряженные поверхности ионных кристаллов.
14. Рассмотреть заряженные поверхности оксидов и полупроводников.

15. Перечислить электрокинетические явления
16. Записать уравнение Навье-Стокса.
17. Вывести выражение для вычисления электрокинетического потенциала и проанализировать зависимость данного от параметров среды диспергирования.
18. Рассказать об измерении поверхностного потенциала методом Кельвина.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	5	-	40	15	-	-	40	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента

#### 6 семестр

#### **Лекции (0-5 баллов)**

Работа на лекциях, участие в обсуждениях, дискуссиях, краткие сообщения, доклады.

Критерии оценки:

не более 50% от числа занятий в семестре – 0 баллов;

от 51% до 60% - 1 балл;

от 61% до 70% - 2 балла;

от 71% до 80% - 3 балла;

от 81% до 90% - 4 балла;

от 91% до 100% - 5 баллов.

#### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.

#### **Практические занятия (0-40 баллов)**

Практические занятия посвящены освоению 8 тем, в рамках которых студентам предлагаются различные задания. Освоение каждой темы оценивается в диапазоне 0-4 балла. Критерии оценки: самостоятельность при выполнении ра-

боты, активность работы в аудитории, правильность выполнения заданий, уровень подготовки к занятиям и т.д.

По итогам освоения всех тем проводится контрольная работа, задания охватывают весь пройденный материал. Выполнение контрольной работы оценивается в диапазоне 0-8 баллов. Критерии оценки: правильность выполнения заданий, уровень знаний, демонстрируемых студентом.

### **Самостоятельная работа (0-15 баллов)**

Решение заданий для самоконтроля. Критерии оценки: правильность решения, общий уровень знаний.

### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### **Другие виды учебной деятельности**

Не предусмотрены.

### **Промежуточная аттестация (зачет) (0-40 баллов)**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем» оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме устного собеседования.

Ранжирование баллов при проведении промежуточной аттестации:

**36-40 баллов** - ответ на «отлично»

**30-35 баллов** - ответ на «хорошо»

**25-29 баллов** - ответ на «удовлетворительно»

**0-24 баллов** - ответ на «не удовлетворительно»

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 семестр по дисциплине «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем» составляет 100 баллов.

Таблица 2.1. Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем» в оценку (зачет).

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) литература:**

- 1. А. А. Барыбин.** Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Текст] : учеб. пособие / - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 423, [1] с. - Библиогр.: с. 415-416 (30 назв.). - Предм. указ.: с. 417-423. - ISBN 978-5-9221-0679-5
- 2. И. П. Суздалев.** Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст] / - Москва : КомКнига, 2006. - 589, [3] с. : рис., табл. - (Синергетика: от прошлого к будущему). - ISBN 5-484-00243-5 (в пер.)
- 3. А. А. Барыбин, В. Г. Сидоров.** Физико-технологические основы электроники [Текст] : учеб. пособие / - Санкт-Петербург : Лань, 2001. - 268, [4] с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр. - ISBN 5-8114-0369-0 (в пер. )
- 4. В. В. Пасынков, В. С. Сорокин.** Материалы электронной техники [Текст] : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности электрон. техники / - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2003. - 366, [2] с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр. - ISBN 5-8114-0409-3 (в пер.)

### **б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. MathCad 14.0
5. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/window/>
6. Зональная научная библиотека им. В.А. Артисевич Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Занятия по дисциплине «Физика и химия границы раздела фаз и коллоидных систем» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, лабораторным оборудованием, наглядными демонстрационными материалами, плакатами, соответствующих действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению «Электроника и микроэлектроника» и профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур».

Автор: доцент, к.ф.-м.н. Ломова М.В.

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников 30 октября 2019 г., протокол № 3.

Программа актуализирована в 2021 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников от 20.09.2021 г., протокол № 1.1.

Программа актуализирована в 2022 г. и одобрена на заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством от 31.08.2022 г., протокол № 1.