

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 18.01.2024 11:44:43  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«14» октября 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ПРОЕКТА**

Направления подготовки  
19.04.01 – Биотехнология

Программы магистратуры  
Все программы

Квалификация  
**Магистр**

Форма обучения  
**Заочная**

**Факультет механический**  
**Кафедра теоретических основ материаловедения**

Санкт-Петербург  
2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

| Должность | Подпись | Ученое звание,<br>фамилия, инициалы |
|-----------|---------|-------------------------------------|
| Доцент    |         | В.В. Томаев                         |

Рабочая программа дисциплины «Организация научного проекта» обсуждена на заседании  
кафедры теоретических основ материаловедения  
протокол от 31.08.2022 № 10  
Заведующий кафедрой профессор М. М. Сычѳв

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от 10.10. 2022 № 2  
Председатель доцент А. Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

|  |  |                  |
|--|--|------------------|
| Руководитель направления 19.04.01<br>«Биотехнология»               |  | М.А.Пушкарѳв     |
| Директор библиотеки  |  | Т.Н. Старостенко |
| Начальник методического отдела учебно-<br>методического управления |  | М.З.Труханович   |
| Начальник УМУ  |  | С.Н. Денисенко   |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы ..... | 04 |
| 2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....   | 06 |
| 3. Объем дисциплины .....   | 06 |
| 4. Содержание дисциплины.....   | 07 |
| 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....   | 07 |
| 4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины ..  | 07 |
| 4.3. Занятия лекционного типа.....  | 08 |
| 4.4. Занятия семинарского типа (занятия семинарского типа).....   | 12 |
| 4.5. Самостоятельная работа.....  | 13 |
| 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....  | 14 |
| 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....  | 14 |
| 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....  | 15 |
| 8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины .....   | 16 |
| 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....  | 16 |
| 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....                           | 17 |
| 10.1. Информационные технологии.....  | 17 |
| 10.2. Программное обеспечение.....  | 18 |
| 10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....  | 18 |
| 11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....                                  | 18 |
| 12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....  | 18 |
| Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....  | 19 |

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Для освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код и наименование компетенции  | Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Планируемые результаты обучения (дескрипторы)  |
|---|--|--|
| <p><b>УК-1</b> Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий</p> | <p><b>УК-1.1</b> Осуществление выбора информационных ресурсов и систематизация информации, полученную из разных источников, в соответствии с поставленной задачей.</p> <p><b>УК-1.2</b> Анализ проблемной ситуации как системы, выявление ее составляющие и связи между ними.</p> <p><b>УК-1.3</b> Умение готовить аналитический обзор по заданной научной теме, сопоставление данные различных источников с использованием критического подхода</p> | <p><b>Знать:</b> информационные ресурсы в своей профессиональной области (ЗН-1)</p> <p><b>Уметь:</b> систематизировать информацию в соответствии с поставленной задачей. (У-1)</p> <p><b>Уметь:</b> связать решение поставленной задачи с приёмами решения известных задач из смежных отраслей, предложить различные пути её решения, основываясь на междисциплинарных знаниях. (У-2)</p> <p><b>Знать:</b> этапы проведения аналитического обзора литературы и патентного поиска, стандарты на оформления ссылок на источники информации (ЗН-2)</p> <p><b>Уметь:</b> критически сравнивать информацию из различных источников и формулировать выводы из её обзора. (У-3)</p> |
| <p><b>УК-2</b> Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</p>  | <p><b>УК-2.1</b> Формулирование цели, задачи, значимости, ожидаемых результатов научного проекта.</p> <p><b>УК-2.2</b> Знание методы управления научными проектами, этапов жизненного цикла проекта</p>  | <p><b>Уметь:</b> сформулировать цель научного исследования и предложить методы её достижения, оценить значимость результатов научного проекта. (У-4)</p> <p><b>Знать:</b> этапы и стадии жизненного цикла научного проекта, источники финансирования НИР, методы планирования НИР. (ЗН-3)</p> <p><b>Уметь:</b> оценивать научную и социальную значимость</p>   |

| Код и наименование компетенции  | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Планируемые результаты обучения (дескрипторы)  |
|---|---|--|
|   |   | научного проекта. (У-5)  |
| <p><b>УК-3</b> Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели</p> | <p><b>УК-3.1</b> Участие в выполнении проектов группового характера на различных стадиях их подготовки и реализации.</p> <p><b>УК-3.2</b> Планирование командной работы, распределение поручения и делегирование полномочия членам команды с учетом интересов, особенностей поведения и мнений ее членов.</p> | <p><b>Уметь:</b> при необходимости возглавить рабочую группу для выполнения конкретного задания (стадии проекта). (У-6)</p> <p><b>Знать:</b> основные принципы организации деятельности научного коллектива. (ЗН-4)</p> <p><b>Владеть:</b> методами сплочения научного коллектива и руководить научным коллективом и (Н-1)</p> |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Организация научного проекта» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры и изучается в 1 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на общеобразовательные дисциплины по физике, математике и химии.

Компетенции, приобретенные в результате освоения дисциплины, будут использованы магистрантами при подготовке, выполнении и защите квалификационной работы, при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических и организационно-управленческих задач в будущей профессиональной деятельности.

## 3. Объем дисциплины

| Вид учебной работы  | Всего,<br>ЗЕ/академ. часов |
|---|----------------------------|
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц / академических часов) | <b>3 / 108</b>             |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                      | <b>16</b>                  |
| занятия лекционного типа  | 8                          |
| занятия семинарского типа, в т.ч.   | -                          |
| семинары, практические занятия  | 8                          |
| лабораторные работы   | -                          |
| курсовое проектирование (КР или КП)   | -                          |
| КСР   | -                          |
| другие виды контактной работы   | -                          |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>88</b>                  |
| <b>Формы текущего контроля</b>  | 2 Контр. раб.              |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b>   | <b>Зачет (4)</b>           |

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п./п.       | Наименование раздела дисциплины  | Занятия лекционного типа, акад. часы | Занятия семинарского типа, акад. часы |                     | Самостоятельная работа, акад. часы | Формируемые компетенции/ |
|---------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------|
|               |  |                                      | Семинары и/или практические занятия   | Лабораторные работы |                                    |                          |
| 1             | Методология научного познания и творчества                             | 2                                    | 2                                     |                     | 22                                 | УК-1                     |
| 2             | Организация научных исследований                                       | 2                                    | 2                                     |                     | 18                                 | УК-1, УК-2, УК-3         |
| 3             | Организация и управление научным проектом                              | 1                                    | 1                                     |                     | 16                                 | УК-1, УК-2, УК-3         |
| 4             | Система научной подготовки студентов                                   | 1                                    | 1                                     |                     | 16                                 | УК-1                     |
| 5             | Социальные функции науки и изменение роли науки в современном обществе | 2                                    | 2                                     |                     | 16                                 | УК-2                     |
| <b>ИТОГО:</b> |  | <b>8</b>                             | <b>8</b>                              | <b>-</b>            | <b>88</b>                          |                          |

##### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

| № п/п | Код индикаторов достижения компетенции | Наименование раздела дисциплины  |
|-------|--|--|
| 1     | УК-1.1; УК-1.2                         | Методология научного познания и творчества                               |
| 2     | УК-1.1; УК-1.3; УК-2.1; УК-3.2         | Основные направления развития научных исследований в России и за рубежом |
| 3     | УК-2.2; УК-3.1; УК-3.2                 | Организация и управление научным проектом                                |
| 4     | УК-1.3                                 | Система научной подготовки студентов                                     |
| 5     | УК-2.2                                 | Социальные функции науки и изменение роли науки в современном обществе   |

#### 4.3. Занятия лекционного типа.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
| 1, 2, 3              | <p><b>Цели, предмет, метод и задачи, обзор тем курса</b><br/>Значение и сущность науки, научного поиска, научных исследований.</p> <p><b>Основы методологии научного знания</b><br/>Классификация методов исследования (научного познания) по широте охвата областей знаний: всеобщие методы познания (диалектика и метафизика), общенаучные, частные, специальные.</p> <p><b>Проблемы циклического развития науки</b><br/><b>определение уровня науки в различных странах</b><br/>Методические основы определения уровня науки в различных странах мира.</p> <p><b>Организационная структура и тенденции развития науки в Российской Федерации</b><br/>Государственная политика в сфере науки и инноваций. Доктрина развития российской науки. Наука как национальное достояние.</p> <p><b>Методология и методика научного исследования.</b><br/>Понятийный аппарат в области научных исследований (Научное исследование. научное направление, структурные единицы научного направления, объект и предмет исследования, проблема, тема, научные вопросы и т.п.). Фундаментальные, прикладные и поисковые исследования. Эксперимент как основа научных исследований. Классификация научно-исследовательских работ (НИР, НИОКР, ОКР).</p> <p><b>Организация и этапы научных исследований</b><br/>Процесс научного исследования. Методологический замысел исследования.</p> <p><b>Поиск и обработка научной информации по теме исследования</b><br/>Документальные источники информации. Виды документов. Методы работы с каталогами и картотеками. Универсальная десятичная классификация (УДК). Библиотечно-библиографическая классификация (ББК). Библиографические указатели.</p> <p><b>Теоретические и экспериментальные исследования и обработка их результатов</b><br/>Требования и особенности теоретических исследований. Структура и модели теоретического исследования. Построение логической структуры теоретического исследования. Общие сведения об экспериментальных исследованиях. Классификация проектов. Ключевые особенности проекта. Характеристика проекта.</p> | 2                 | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
| 1, 2, 3,4            | <p><b>Жизненный цикл и фазы проекта</b><br/> Понятие жизненного цикла проекта как определенной последовательности этапов по реализации той или иной идеи касательно производственного или управленческого процесса. Стадии жизненного цикла проекта: инициация, планирование, завершение. Основные фазы жизненного цикла проекта. Особенности жизненного цикла проекта. Принципы жизненного цикла проекта.</p> <p><b>Процессы управления проектами</b><br/> Введение в концепцию управления проектами, как совокупность взаимосвязанных процессов. Процессы проекта. Группы процессов. Наложение групп процессов в фазе. Взаимосвязи процессов. Процессы инициации. Процессы планирования. Основные процессы планирования. Вспомогательные процессы планирования. Процессы исполнения и контроля. Процессы анализа, включающие анализ плана и анализ исполнения проекта. Процессы управления.</p> <p><b>Структурная организация коллектива и методы управления научным проектом</b><br/> Структурная организация участников проекта (научного коллектива). Основные принципы организации деятельности научного коллектива. Роль руководителя проекта. Сферы ответственности и компетенции руководителя проекта. Требования к руководителю проекта. Желательные характеристики личности руководителя проекта. Методы сплочения научного коллектива. Психологические аспекты взаимоотношений руководителя и подчиненного. Особенности научной деятельности.</p> <p><b>Оформление и реализация результатов научного проекта</b><br/> Структура научной работы. Формы представления результатов исследования. Опубликование результатов.</p> <p><b>Система научной подготовки студентов</b><br/> Роль высшей школы в подготовке специалистов. Значение научных исследований в формировании современного специалиста. государственных конкурсов и грантов для учащихся ВУЗов.</p> | 4                 | Лекция-беседа       |
| 5                    | <p><b>Социальные функции науки и изменение роли науки в современном обществе</b><br/> Социальные функции науки (функция культурно-мировоззренческая, непосредственной производительной силы, социальной силы).</p>   | 2                 | Лекция-беседа       |

#### 4.4. Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма         |
|----------------------|---|-------------------|-----------------------------|
| 1, 2, 3              | <p>Нормативные документы СПбГТИ(ТУ), Минобрнауки РФ, касающиеся обучения. Содержание учебного плана, его заполнение, выполнение установленных в плане требований. Структура магистерской диссертации, требования к ней, защита диссертации. Учебный план, его анализ. Формулирование темы научного исследования. Формулирование цели и задач исследования. Рабочая гипотеза, составление плана исследования. Традиционные и нетрадиционные методы сбора и защиты научной информации. Поиск и анализ литературы по теме диссертационного исследования, подготовка аналитического обзора. Использование возможностей библиотек, интернет-ресурсов. Патентный поиск. ГОСТ Р 15.011-96. Научные социальные сети: ResearchGate; Mendeley; ScientificSocialCommunity; <u>LinkedIn</u>; <u>SciPeople</u> и др. Компьютерное моделирование материалов. Моделирование методом конечных элементов. Подготовка к эксперименту. Методы планирования экспериментов. Точность методов и средств измерения. Достоверность полученных результатов. Виды и классификация проектов. Ключевые особенности научного проекта. Стадии и основные фазы жизненного цикла проекта: инициация, планирование, завершение. Конкурсы различных уровней для поддержания научных исследований в РФ. Поиск информации по грантам, конкурсам, подготовка заявки на проект (РНФ, РФФИ, УМНИК, КНВШ). Характеристики личности руководителя проекта и требования, предъявляемые к нему. Методы сплочения научного коллектива.</p> | 4                 | Групповая научная дискуссия |
| 4, 5                 | <p>Формы и методы НИРС в учебном процессе ВУЗа. Элементы НИРС: научное реферирование. Литературный обзор. Публикация результатов исследования в форме тезисов доклада на конференцию, научной статьи. Социальные функции науки. Наука и нравственность. Три сферы взаимодействия науки и нравственности.</p>  | 4                 | Разбор конкретных ситуаций  |

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения   | Объем, акад. часы | Форма контроля |
|----------------------|---|-------------------|----------------|
| 1,2                  | Общие сведения о науке. Основные этапы развития науки. Понятийный аппарат в области научных исследований. Структурная схема процесса познания. Основные структурные элементы теории познания.   | 4                 | устный опрос   |
|                      | Классификация методов исследования (научного познания) по широте охвата областей знаний. Общенаучные методы теоретических исследований  | 4                 | доклад         |
| 2,4                  | Уровень развития и основные направления научных исследований в различных странах мира.  | 4                 | устный опрос   |
|                      | Доктрина развития российской науки. Нормативно-правовая регламентация научной деятельности. Организации, осуществлявшие научную деятельность в РФ. Значение научных исследований в формировании современного специалиста.                       | 4                 | доклад         |
|                      | Фундаментальные, прикладные и поисковые исследования. Эксперимент как основа научных исследований. Классификация научно-исследовательских работ (НИР, НИОКР, ОКР).  | 8                 | устный опрос   |
|                      | Выбор направления научного исследования. Основные этапы выполнения НИР. Формулирование темы научного исследования. Планирование исследования. Задачи научного исследования.   | 4                 | доклад         |
|                      | Методы работы с каталогами и картотеками. Универсальная десятичная классификация (УДК). Библиотечно-библиографическая классификация (ББК). Библиографические указатели. Последовательность поиска документальных источников научной информации. | 8                 | доклад         |
|                      | Методы и особенности теоретических исследований. Общие сведения об экспериментальных исследованиях. Классификации экспериментов.  | 4                 | устный опрос   |

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения   | Объем, акад. часы | Форма контроля |
|----------------------|---|-------------------|----------------|
| 3,5                  | Характеристика проекта. Виды и классификация проектов.  | 8                 | устный опрос   |
|                      | Понятие «участники проекта». Ближнее и дальнее окружение проекта. Внутренняя среда проекта.   | 4                 | доклад         |
|                      | Понятие стадии жизненного цикла проекта. Основные фазы жизненного цикла проекта. Особенности жизненного цикла проекта. Принципы жизненного цикла проекта.   | 8                 | доклад         |
|                      | Концепция управления проектами, как совокупность взаимосвязанных процессов. Процессы проекта. Группы процессов. Наложение групп процессов в фазе. Взаимосвязи процессов.                                | 4                 | устный опрос   |
|                      | Структурная организация участников проекта. Роль руководителя проекта. Сферы ответственности и компетенции руководителя проекта. Требования к руководителю проекта.                                     | 8                 | устный опрос   |
|                      | Формы представления результатов исследования. Структура научного отчета.  | 4                 | устный опрос   |
| 1,3,4                | Основные признаки изобретения. Патент на полезную модель. Цели и методика проведения патентного поиска? Виды научных публикаций и изданий.? Научные документы, публикуемые по результатам исследований. | 8                 | устный опрос   |
| 1,2,5                | Социальные функции науки. Наука и нравственность. Три сферы взаимодействия науки и нравственности.  | 4                 | устный опрос   |

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («зачтено») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в форме выступлений на семинарских занятиях с докладом на выбранную студентами тему как индивидуально, так и в составе малых групп, проверки индивидуальных заданий на практических занятиях.

## Примерные темы докладов

1. Основные функции науки.
2. Критерии научного знания и их специфика.
3. Роль государства в развитии научных исследований
4. Процесс научного исследования.
5. Методологический замысел исследования.
6. Методы работы с каталогами и картотеками.
7. Последовательность поиска документальных источников научной информации
8. Организация рабочего места экспериментатора.
9. Влияние психологических факторов на ход и качество эксперимента.
10. Анализ полученных результатов, выявление закономерностей.
11. Структура научных публикаций.
12. Ключевые особенности научного проекта.
13. Основные фазы жизненного цикла проекта
14. Основные характеристики проекта и зависимость между ними.
15. Основные участники проекта и их функции.
15. Организация командной работы исследователей
16. Методы сплочения научного коллектива
17. Специфика современных технологий

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 1 семестра в виде зачета в устной форме. К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Зачет предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на зачете:

1. Формы и направления грантовой поддержки научных исследований.
2. Перечислите основные принципы организации деятельности научного коллектива.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

## 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Кожухар, В. М. Основы научных исследований: учебное пособие / В. М. Кожухар. - Москва: Дашков и К°, 2012. - 216 с. - ISBN 978-5-394-00346-2.
2. Основы научных исследований: учебное пособие по спец. "Менеджмент организации" / Б. И. Герасимов, В. В. Дробышева, Н. В. Злобина [и др.]. – Москва: Форум, 2011. – 267 с. - ISBN 978-5-91134-340-8.
3. Пешехонов, А.А. Обработка и представление экспериментальных данных: учебное пособие/ А.А. Пешехонов, В.В. Куркина, К.А. Жаринов. - СПб., СПбГТИ (ТУ), 2011.- 50 с.
4. Соснов, Е. А. Основы научных исследований: Текст лекций в 2 ч. / Е. А.Соснов - Ч.1.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 128 с.
5. Соснов, Е. А. Основы научных исследований: Текст лекций в 2 ч. / Е. А.Соснов - Ч.2.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 88 с.
6. Соснов, Е. А. Основы научных исследований: Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы. / Е. А. Соснов, Н. В. Захарова - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 40 с.

7. Данильчук, В. С. Основы научных исследований: учебное пособие / В. С. Данильчук.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 69 с.
8. Несмелов, Д. Д. Основы научных исследований: учебное пособие / Д. Д. Несмелов, М. Е. Воронков, И. Н.Медведева. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 77 с.
9. Рыжков, И. Б. Основы научных исследований и изобретательства / И. Б. Рыжков. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2013.- 222 с. ISBN 978-5-8114-1264-8.
10. Соснов, Е. А. Защита интеллектуальной собственности/ Е. А.Соснов.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 64 с.
11. Батраков, С. Ю. Основы управления проектами. Часть I: учебное пособие / С. Ю. Батраков. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2013. – 140 с.
12. Батраков, С. Ю. Основы управления проектами. Часть II: учебное пособие / С. Ю. Батраков. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2014. – 140 с.
13. Иваненко А. Ю. Основы обработки и анализа экспериментальных данных научных исследований: учебное пособие / А. Ю. Иваненко, М. А. Яблокова; СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015. - 115 с. – **50 экз.**

#### **б) электронные издания:**

1. Соснов, Е. А. Основы научных исследований: в 2-х ч.: текст лекций / Е. А. Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2014. Ч. 1. - 127 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Соснов, Е. А. Основы научных исследований: в 2-х ч.: текст лекций / Е. А. Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2014. Ч. 2. - 87 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. Соснов, Е. А. Основы научных исследований: Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы / Е. А.Соснов, Н. В. Захарова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2016. - 40 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
4. Данильчук, В. С. Основы научных исследований: учебное пособие / В. С. Данильчук; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2016.- 69 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
5. Несмелов, Д. Д. Основы научных исследований: учебное пособие / Д. Д. Несмелов, М.Е.Воронков, И.Н.Медведева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2015.- 77 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

6. Соснов, Е.А. Защита интеллектуальной собственности / Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2013.- 64 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7. Иваненко А.Ю. Основы обработки и анализа экспериментальных данных научных исследований: учебное пособие / А. Ю. Иваненко, М. А. Яблокова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2015. - 115 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

8. Батраков, С.Ю. Основы управления проектами. Часть II: учебное пособие / С.Ю. Батраков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2014. – 140 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

## **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - [media.technolog.edu.ru](http://media.technolog.edu.ru)
2. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
4. Научная электронная библиотека периодических изданий eLIBRARY. - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
5. Информационно-поисковая система Федерального института промышленной собственности - <http://www1.fips.ru/>
6. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). - <http://www.altshuller.ru>
7. Черный, А.А. Основы изобретательства и научных исследований: Учебное пособие./ А.А.Черный.- Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.- 253 с. (<http://window.edu.ru/resource/646/72646>)
8. Кокшарова, Т.Е. Основы научных исследований: Учебно-методическое пособие./ Т.Е.Кокшарова.- Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007.- 111 с. (<http://window.edu.ru/resource/565/48565>)
9. КонсультантПлюс - база законодательных документов по РФ и Санкт-Петербургу. - [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) -
10. База данных рефератов и цитирования Scopus издательства Elsevier. - [www.scopus.com](http://www.scopus.com); WoS издательства Tompson Scientific.
11. Доступ к журналу Nature (Nature Publishing Group). - <http://www.nature.com>
12. Полнотекстовый доступ к журналу Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS)). – <http://www.sciencemag.org>

Интернет-ресурсы для проведения поиска в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 039-2013. Магистратура. Общие требования. /СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2013.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 25 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования. /

СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.

3. СТО СПбГТИ(ТУ) 018-2014. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2014.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 16 с.

4. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.

5. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

В ходе лекционных занятий магистранту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой магистрантов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Планирование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на практических занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце первого семестра в виде зачета в устной форме (включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала). Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Представление лекционного материала:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы**

1. Справочно-поисковая система <https://pmi.ru/infosystem/>
2. База данных ГПНТБ СО РАН
3. База ГОСТов <http://gost-load.ru>
4. Российская поисковая система научных публикаций <http://elibrary.ru>
5. Англоязычная поисковая система научных публикаций <http://springer.com>

### **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа - проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Комплект презентаций и видеофильмов по дисциплине.

Практические занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа - проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

### **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации  
по дисциплине "Организация научного проекта"**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

| <b>Индекс компетенции</b> | <b>Содержание</b>   | <b>Этап формирования</b> |
|---------------------------|---|--------------------------|
| <b>УК-1</b>               | <b>Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий</b> | промежуточный            |
| <b>УК-2</b>               | <b>Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</b>  | промежуточный            |
| <b>УК-3</b>               | <b>Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели</b>   | промежуточный            |

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

| Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Показатели сформированности (дескрипторы)  | Критерий оценивания   | УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)  |  |
|---|--|---|---|--|
|   |  |   | «не зачтено»  | «зачтено»  |
| <b>УК-1.1</b><br>Осуществляет выбор информационных ресурсов и систематизирует информацию, полученную из разных источников, в соответствии с поставленной задачей. | <b>Знает</b> информационные ресурсы в своей профессиональной области (ЗН-1)  | Ответы на вопросы №1-8 к зачету                               | Не знает основные информационные ресурсы в своей профессиональной области   | Знает информационные ресурсы в своей и смежных профессиональных областях   |
|   | <b>Умеет</b> систематизировать информацию в соответствии с поставленной задачей. (У-1)   | Ответы на вопросы № 9- 23 к зачету<br>Доклад на заданную тему | Не способен вычленить главные направления поиска информации в соответствии с поставленной задачей.  | Умеет расставить приоритеты и оценить достоверность информации из различных источников в соответствии с поставленной задачей.  |
| <b>УК-1.2</b><br>Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними  | <b>Умеет</b> связать решение поставленной задачи с приемами решения известных задач из смежных отраслей, предложить различные пути её решения, основываясь на междисциплинарных знаниях. (У-2) | Ответы на вопросы № 24-31 к зачету<br>Доклад на заданную тему | Не умеет связать решение известной (знакомой) задачи с приемами решения подобных задач, не может привести примеры решения подобных задач из своей профессиональной области. | Умеет связать решение вновь поставленной (ранее не известной) задачи с приемами решения задач из смежных отраслей, предложить различные варианты решения, и сравнить их между собой. |
| <b>УК-1.3</b><br>Готовит аналитический обзор по заданной научной теме, сопоставляя  | <b>Знает</b> этапы проведения аналитического обзора литературы и патентного поиска, стандарты на оформления ссылок на источники информации (ЗН-2)  | Ответы на вопросы № 32-41 к зачету                            | Не знает основные этапы проведения аналитического обзора литературы и патентного поиска, стандарты на оформления ссылок на источники информации.                            | Знает этапы проведения аналитического обзора литературы и патентного поиска, большинство стандартов на оформления ссылок на источники информации.                                    |

|  |  |   |   |  |
|--|--|---|---|--|
| данные различных источников с использованием критического подхода                              | <b>Умеет</b> критически сравнивать информацию из различных источников и формулировать выводы из её обзора. (У-3)                                 | Ответы на вопросы № 42-47 к зачету<br>Доклад на заданную тему | Не способен критически сравнивать информацию из различных источников и затрудняется формулировать выводы из её обзора.                                      | Может критически сравнивать информацию из разных источников и сформулировать выводы из её обзора.  |
| <b>УК-2.1</b><br>Формулирует цели, задачи, значимости, ожидаемых результатов научного проекта. | <b>Умеет</b> сформулировать цель научного исследования и предложить методы её достижения, оценить значимость результатов научного проекта. (У-4) | Ответы на вопросы № 48-56 к зачету<br>Доклад на заданную тему | Не может сформулировать цель научного исследования и предложить пути её достижения, оценить значимость результатов научного проекта.                        | Способен сформулировать цель научного исследования и объяснить методы её достижения, показать значимость результатов научного проекта.                                     |
| <b>УК-2.2</b><br>Знает методы управления научными проектами, этапы жизненного цикла проекта    | <b>Знает</b> этапы и стадии жизненного цикла научного проекта, источники финансирования НИР, методы планирования НИР. (ЗН-3)                     | Ответы на вопросы № 57-63 к зачету                            | Не знает основные этапы и стадии жизненного цикла научного проекта, затрудняется назвать источники финансирования НИР, плохо знает методы планирования НИР. | Знает большинство этапов и стадий жизненного цикла научного проекта, имеет представление об источниках финансирования НИР, имеет представление о методах планирования НИР. |
|  | <b>Умеет</b> оценивать научную и социальную значимость научного проекта. (У-5)   | Ответы на вопросы № 64-72 к зачету<br>Доклад на заданную тему | Не может оценивать научную и социальную значимость научного проекта.  | Способен оценивать научную и социальную значимость научного проекта.   |
| <b>УК-3.1</b> Участвует в выполнении проектов группового характера на раз-                     | <b>Умеет</b> при необходимости возглавить рабочую группу для выполнения конкретного задания (стадии проекта). (У-6)                              | Ответы на вопросы № 73-78 к зачету<br>Доклад на               | Не способен при необходимости возглавить рабочую группу для выполнения конкретного задания (стадии проекта).  | Может при необходимости возглавить рабочую группу для выполнения конкретного задания (стадии проекта).   |

|  |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
| личных стадиях их подготовки и реализации.   |   | заданную тему   |   |   |
| <b>УК-3.2</b> Планирует командную работу, распределяет поручения и делегирует полномочия членам команды с учетом интересов, особенностей поведения и мнений ее членов. | <b>Знает</b> основные принципы организации деятельности научного коллектива. (ЗН-4)                   | Ответы на вопросы № 79-82 к зачету                            | Не может объяснить основных принципов организации деятельности научного коллектива.                                     | Может изложить основные принципы организации деятельности научного коллектива.              |
|  | <b>Владеет</b> методами сплочения научного коллектива и способен руководить научным коллективом (Н-1) | Ответы на вопросы № 83-85 к зачету<br>Доклад на заданную тему | Не владеет основными методами сплочения научного коллектива и не способен осуществлять руководство научным коллективом. | Может пользоваться методами сплочения научного коллектива и руководить научным коллективом. |

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **зачета**. Критерии оценивания – «**зачтено**», «**не зачтено**» приведены в таблице 2.

Оценка «зачтено» выставляется, если ответ студента отличается последовательностью, логикой изложения, учащийся демонстрирует глубину владения представленным материалом, ответы формулируются аргументировано, обосновывается собственная позиция в проблемных ситуациях.

Оценка «не зачтено» ставится, если ответ студента не передает содержание проблемы, не демонстрирует умение выделять главное, существенное, ответ носит краткий, неглубокий, поверхностный характер.

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### Вопросы для подготовки к зачету:

1. Документальные источники информации.
2. Методы работы с каталогами и картотеками.
3. Последовательность поиска документальных источников научной информации
4. Универсальная десятичная классификация (УДК).
5. Библиотечно-библиографическая классификация (ББК).
6. Что такое каталог? Его виды.
7. Наука и признаки её характеризующие?
8. Основные функции науки.
9. Критерии научного знания и их специфика
10. Чувственное и рациональное познание.
11. Репродуктивная и продуктивная деятельность человека.
12. Специфика научного познания
13. Структурная схема процесса познания.
14. Основные структурные элементы теории познания.
15. Эмпирические методы научного познания.
16. Понятие метода научного познания
17. Различие между эмпирическим и теоретическим знанием.
18. Методы научного познания.
19. Методы и формы теоретического познания
20. Методы и формы эмпирического познания
21. Структура теоретического знания.
22. Структуру эмпирического знания.
23. Значение системного подхода в современной методологии науки.
24. Значение и сущность науки, научного поиска, научных исследований
25. Репродуктивная и продуктивная деятельность человека.
26. Виды знаний.
27. Наука и признаки её характеризующие?
28. Основные функции науки.
29. Критерии научного знания и их специфика.
30. Этапы развития науки.
31. Раскрыть соотношение эмпирического и теоретического уровней познания
32. Перечислите методы анализа документов.
33. Виды научных публикаций и изданий.
34. Как составляется уточненный список исходных источников информации?
35. Научные документы, публикуемые по результатам исследований.
36. Основные признаки изобретения.
37. Патент на полезную модель. Преимущества и недостатки данного вида патентования.
- 38 Цели и методика проведения патентного поиска?
39. Правила оформления заявки на изобретение. Сроки и порядок экспертизы изобретений.
40. Что такое аналоги и прототипы изобретения?
41. Структура формулы изобретения.
42. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ.
43. Организации, осуществлявшие научную деятельность в РФ.
44. Каковы приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ?
45. Формы и направления грантовой поддержки научных исследований
46. Значение научных исследований в формировании современного специалиста.
47. Источники финансирования науки в России
48. Процесс научного исследования.
49. Методологический замысел исследования.

50. Выбор направления научного исследования.
51. Основные этапы выполнения НИР.
52. Формулирование темы научного исследования.
53. Планирование исследования. Задачи научного исследования.
54. Методическое обеспечение этапов научных исследований.
55. Методики теоретических, экспериментальных исследований.
56. Логическая схема научного исследования.
57. Укажите основные фазы жизненного цикла проекта.
58. Как определяется жизненный цикл с точки зрения различных участников проекта (заказчика, инвестора, команды проекта)?
59. Охарактеризуйте концептуальную фазу проекта и приведите основные этапы этой фазы.
60. Охарактеризуйте фазу планирования проекта и приведите основные этапы этой фазы.
61. Охарактеризуйте фазу реализации проекта и приведите основные функции по управлению проектом в этой фазе.
62. Источники финансирования НИР.
63. Методы планирования НИР.
64. Какие основные подходы к научным исследованиям вам известны?
65. Назовите наиболее важные функции науки.
66. Какова роль науки в современном обществе?
67. Что является центром развития общества?
68. В чем заключается специфика современных технологий?
69. Какие противоречия в науке и практике вам известны?
70. Охарактеризуйте сферы взаимодействия науки и нравственности.
71. Каковы социальные функции науки?
72. Какова роль науки в современном образовании?
73. Опишите структурную организацию участников проекта.
74. Перечислите основные принципы организации деятельности научного коллектива.
77. Какие психологические аспекты взаимоотношения руководителя и подчиненного вам известны?
78. Организация командной работы исследователей
79. Основные участники проекта и их функции.
80. Дать определение проекта. Привести различные формулировки определения.
81. Ключевые особенности научного проекта.
82. Основные участники проекта и их функции.
83. Что такое научный коллектив?
84. Что может навредить деятельности научного коллектива?
85. Методы сплочения научного коллектива.

К зачету допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

#### **Темы докладов:**

1. Классификация методов исследования (научного познания) по широте охвата областей знаний;
2. Общенаучные методы теоретических исследований;
3. Доктрина развития российской науки. Нормативно-правовая регламентация научной деятельности;
4. Организации, осуществлявшие научную деятельность в РФ;
5. Методы работы с каталогами и картотеками. Универсальная десятичная классификация (УДК). Библиотечно-библиографическая классификация (ББК). Библиографические указатели;

6. Последовательность поиска документальных источников научной информации;
7. Понятие «участники проекта». Ближнее и дальнее окружение проекта. Внутренняя среда проекта.
8. Понятие стадии жизненного цикла проекта. Основные фазы жизненного цикла проекта;
9. Особенности жизненного цикла проекта. Принципы жизненного цикла проекта.
10. Значение научных исследований в формировании современного специалиста.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб ГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачёта.

Шкала оценивания на зачёте – «зачёт», «незачет». При этом «зачёт» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.

## Контрольные задания

### Контрольная 1.

#### Контрольные карты Шухарта

В управлении производством и бизнес-процессами, а также при наблюдении за различными явлениями в природе, техногенной среде, общественной жизни и т.д. возникает ряд задач, связанных с анализом динамики изменения различных параметров и величин с течением времени или в зависимости от других переменных факторов. Например, для контроля стабильности характеристик партий изделий, ежедневно выпускаемых несколькими цехами предприятия, необходима как статистическая обработка результатов измерений целевых показателей для каждой партии, так и анализ динамики изменения этих показателей в зависимости от номера цеха и даты изготовления. В общем случае в целях динамического анализа стабильности системы (в частности, производства) для каждой  $i$ -й партии изделий (или любых других объектов наблюдения и контроля – в общем случае, подгруппы) могут быть определены следующие характеристики:

– **среднее значение  $\bar{X}$** ;

– **размах**, определяемый либо как разность между наибольшим и наименьшим измеренными значениями величины в пределах подгруппы

$$R_i = X_{i \max} - X_{i \min}, \quad (1) \text{ либо (в}$$

случае, если измерения в каждой подгруппе являются однократными) модуль разности между последовательно измеренными ее значениями (*скользящий размах*);

$$R_i = |X_i - X_{i+1}| \quad (2)$$

– **среднее (стандартное) квадратичное отклонение**;

– **число или доля (процент) несоответствующих единиц в подгруппе** (например, бракованных деталей в партии)

и т.д.

В некоторых случаях (в частности, при выпуске продукции несколькими цехами) указанные характеристики могут усредняться по ряду подгрупп (например, по всем подразделениям предприятия).

Для анализа и обеспечения устойчивости системы на основании расчетных значений указанных характеристик строят их зависимости от номера подгруппы (номера партии, даты выпуска, времени замера и т.д.), представляемые в виде *контрольных карт Шухарта*.

Контрольные карты Шухарта обычно включают:

– **центральную линию (CL)**, обычно соответствующую среднему или номинальному значению измеряемой величины;

– **верхнюю и нижнюю предупредительные границы**, соответствующие отклонениям от уровня CL в большую и меньшую сторону, существенно выходящим за пределы статистических естественных отклонений. При наличии таких значений необходим анализ состояния системы (процесса) в отношении выявления возможных причин, приводящих к подобным отклонениям;

– **верхнюю и нижнюю границы регулирования**, соответствующие недопустимым отклонениям от уровня CL в большую и меньшую сторону, при появлении которых необходимо немедленное осуществление корректирующих воздействий на систему.

При отсутствии устанавливаемых техническими требованиями особых ограничений за предупреждающие границы часто принимают уровни, отклоняющиеся от центральной линии на величину, равную удвоенному среднеквадратичному отклонению ( $\bar{x} \pm 2\sigma$ ), а за границы регулирования – соответственно утроенному среднеквадратичному отклонению ( $\bar{x} \pm 3\sigma$ ).

Помимо установления выходов за указанные границы, анализ контрольных карт Шухарта позволяет также выявлять аномальные тенденции в изменении параметров контролируемой системы, заслуживающие внимания в отношении выяснения возможных причин и принятия мер по своевременной коррекции. К таким тенденциям, в частности, относятся:

- устойчивый рост или снижение анализируемой характеристики (монотонные увеличение или уменьшение более 4-5 точек);
- устойчивое нахождение 4-5 и более значений анализируемой характеристики выше или ниже центральной линии.

В качестве анализируемых характеристик при построении контрольных карт Шухарта чаще всего используют среднее значение измеряемой величины в подгруппах (*X-карты*) и размах измеряемой величины (*R-карты*).

### Пример выполнения задания

*Построить и проанализировать контрольные X- и R-карты Шухарта на основании следующих данных*

| № выборки | Значение измеряемой величины |                |                |                |
|-----------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|           | X <sub>1</sub>               | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> |
| 1         | 5.1                          | 4.9            | 5.0            | 5.0            |
| 2         | 5.2                          | 4.8            | 4.9            | 5.1            |
| 3         | 5.0                          | 4.8            | 4.9            | 4.9            |
| 4         | 4.9                          | 5.0            | 4.7            | 4.6            |
| 5         | 5.2                          | 4.2            | 5.0            | 4.0            |
| 6         | 4.9                          | 4.8            | 4.7            | 4.8            |
| 7         | 5.0                          | 4.9            | 5.1            | 5.0            |
| 8         | 4.9                          | 5.1            | 5.2            | 5.2            |
| 9         | 4.8                          | 4.8            | 5.8            | 5.8            |
| 10        | 5.1                          | 5.0            | 5.0            | 4.9            |

### Решение

Для каждой выборки рассчитываем среднее значение и размах как разность между наибольшим и наименьшим значениями в пределах данной выборки, в результате чего получаем следующий массив результатов.

|   |   |  |
|---|---|--|
| № | — |  |
|---|---|--|

| выборки | X   | R   |
|---------|-----|-----|
| 1       | 5.0 | 0.2 |
| 2       | 5.0 | 0.4 |
| 3       | 4.9 | 0.2 |
| 4       | 4.8 | 0.4 |
| 5       | 4.5 | 1.2 |
| 6       | 4.8 | 0.2 |
| 7       | 5.0 | 0.2 |
| 8       | 5.1 | 0.3 |
| 9       | 5.3 | 1.0 |
| 10      | 5.0 | 0.2 |

Усредняя полученные  
получим

— значения X и R,

$$\bar{X}_{cp}=4.94; \quad R_{cp}=0.43$$

Рассчитываем среднеквадратичное отклонение для полученных массивов  $\bar{X}$  и R:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.21$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_1^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} \approx 0.37$$

Далее определим предупредительные границы и границы регулирования для обеих рассматриваемых величин:

$$\bar{X}_{cp} + 2\sigma_{\bar{X}} = 4.94 + 2 \cdot 0.21 = 5.36 \quad R_{cp} + 2\sigma_R = 0.43 + 2 \cdot 0.37 = 1.17$$

$$\bar{X}_{cp} - 2\sigma_{\bar{X}} = 4.94 - 2 \cdot 0.21 = 4.50$$

$$\bar{X}_{cp} + 3\sigma_{\bar{X}} = 4.94 + 3 \cdot 0.21 = 5.57 \quad R_{cp} + 3\sigma_R = 0.43 + 3 \cdot 0.37 = 1.54$$

$$\bar{X}_{cp} - 3\sigma_{\bar{X}} = 4.94 - 3 \cdot 0.21 = 4.29$$

Нижние границы для размаха в данном случае имеют отрицательные значения и, соответственно, лишены физического смысла.

На основании полученных данных строим контрольные карты средних значений и размахов (рисунок 1), анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

- следует обратить внимание на устойчивое снижение среднего значения контролируемой величины в интервале с №2 по №5 с достижением нижней предупредительной границы для выборки №5 и устойчивый рост среднего значения контролируемой величины в интервале с №6 по №9 с приближением к верхней предупредительной границе для выборки №9;

- наблюдается выход размаха значений контролируемой величины за верхнюю предупредительную границу для выборки №5 и приближение к верхней предупредительной границе для выборки №9.

- выходов за границы регулирования ни по средним значениям контролируемой величины, ни по ее размаху не наблюдается.

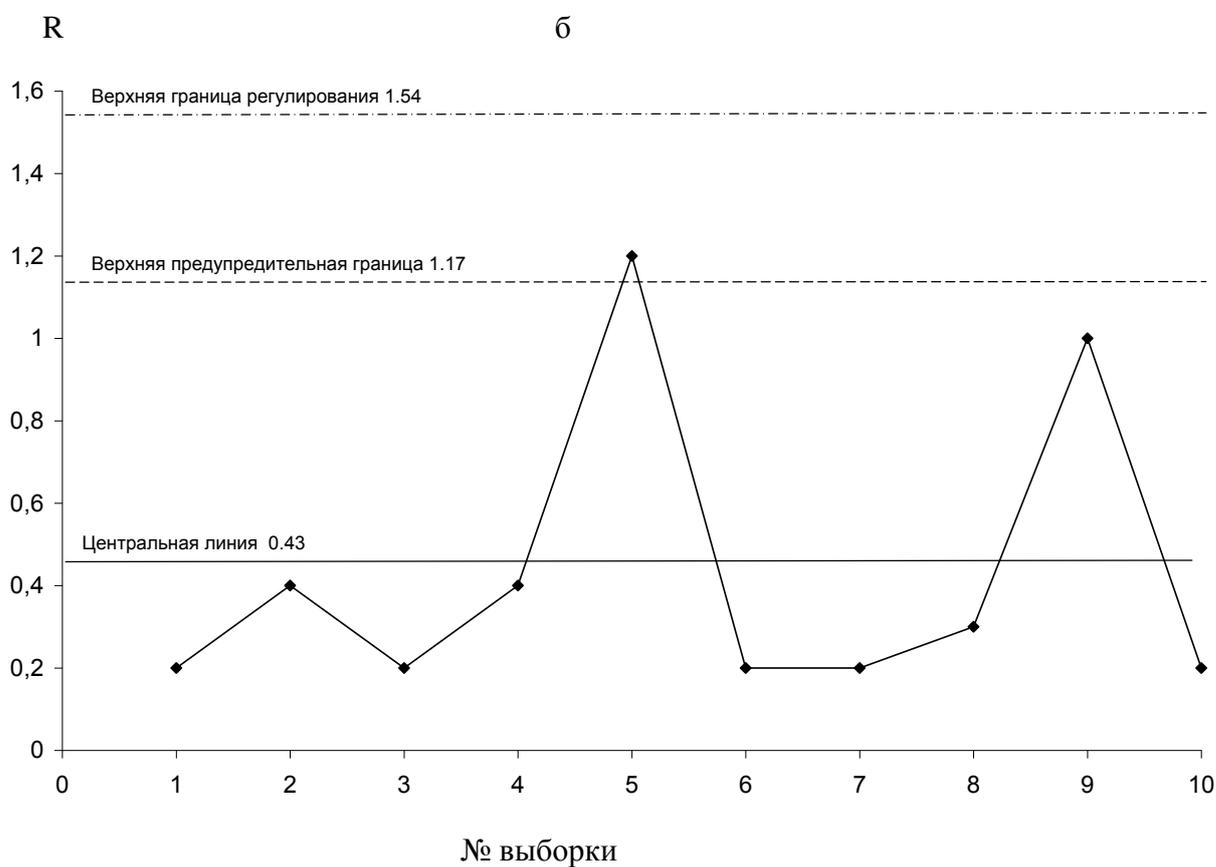
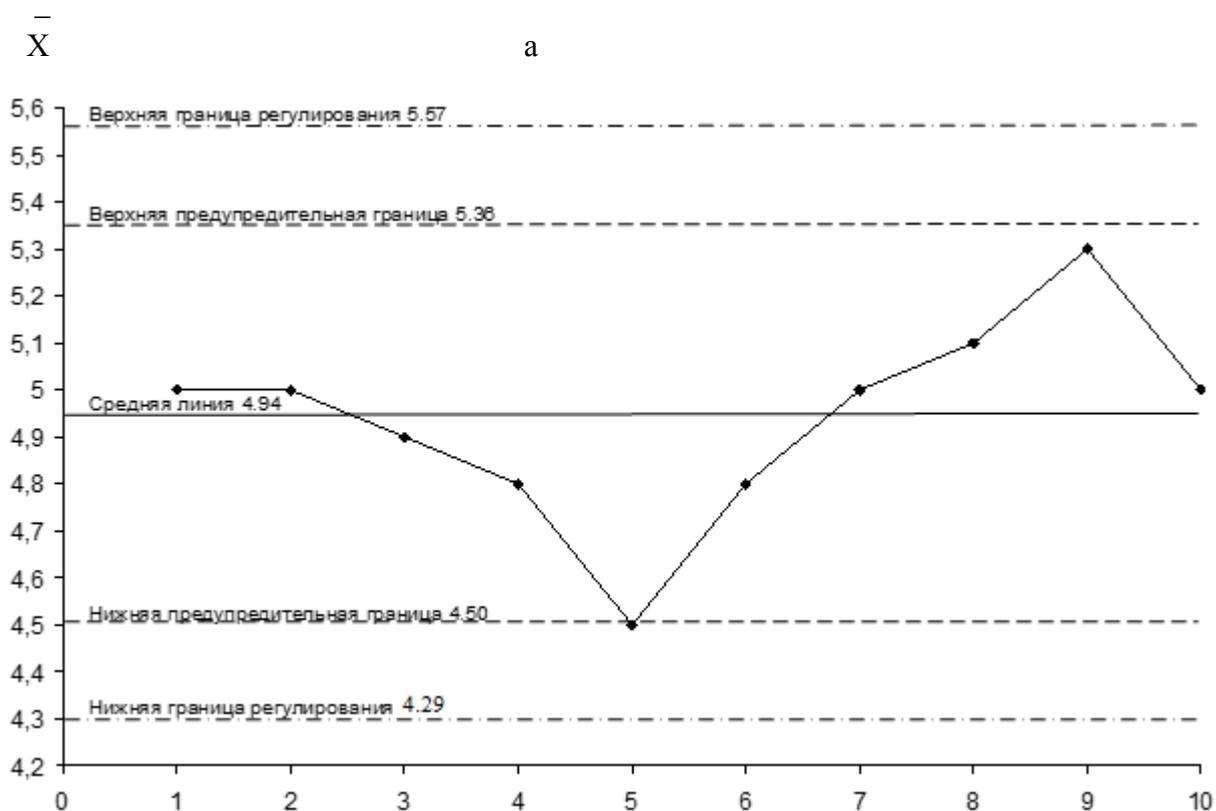


Рисунок 1 – Контрольные карты средних значений (а) и размахов (б)

Варианты заданий для контрольной 1.

**Задание**

Построить контрольные карты Шухарта для средних значений (X-карты) и размахов (R-карты) указанного параметра. Проанализировать наблюдаемое изменения значений X и R, сделать выводы о наличии аномальных (неблагоприятных) тенденций, приближении к пределам предупреждения/регулирующего воздействия или выходе за эти пределы.

**Примечание:**

В случае, если для каждого номера выборки (пробы, партии) указано только одно (среднее) значение параметра, в качестве значений размаха используются модули разностей между последующими и предыдущими значениями параметра  $R_i = |X_{i+1} - X_i|$ ; Если каждой выборке соответствует несколько значений, размах определяется как разность между наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины в пределах выборки  $R_i = X_{\max} - X_{\min}$ .

**Вариант 1**

|   |     |     |     |     |     |     |     |   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| № пробы                                   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | ПД<br>К<br>вре<br>дно<br>й<br>при<br>мес<br>и |
| вредной примеси,<br>мг/м3                 | 453 | 393 | 374 | 447 | 461 | 379 | 439 |   |
| № пробы                                   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |   |
| Концентрация<br>вредной примеси,<br>мг/м3 | 447 | 417 | 411 | 419 | 416 | 413 | 405 |   |

составляет 0.45 мг/л

**Вариант 2**

|                                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| № пробы                          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14 |
| Содержание<br>серы в<br>нефти, % | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 3,7 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 15 |

**Вариант 3**

|  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| № образца  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Концентрация<br>рабочего<br>раствора,<br>ммоль/л | 45 | 39 | 37 | 44 | 46 | 38 | 44 | 43 | 43 | 42 | 41 | 40 | 36 | 43 |

**Вариант 4**

|                       |                             |    |    |    |
|-----------------------|-----------------------------|----|----|----|
| Номер партии образцов | Содержание примеси, ммоль/л |    |    |    |
| 1                     | 68                          | 67 | 66 | 66 |
| 2                     | 65                          | 65 | 67 | 65 |
| 3                     | 64                          | 66 | 66 | 64 |
| 4                     | 67                          | 66 | 67 | 65 |

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 5  | 66 | 67 | 64 | 67 |
| 6  | 67 | 66 | 68 | 68 |
| 7  | 66 | 67 | 66 | 63 |
| 8  | 66 | 65 | 64 | 67 |
| 9  | 65 | 66 | 67 | 65 |
| 10 | 66 | 67 | 65 | 67 |

### Вариант 5

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Число месяца  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| Содержание вредной примеси, мг/л (при ПДК 1600 мкг/л) | 1,40 | 1,42 | 1,43 | 1,36 | 1,52 | 1,53 | 1,49 | 1,27 | 1,28 | 1,41 | 1,25 | 1,50 | 1,43 | 1,50 |

### Вариант 6

|                  |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| № партии         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| % годных изделий | 96,4 | 95,9 | 96,3 | 96,1 | 95,7 | 94,8 | 96,2 |
| № партии         | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| % годных изделий | 96,5 | 96,3 | 97,4 | 97,3 | 96,9 | 96,4 | 96,3 |

### Вариант 7

|  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Номер последовательно отбираемой пробы | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| Содержание примеси, %                  | 2,8 | 2,2 | 3,5 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,0 | 2,3 |
| Номер последовательно отбираемой пробы | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| Содержание примеси, %                  | 2,3 | 2,1 | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 2,8 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,1 |

### Вариант 8

|   |   |   |   |    |    |    |   |    |   |    |    |    |
|---|---|---|---|----|----|----|---|----|---|----|----|----|
| Число месяца  | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  | 6  | 7 | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Содержание вредного вещества в сточной воде, мкг/л (при ПДК 0.025 мг/л) | 4 | 6 | 7 | 12 | 18 | 10 | 3 | 26 | 5 | 6  | 3  | 4  |

### Вариант 9

|                                 |   |   |    |    |    |    |    |
|---------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|
| № партии изделий                | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| Среднее число дефектных изделий | 4 | 1 | 6  | 3  | 4  | 7  | 3  |
| № партии изделий                | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Среднее число дефектных изделий | 9 | 6 | 5  | 2  | 4  | 8  | 3  |

### Вариант 10

Производится расфасовка химреактива в упаковки с номинальной массой 100 г. Результаты 14 последовательных замеров приведены в таблице.

|            |       |       |      |       |      |      |       |
|------------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|
| № упаковки | 1     | 2     | 3    | 4     | 5    | 6    | 7     |
| Масса, г   | 100,2 | 100,5 | 99,9 | 100,0 | 99,7 | 99,1 | 101,3 |
| № упаковки | 8     | 9     | 10   | 11    | 12   | 13   | 14    |

|          |      |       |       |      |      |      |      |
|----------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Масса, г | 99,5 | 100,1 | 100,2 | 99,6 | 99,4 | 99,3 | 99,1 |
|----------|------|-------|-------|------|------|------|------|

### Вариант 11

|   |   |   |    |    |    |    |    |
|---|---|---|----|----|----|----|----|
| № пробы   | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| Содержание вредной примеси в воздухе, мг/м <sup>3</sup> | 7 | 5 | 1  | 3  | 5  | 6  | 7  |
| № пробы   | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Содержание вредной примеси в воздухе, мг/м <sup>3</sup> | 6 | 7 | 5  | 2  | 10 | 1  | 4  |

### Вариант 12

|                    |              |    |    |    |    |
|--------------------|--------------|----|----|----|----|
| Номер партии банок | Вес банки, г |    |    |    |    |
| 1                  | 45           | 41 | 42 | 42 | 40 |
| 2                  | 39           | 43 | 43 | 45 | 42 |
| 3                  | 37           | 41 | 42 | 43 | 43 |
| 4                  | 44           | 44 | 43 | 42 | 41 |
| 5                  | 46           | 41 | 44 | 42 | 43 |
| 6                  | 37           | 40 | 42 | 43 | 42 |
| 7                  | 43           | 42 | 40 | 40 | 42 |
| 8                  | 44           | 43 | 42 | 42 | 43 |

### Вариант 13

|                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Число месяца               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
| Содержание серы в нефти, % | 2,3 | 2,1 | 2,0 | 2,5 | 4,5 | 2,8 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 1,8 | 2,4 |

### Вариант 14

|                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Число месяца              | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| Доля дефектных изделий, % | 5,0 | 5,1 | 4,8 | 2,9 | 0,5 | 0,8 | 2,9 | 4,6 | 8,3 | 5,3 | 4,1 | 2,5 | 2,7 | 2,3 |

### Вариант 15

Производится расфасовка химреактива в упаковки с номинальной массой по 125 г. Результаты последовательных 14 замеров приведены в таблице.

|            |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| № упаковки | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| Масса, г   | 125,1 | 124,9 | 125,2 | 125,0 | 124,8 | 124,0 | 125,3 |
| № упаковки | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| Масса, г   | 124,8 | 124,3 | 124,7 | 125,7 | 125,1 | 124,8 | 125,2 |

### Вариант 16

|               |                           |               |                           |
|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| Номер выборки | Число бракованных изделий | Номер выборки | Число бракованных изделий |
|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|

|   |   |    |   |
|---|---|----|---|
| 1 | 8 | 8  | 3 |
| 2 | 6 | 9  | 9 |
| 3 | 1 | 10 | 7 |
| 4 | 6 | 11 | 5 |
| 5 | 3 | 12 | 3 |
| 6 | 2 | 13 | 5 |
| 7 | 5 | 14 | 2 |

### Вариант 17

|            |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № детали   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| Размер, мм | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 4,1 | 4,3 |
| № детали   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| Размер, мм | 4,5 | 3,9 | 3,7 | 4,4 | 4,6 | 3,8 | 4,4 |

### Вариант 18

|                                 |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| № образца                       | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| Электрическое сопротивление, Ом | 53 | 45 | 52 | 51 | 38 | 51 | 53 |
| № образца                       | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Электрическое сопротивление, Ом | 55 | 49 | 47 | 54 | 56 | 48 | 54 |

### Вариант 19

|          |                           |      |      |      |      |
|----------|---------------------------|------|------|------|------|
| № палаты | Температура пациентов, °С |      |      |      |      |
| 1        | 36,8                      | 37,4 | 37,1 |      |      |
| 2        | 36,9                      | 36,6 | 37,0 | 36,4 | 36,7 |
| 3        | 37,2                      | 37,6 | 36,5 | 37,5 | 37,4 |
| 4        | 36,1                      | 36,4 | 35,9 | 37,0 |      |
| 5        | 37,3                      | 36,7 | 36,3 | 36,6 |      |
| 6        | 35,6                      | 36,7 | 36,8 | 38,5 | 36,3 |
| 7        | 37,4                      | 37,7 | 37,5 | 36,6 | 37,4 |
| 8        | 36,4                      | 36,7 | 36,5 | 37,1 |      |

### Вариант 20

|                  |            |      |      |      |
|------------------|------------|------|------|------|
| № партии деталей | Размер, мм |      |      |      |
| 1                | 6,79       | 6,68 | 6,60 | 6,61 |
| 2                | 6,46       | 6,56 | 6,75 | 6,59 |
| 3                | 6,39       | 6,60 | 6,61 | 6,63 |
| 4                | 6,65       | 6,72 | 6,73 | 6,56 |
| 5                | 6,62       | 6,67 | 6,70 | 6,70 |
| 6                | 6,65       | 6,58 | 6,75 | 6,79 |
| 7                | 6,69       | 6,73 | 6,61 | 6,61 |
| 8                | 6,65       | 6,51 | 6,72 | 6,73 |
| 9                | 6,55       | 6,66 | 6,71 | 6,58 |
| 10               | 6,61       | 6,70 | 6,54 | 6,74 |

### Вариант 21

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| № фасовки | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| Масса, г  | 1,22 | 1,23 | 1,27 | 1,25 | 1,24 | 1,28 | 1,23 |
| № фасовки | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |

|          |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Масса, г | 1,25 | 1,29 | 1,27 | 1,25 | 1,24 | 1,23 | 1,21 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|

### Вариант 22

| Номер серии образцов | Выход целевого продукта, г |     |     |     |
|----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|
|                      | 1                          | 2   | 3   | 4   |
| 2                    | 165                        | 165 | 167 | 165 |
| 3                    | 164                        | 166 | 166 | 164 |
| 4                    | 167                        | 166 | 167 | 165 |
| 5                    | 172                        | 167 | 164 | 175 |
| 6                    | 167                        | 166 | 168 | 168 |
| 7                    | 166                        | 167 | 166 | 163 |
| 8                    | 161                        | 165 | 162 | 167 |
| 9                    | 165                        | 166 | 167 | 165 |
| 10                   | 166                        | 167 | 165 | 167 |

### Вариант 23

| № пробы                            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Концентрация вредной примеси, мг/л | 0,140 | 0,136 | 0,142 | 0,145 | 0,152 | 0,162 | 0,149 |
| № пробы                            | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| Концентрация вредной примеси, мг/л | 0,127 | 0,128 | 0,141 | 0,125 | 0,150 | 0,143 | 0,150 |

ПДК примеси составляет 160 мкг/л

### Вариант 24

| № эксперимента  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Степень превращения исходного Реагента в продукт реакции, % | 90,7 | 92,3 | 93,5 | 93,8 | 95,9 | 95,3 | 90,5 |
| № эксперимента  | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| Степень превращения исходного Реагента в продукт реакции, % | 89,7 | 90,1 | 89,3 | 87,4 | 82,1 | 90,1 | 89,6 |

### Вариант 25

Производится расфасовка химреактива в упаковки объемом по 5 г.

Результаты 14 последовательных замеров приведены в таблице.

| №        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Масса, г | 5,1 | 4,9 | 5,2 | 5,0 | 4,8 | 4,0 | 5,3 |
| №        | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| Масса, г | 4,8 | 4,3 | 4,7 | 5,7 | 5,1 | 4,8 | 5,2 |

Контрольная 2

**Электропроводность полупроводников**

Электрические свойства материалов, характеризующие их взаимодействие с электромагнитным полем, имеют определяющее значение для самых разнообразных применений, включая передачу электроэнергии (электрического тока), ее накопление, взаимные превращения в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую, химическую, энергию магнитного поля), электроизоляцию и т.д. Основной характеристикой взаимодействия материалов с электрическим полем является *удельная электропроводность*  $\gamma$  ( $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$  или  $\text{См}/\text{м}$ , где См – сименс) – коэффициент пропорциональности между плотностью тока  $\mathbf{J}$  ( $\text{А}/\text{м}^2$ ) и напряженностью электрического поля  $\mathbf{E}$  ( $\text{В}/\text{м}$ ) в законе Ома, выраженном в дифференциальной форме

$$\mathbf{J} = \gamma \cdot \mathbf{E} \quad (1)$$

Обратной величиной по отношению к удельной электропроводности является удельное электрическое сопротивление:

$$\rho = 1/\gamma = R \cdot S/L \quad (2)$$

где  $R$ ,  $S$  и  $L$  – соответственно сопротивление образца материала ( $\text{Ом}$ ), площадь его сечения ( $\text{м}^2$  или  $\text{мм}^2$ ) и длина ( $\text{м}$ ). Данная величина измеряется в  $\text{Ом}\cdot\text{м}$  или  $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .

По величине удельного электрического сопротивления материалы подразделяют на *диэлектрики* ( $\rho > \sim 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), *полупроводники* ( $\rho \sim 10^{-5} \dots 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), *проводники* ( $\rho < \sim 10^{-5}$ ) первого (электронная проводимость без переноса вещества) и второго рода (проводимость, обусловленная переносом ионов), а также *сверхпроводники* (нулевое сопротивление при температурах ниже определенного критического значения).

Кроме того, важной характеристикой, определяющей электрические свойства материалов, является энергия, необходимая для активации их проводимости. Данная характеристика обусловлена наличием дискретных энергетических уровней, на которых могут находиться электроны в атомах. Для веществ с ковалентной и ионной связью в невозбужденном состоянии валентные электроны образуют химические связи и находятся в низкоэнергетическом состоянии, образуя так называемую *валентную зону* (совокупность соответствующих энергетических уровней) и не способны выступать в качестве носителей заряда, обеспечивающих протекание электрического тока под действием электрического поля. Для перехода таких материалов в проводящее состояние необходим переход электронов в возбужденное состояние на энергетические уровни, образующие *зону проводимости* и отделенные от валентной зоны энергетическим барьером, называемым *запрещенной зоной* (рисунок 1).

Ее количественная характеристика, определяющая минимальную энергию, необходимую для преодоления данного барьера, называется *шириной запрещенной зоны*, обозначаемой  $\Delta E$  или  $E_g$  (от слова “gap” – промежуток, разрыв, зазор) и как правило измеряемой в электронвольтах ( $1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ).

Для диэлектриков характерны наибольшие значения ширины запрещенной зоны, превышающие  $\sim 4 \text{ эВ}$  и практически не позволяющие осуществлять перенос электронов в зону проводимости за счет внешних воздействий (при напряжениях, не превышающих критических значений, вызывающих пробой). У полупроводников ширина запрещенной зоны находится в пределах от 0 до  $\sim 4 \text{ эВ}$ , что обеспечивает возможность перехода электронов в зону проводимости за счет внешних энергетических воздействий (тепловых, электромагнитных) либо за счет введения специальных примесей, образующих дополнительные энергетические уровни). У проводников, для которых в невозбужденном состоянии характерно наличие свободных носителей заряда (делокализованных электронов, образующих металлическую связь, или обладающих достаточной подвижностью ионов), валентная зона и зона проводимости перекрываются, и ширина запрещенной зоны равна нулю.

Соответственно, для проводников характерны низкие значения электрического сопротивления, которое возрастает с увеличением содержания примесей в металле за счет образования неметаллических фаз (химических соединений, твердых растворов и т.д.), обладающих низкой проводимостью, а также с ростом температуры за счет теплового

рассеяния – процессов хаотического движения в кристаллической решетке, препятствующего направленному движению электронов под действием электрического поля.

Для металлов и технических сплавов зависимость удельного сопротивления от температуры близка к линейной:

$$\rho_T = \rho_0(1 + \alpha_p T) \quad (3)$$

где  $\rho_T$  — удельное электросопротивление при температуре  $T$  (включает тепловое и примесное рассеяния);  $\rho_0$  — удельное электросопротивление при 0 К (включает только примесное рассеяние),  $\alpha_p$  – температурный коэффициент электросопротивления.

Напротив, сопротивление полупроводниковых материалов снижается как с ростом температуры, так и при введении определенных примесей – легирующих добавок.



Рис. 1. Зонная структура диэлектриков, полупроводников и проводников.

Для полупроводников, не имеющих примесей, электропроводность обусловлена собственными подвижными носителями заряда и носит название *собственной проводимости*. Такими носителями заряда являются свободные электроны в зоне проводимости и дырки в валентной зоне. Электроны и дырки образуются парами за счет перехода электронов через запрещенную зону шириной  $\Delta E$  из валентной зоны в зону проводимости за счет теплового движения. Число свободных электронов  $n$  в единице объема для собственного полупроводника определяется соотношением:

$$n = A \cdot e^{\frac{-\Delta E}{2kT}}, \quad (4)$$

где  $A$  – коэффициент, определяемый свойствами полупроводника;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура полупроводника.

Как видно, эта зависимость носит экспоненциальный характер, и число носителей заряда быстро растет с ростом температуры.

Удельная проводимость полупроводников  $\sigma$  помимо концентрации определяется также подвижностью носителей заряда  $\mu$  и величиной заряда электрона  $e$

$$\sigma = n \cdot e \cdot \mu. \quad (5)$$

В свою очередь, подвижность определяется как отношение скорости  $V$  направленного движения носителей к напряженности поля  $E$ :

$$\mu = \frac{V}{E}. \quad (6)$$

Подвижность зависит от температуры в гораздо меньшей степени, чем концентрация. Поэтому с известной степенью точности температурную зависимость проводимости можно представить в виде:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-\Delta E}{2kT}}. \quad (7)$$

Прологарифмировав выражение (4), получим:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{\Delta E}{2k} \cdot \frac{1}{T} \quad (8)$$

Зависимость  $\ln \sigma \left( \frac{1}{T} \right)$  представляет собой прямую линию (рис. 2).

Рассмотрим, как с помощью соотношения (5) рассчитывается ширина запрещенной зоны. Пусть у нас имеется два измерения при температурах  $T_1$  и  $T_2 > T_1$ , соответствующие им проводимости  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Запишем выражение (5) для этих температур:

$$\begin{cases} \ln \sigma_1 = \ln \sigma_0 - \frac{\Delta E}{2k} \cdot \frac{1}{T_1} \\ \ln \sigma_2 = \ln \sigma_0 - \frac{\Delta E}{2k} \cdot \frac{1}{T_2} \end{cases}$$

Вычитая из второго соотношения первое, имеем:

$$\ln \sigma_2 - \ln \sigma_1 = \frac{\Delta E}{2k} \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (9)$$

Ширина запрещенной зоны равна:

$$\Delta E = 2k \frac{(\ln \sigma_2 - \ln \sigma_1)}{\left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (10)$$

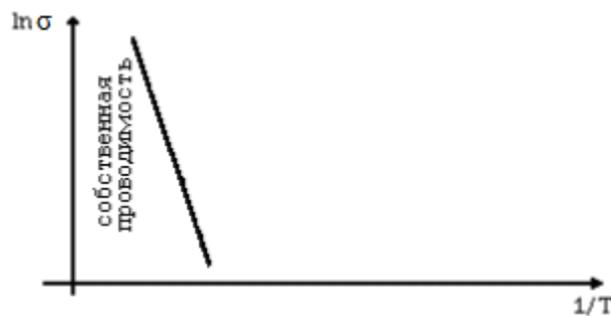


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности собственного проводника.

Введение примесей (легирующих добавок) также оказывает большое влияние на проводимость полупроводников, которая в данном случае носит название *примесной проводимости*. Различают два вида примесей, оказывающих влияние на электропроводность полупроводниковых материалов:

1. *Донорные примеси*, имеющие большую валентность по сравнению с легируемым полупроводником (например, пятивалентный фосфор или сурьма в четырехвалентном кремнии), образующие дополнительные (примесные) энергетические уровни внутри запрещенной зоны вблизи дна зоны проводимости (рис. 3а).

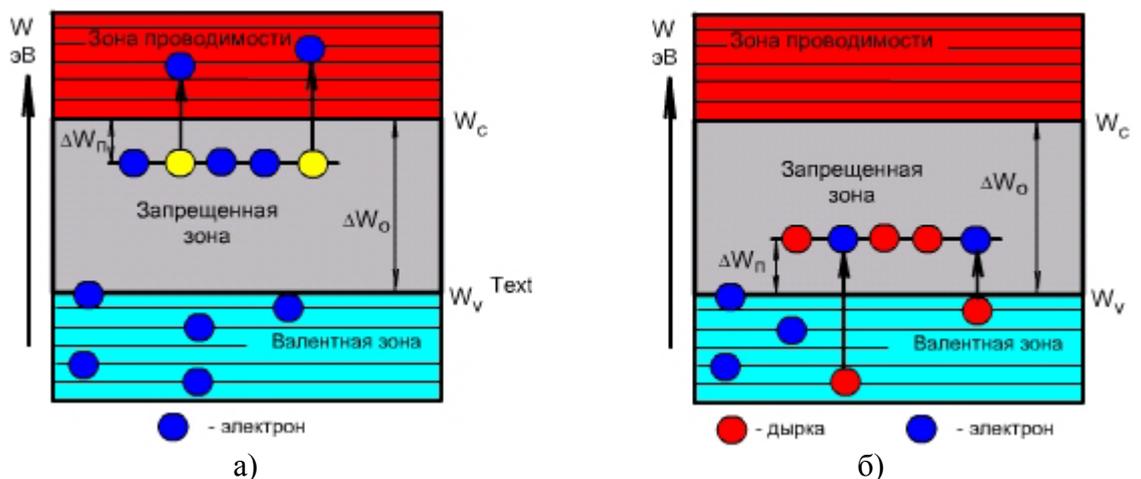


Рис. 3. Энергетические диаграммы полупроводников, содержащих донорные (а) и акцепторные (б) примеси.

В этом случае для перехода в зону проводимости примесные электроны должны преодолеть не всю ширину запрещенной зоны, а значительно меньший барьер между примесным уровнем и дном зоны проводимости, составляющий от нескольких сотых до десятых долей электронвольта). Такой вид проводимости в полупроводниках называется электронной проводимостью, а соответствующие материалы полупроводниками n-типа (от слова “negative”, соответствующего отрицательному заряду носителей).

2. *Акцепторные примеси*, имеющие меньшую валентность по сравнению с легируемым полупроводником (например, трехвалентный индий в четырехвалентном кремнии), образующие дополнительные (примесные) энергетические уровни внутри запрещенной зоны вблизи потолка валентной зоны (рис. 3б). Вследствие тепловых колебаний валентные электроны попадают на примесный уровень. При этом примесный атом захватывает электрон, в валентной зоне образуется *вакансия электрона* – *положительно заряженная дырка*. Примесная проводимость в этом случае обусловлена движением дырок в валентной зоне. Данный вид проводимости в полупроводниках называется электронной проводимостью, а соответствующие материалы полупроводниками p-типа (от слова “positive”, соответствующего отрицательному заряду дырок, выступающих в качестве носителей заряда).

У примесных полупроводников температурная зависимость удельной проводимости имеет вид.

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-\Delta E}{2kT}} + \sigma_{0 \text{ пр.}} \cdot e^{\frac{-\Delta E}{2kT}} \quad (11)$$

Первое слагаемое отражает собственную проводимость полупроводника, второе – примесную с энергией активации проводимости  $\Delta E_{\text{пр}}$ . Зависимость (11) представлена на рис. 4.

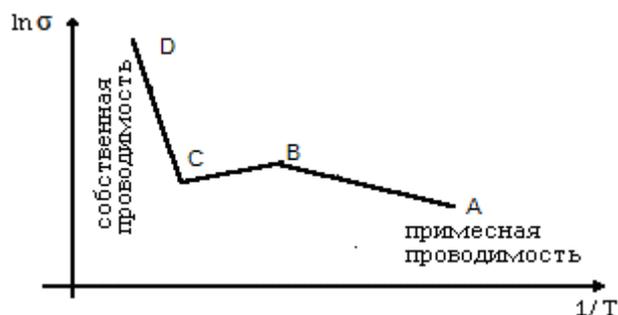


Рис. 4. Температурная зависимость проводимости примесного полупроводника от температуры.

При низких температурах имеет место в основном примесная проводимость. При увеличении температуры до некоторого значения примесная проводимость растет за счет ионизации атомов примеси (участок АВ). При более высоких температурах на некотором интервале (участок ВС) наблюдается некоторое уменьшение проводимости. В этом температурном интервале число примесных носителей заряда достигает насыщения (все атомы примеси ионизированы отдали или приняли электроны в зависимости от того какая примесь – донорная или акцепторная), а их подвижность уменьшается вследствие рассеяния на тепловых колебаниях атомов. Собственная проводимость, обусловленная ионизацией собственных атомов полупроводника, проявляется лишь при больших температурах (участок CD).

Легированные полупроводники являются важнейшими компонентами разнообразных электронных приборов и устройств. В частности, р-п-переход, представляющий собой контакт полупроводников р- и n-типа, обеспечивает управляемую одностороннюю проводимость в диодах, транзисторах и других элементах электронных микросхем.

### Измерение удельной электропроводности полупроводников

Измерение удельной электропроводности производится зондовым методом по компенсационной схеме. При этом исключается влияние переходных сопротивлений, возникающих при соприкосновении образца с токоподводящими электродами. Образец исследуемого материала изготавливается в виде бруска прямоугольного сечения, площадь которого известна. Образец укрепляется в зажиме, который имеет также два зонда А и В (рис. 5) в виде игл из вольфрамовой проволоки, прижимающиеся к поверхности образца. Расстояние  $l$  между зондами точно измеряется. Последовательно с образцом в токовую цепь включается эталонный резистор с известным сопротивлением  $R_3$ .

При прохождении постоянного тока как между зондами на образце, так и на эталонном резисторе происходит падение напряжения, которое можно очень точно измерить без потребления мощности в цепи при помощи потенциометра постоянного тока. Измерив падение напряжения  $U_3$  на эталонном резисторе, можно определить ток в цепи и, следовательно, в образце:

$$I = \frac{U_3}{R_3} \quad (12)$$

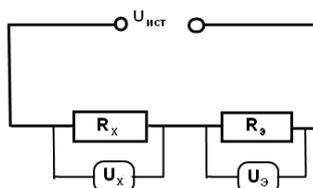


Рис. 5. Схема измерения удельной электропроводности полупроводника зондовым методом.

По величине напряжения  $U_x$ , измеренному между зондами, и известному току определяется сопротивление исследуемого участка образца:

$$R_x = \frac{U_x}{U_3} R_3 \quad (13)$$

Зная длину участка  $l$  и площадь поперечного сечения  $S$ , определяем удельную электропроводность образца в  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ :

$$\sigma = \frac{1}{R_x} \cdot \frac{l}{S} = \frac{I}{U_x} \cdot \frac{l}{S} \quad (14)$$

### Инструкция по выполнению работы

#### Исходные данные

Длина образца  $l$ , см – следует перевести в м

Площадь поперечного сечения образца  $S$ ,  $\text{см}^2$  – следует перевести в  $\text{м}^2$

Сопротивление эталонного образца  $R_3$ , Ом

Значения падения напряжения на исследуемом и эталонном образцах

| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | Падение напряжения, В |                    |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
|                                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_3$ |
|                                 |                       |                    |
|                                 |                       |                    |

#### Порядок расчета:

Сила тока:  $I_x = I_3 = \frac{U_x}{R_x} = \frac{U_3}{R_3}$

При каждой из указанных в задании температур (которые следует перевести в кельвины и рассчитать обратные им величины (1/T)) необходимо рассчитать следующие величины

Сопротивление исследуемого образца:  $R_x = \frac{U_x}{U_3} \cdot R_3$  [Ом]

Удельное электрическое сопротивление образца:  $\rho_x = R_x \cdot \frac{S}{l}$  [Ом\*м]

Удельная электропроводность образца:  $\sigma_x = \frac{1}{\rho_x}$  [Ом<sup>-1</sup>м<sup>-1</sup>]

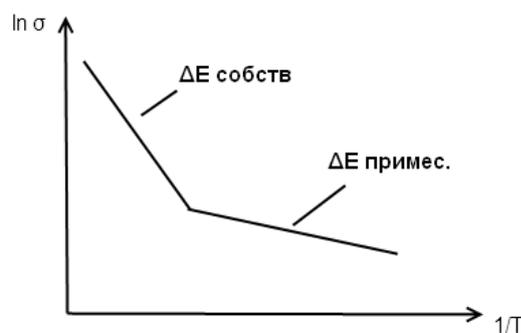
Определить величину  $\ln \sigma_x$

Полученные данные вместе с исходными значениями  $t$ , °С,  $U_x$  и  $U_3$ ,  $R_3$  занести в

таблицу

| t, °С | T, К | 1/T, 1/К | U <sub>x</sub> | U <sub>3</sub> | R <sub>x</sub> , Ом | ρ <sub>x</sub> , Ом*м | σ <sub>x</sub> , Ом <sup>-1</sup> м <sup>-1</sup> | ln σ <sub>x</sub> |
|-------|------|----------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------|---|-------------------|
|       |      |          |                |                |                     |                       |   |                   |
|       |      |          |                |                |                     |                       |   |                   |
|       |      |          |                |                |                     |                       |   |                   |
|       |      |          |                |                |                     |                       |   |                   |
|       |      |          |                |                |                     |                       |   |                   |

Построить зависимость  $\ln \sigma_x = f(1/T)$



Найти точку перегиба и для каждого из наблюдаемых линейных участков (принимая за точки 1 и 2 соответственно начало и конец участка) рассчитать энергию активации собственной проводимости (ширину запрещенной зоны) и примесной проводимости (см. рисунок) по формуле

$$\Delta E = 2k \cdot \frac{\ln \sigma_2 - \ln \sigma_1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \text{ [Дж]}$$

где k - постоянная Больцмана  $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

Полученное значение перевести в электронвольты (1 эВ=  $1,60219 \cdot 10^{-19}$  Дж)

### Контрольные вопросы:

1. Что из себя представляет удельное электрическое сопротивление материала и какие значения данной величины характерны для диэлектриков, полупроводников и проводников

2. Что из себя представляет запрещенная зона и какие значения данной величины характерны для диэлектриков, полупроводников и проводников?
3. Почему у металлов с увеличением температуры и содержания примесей электрическое сопротивление металлов возрастает, а у полупроводников – снижается?
4. Чем отличаются собственная и примесная проводимость полупроводников?
5. Чем отличаются друг от друга полупроводники n- и p-типа?

### Полупроводники - варианты индивидуальных заданий

#### Вариант 1

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}} = 10 \text{ Ом}$ .

Длина образца  $L = 0,25 \text{ см}$ .

Площадь поперечного сечения образца  $S = 0,07 \text{ см}^2$ .

| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | Падение напряжения, В |                             |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 0                               | 2,405                 | 3,58                        |
| 50                              | 2,374                 | 3,63                        |
| 100                             | 2,236                 | 3,60                        |
| 200                             | 1,132                 | 4,60                        |
| 300                             | 0,5005                | 5,04                        |

#### Вариант 2

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}} = 10 \text{ Ом}$ .

Длина образца  $L = 0,25 \text{ см}$ .

Площадь поперечного сечения образца  $S = 0,07 \text{ см}^2$ .

| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | Падение напряжения, В |                             |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20                              | 2,80                  | 3,80                        |
| 50                              | 2,40                  | 3,63                        |
| 80                              | 2,236                 | 3,70                        |
| 120                             | 1,132                 | 3,20                        |
| 150                             | 0,505                 | 2,40                        |

#### Вариант 3

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}} = 10 \text{ Ом}$ .

Длина образца  $L = 0,25 \text{ см}$ .

Площадь поперечного сечения образца  $S = 0,07 \text{ см}^2$ .

| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | Падение напряжения, В |                             |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20                              | 2,405                 | 3,58                        |
| 50                              | 2,374                 | 3,63                        |
| 100                             | 2,236                 | 3,60                        |
| 150                             | 1,132                 | 4,60                        |
| 200                             | 0,505                 | 5,04                        |

#### Вариант 4

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}} = 15 \text{ Ом}$ .

Длина образца  $L = 0,3 \text{ см}$ .

Площадь поперечного сечения образца  $S = 0,1 \text{ см}^2$ .

| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | Падение напряжения, В |                             |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |

|     |       |      |
|-----|-------|------|
| 10  | 2,405 | 3,40 |
| 50  | 2,374 | 3,50 |
| 100 | 2,236 | 3,55 |
| 150 | 1,132 | 4,60 |
| 200 | 0,505 | 4,20 |

### Вариант 5

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 15 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,3 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 3,50                  | 3,58                        |
| 50              | 3,3                   | 3,53                        |
| 100             | 3,2                   | 3,60                        |
| 150             | 1,132                 | 4,60                        |
| 200             | 0,505                 | 5,04                        |

### Вариант 6

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 10 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,15 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,05 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,60                  | 3,58                        |
| 50              | 2,374                 | 3,55                        |
| 100             | 2,01                  | 3,40                        |
| 150             | 1,132                 | 4,10                        |
| 200             | 0,60                  | 5,20                        |

### Вариант 7

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 10 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,25 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,07 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 0               | 2,80                  | 2,60                        |
| 50              | 2,40                  | 2,45                        |
| 100             | 2,236                 | 2,50                        |
| 300             | 1,132                 | 3,20                        |
| 500             | 0,505                 | 2,40                        |

### Вариант 8

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 2 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,25 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 10              | 2,20                  | 3,58                        |
| 50              | 2,10                  | 3,63                        |
| 100             | 2,05                  | 3,76                        |
| 200             | 1,132                 | 4,85                        |
| 300             | 0,65                  | 5,05                        |

### Вариант 9

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 3 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,1 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,50                  | 4,00                        |
| 50              | 2,40                  | 4,27                        |
| 80              | 2,236                 | 4,45                        |
| 120             | 1,132                 | 3,20                        |
| 150             | 0,70                  | 2,40                        |

#### Вариант 10

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 5 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,1 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 5               | 2,405                 | 3,00                        |
| 30              | 2,374                 | 3,70                        |
| 50              | 2,236                 | 4,10                        |
| 70              | 1,132                 | 4,40                        |
| 90              | 0,505                 | 4,80                        |

#### Вариант 11

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 15 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,3 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,405                 | 3,58                        |
| 50              | 2,374                 | 3,71                        |
| 100             | 2,20                  | 3,76                        |
| 150             | 1,132                 | 5,5                         |
| 200             | 0,505                 | 5,41                        |

#### Вариант 12

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 20 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,4 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,405                 | 3,58                        |
| 50              | 2,374                 | 3,63                        |
| 100             | 2,236                 | 3,60                        |
| 150             | 1,132                 | 4,60                        |
| 200             | 0,505                 | 5,04                        |

#### Вариант 13

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 2,5 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,4 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,06 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |

|     |       |      |
|-----|-------|------|
| 5   | 2,405 | 3,58 |
| 50  | 2,374 | 3,63 |
| 100 | 2,236 | 3,60 |
| 150 | 1,40  | 4,60 |
| 250 | 0,505 | 6,05 |

**Вариант 14**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 10 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,2 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,15 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,80                  | 4,70                        |
| 50              | 2,40                  | 4,25                        |
| 80              | 2,236                 | 4,20                        |
| 120             | 1,18                  | 3,20                        |
| 150             | 0,70                  | 2,40                        |

**Вариант 15**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 10 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,25 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,07 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 5               | 2,40                  | 3,45                        |
| 50              | 2,35                  | 3,63                        |
| 90              | 2,236                 | 3,76                        |
| 130             | 1,12                  | 4,50                        |
| 170             | 0,49                  | 5,63                        |

**Вариант 16**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 20 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,4 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,405                 | 3,10                        |
| 50              | 2,376                 | 3,26                        |
| 100             | 2,30                  | 3,60                        |
| 150             | 1,132                 | 4,60                        |
| 200             | 0,505                 | 5,04                        |

**Вариант 17**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 15 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,3 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 0               | 3,50                  | 3,58                        |
| 100             | 3,30                  | 3,70                        |
| 200             | 3,20                  | 3,90                        |
| 400             | 1,132                 | 5,10                        |
| 500             | 0,505                 | 5,04                        |

**Вариант 18**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 15 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,13 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,05 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,60                  | 3,70                        |
| 50              | 2,374                 | 3,60                        |
| 100             | 2,01                  | 3,40                        |
| 150             | 0,90                  | 4,10                        |
| 200             | 0,60                  | 5,60                        |

#### Вариант 19

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 10 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,25 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,07 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 0               | 2,85                  | 2,60                        |
| 50              | 2,40                  | 2,55                        |
| 100             | 2,236                 | 2,67                        |
| 300             | 1,132                 | 3,20                        |
| 500             | 0,505                 | 2,40                        |

#### Вариант 20

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 1,8 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,25 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,05 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 10              | 2,20                  | 2,50                        |
| 50              | 2,10                  | 2,90                        |
| 100             | 2,05                  | 3,76                        |
| 200             | 0,90                  | 4,85                        |
| 300             | 0,40                  | 5,05                        |

#### Вариант 21

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 3,0 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,1 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,20                  | 4,00                        |
| 50              | 2,05                  | 4,20                        |
| 80              | 2,236                 | 5,10                        |
| 120             | 1,132                 | 3,50                        |
| 150             | 0,70                  | 2,80                        |

#### Вариант 22

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 4 Ом.

Длина образца  $L$  - 0,2 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  - 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце - $U_x$    | На эталоне - $U_{\text{Э}}$ |
| 5               | 2,405                 | 2,70                        |
| 30              | 2,374                 | 3,50                        |

|    |       |      |
|----|-------|------|
| 50 | 2,236 | 4,10 |
| 70 | 1,132 | 4,80 |
| 90 | 0,450 | 4,80 |

**Вариант 23**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 15 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,3 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,1 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,70                  | 3,40                        |
| 50              | 2,374                 | 3,50                        |
| 100             | 2,236                 | 4,10                        |
| 150             | 1,132                 | 4,30                        |
| 200             | 0,505                 | 4,50                        |

**Вариант 24**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 8 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,15 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,05 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 3,20                  | 4,70                        |
| 50              | 2,75                  | 4,25                        |
| 80              | 2,56                  | 4,20                        |
| 120             | 1,55                  | 3,62                        |
| 150             | 0,63                  | 1,82                        |

**Вариант 25**

Сопротивление эталона  $R_{\text{Э}}$  - 10 Ом.

Длина образца  $L$  – 0,2 см.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  – 0,15 см<sup>2</sup>.

| Температура, °С | Падение напряжения, В |                             |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
|                 | На образце – $U_x$    | На эталоне – $U_{\text{Э}}$ |
| 20              | 2,80                  | 4,70                        |
| 50              | 2,40                  | 4,25                        |
| 80              | 2,236                 | 4,20                        |
| 120             | 1,18                  | 3,20                        |
| 150             | 0,70                  | 2,40                        |