

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»



**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан факультета радиотехники  
и электроники

\_\_\_\_\_/ В.А. Небольсин /  
31 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
**«Вакуумная техника»**

**Направление подготовки** 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**Профиль** Микроэлектроника и твердотельная электроника

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 мес.

**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2021

Автор программы

\_\_\_\_\_  
Е.П. Николаева

И.о. заведующего кафедрой  
полупроводниковой электроники  
и нанoeлектроники

\_\_\_\_\_  
А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_  
А.В. Арсентьев

**Воронеж 2021**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование у обучающихся компетенций, заключающихся в способности:

- использовать закономерности физики вакуума в профессиональной деятельности;
- налаживать, испытывать и проверять работоспособность измерительного, диагностического, технологического оборудования, используемого для различных научно-технических, технологических, производственных задач в области электроники и наноэлектроники;
- разбираться в вопросах влияния технологического процесса с использованием вакуума на изготовление изделий электронной промышленности;
- выполнять расчет и выбирать вакуумные системы в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины:

- формирование представления об общих физико-химических закономерностях, лежащих в основе вакуумных технологических процессов получения материалов и структур микроэлектроники;
- выбор высоковакуумных технологических процессов для заданных объектов микро- и наноэлектроники;
- поиск новых конструктивно-технологических решений для реализации поставленных задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.13 «Вакуумная техника» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Вакуумная техника» направлен на формирование следующих компетенций:

**ПК-7:** способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-7	<b>знать</b> основы физики вакуума; принципы использования физических эффектов в вакууме в приборах и устройствах вакуумных систем; основные вакуумные свойства материалов, применяемых для

<p>вакуумных систем оборудования электронной промышленности; принцип действия технических средств для создания, поддержания и измерения вакуума в рабочем объеме оборудования электронной промышленности; основные источники научно-технической информации по свойствам газов при низких давлениях и физико-химическим процессам на поверхности твердых тел; источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по элементам вакуумных систем и вакуумным технологиям;</p>
<p><b>уметь</b> используя справочные материалы, выбирать вакуумное технологическое оборудование при проектировании и производстве изделий электронной техники; обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособность деталей в производстве вакуумного технологического оборудования;</p>
<p><b>владеть</b> навыками поиска информации о технических параметрах высоковакуумного оборудования для использования в технологии производства микроэлектронных изделий; методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники</p>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Вакуумная техника» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	32	32
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16
<b>Самостоятельная работа</b>	76	76
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3
		108
		3

##### Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	8	8
В том числе:		

Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	4	4
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
Часы на контроль	4	4
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Физика разреженных газов. Взаимодействие газов с твердыми телами	Область применения вакуумной техники. Элементы кинетической теории газов. Длина свободного пробега и степени вакуума. Свойства газов: диффузия, теплопроводность, внутреннее трение в зависимости от давления. Адсорбция и абсорбция газов. Проницаемость газов. Газовыделение. Суммарный газовый поток. Обезгаживание.	2	-	6	8
2	Теоретические основы процесса откачки. Техника получения вакуума	Поток, быстрота откачки, проводимость элементов. Основное уравнение вакуумной техники. Критерии границ режимов течения газа. Проводимость элементов вакуумной системы при различных режимах течения газа. Длительность откачки. Классификация насосов. Параметры и характеристики. Низковакуумные средства откачки. Пароструйные насосы. Рабочие жидкости – ловушки. Согласование насосов. Сорбционная откачка. Газопоглотительные свойства пленок. Ионно-сорбционные насосы. Криогенная откачка. Выбор и согласование насосов сверхвысоковакуумных систем.	2	-	6	8
3	Измерение вакуума. Теческание	Классификация манометров. Термопарные, электронно-ионизационные, магнитные электроразрядные манометры. Тепловые и электронные ионизационные манометры. Практические навыки работы. Особенности эксплуатации манометров. Расчет пределов работы термопарного манометра.	2	2	8	12
4	Вакуумные системы. Принцип построения	Принцип построения высоковакуумных и сверхвысоковакуумных систем. Проектный расчет вакуумных систем: расчет суммарного газового потока, выбор и согласование насосов, манометров, кранов, объема форбаллона. Принципиальная схема Выбор и согласование насосов. Системы безмасляной откачки. Ловушки. Сверхвысоковакуумные системы.	4	4	16	24
5	Вакуумные системы для напыления тонких пленок	Системы термовакуумного напыления. Системы откачки. Испарители. Магнетронные системы напыления. Выбор материалов для напыления резистивных пленок. Расчет толщины и разброса толщины пленок. Загрязнение пленки за счет адсорбции остаточных газов и внедрения в процессе напыления. Напыление многокомпонентных (резистивных) пленок.	6	10	40	56
<b>Итого</b>			<b>16</b>	<b>16</b>	<b>76</b>	<b>108</b>

#### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Физика разреженных газов. Взаимодействие газов с твердыми телами	Область применения вакуумной техники. Элементы кинетической теории газов. Длина свободного пробега и степени вакуума. Свойства газов: диффузия, теплопроводность, внутреннее трение в зависимости от давления. Адсорбция и абсорбция газов. Проницаемость газов. Газовыделение. Суммарный газовый поток. Обезгаживание.	-	-	10	10
2	Теоретические основы процесса откачки. Техника получения вакуума	Поток, быстрота откачки, проводимость элементов. Основное уравнение вакуумной техники. Критерии границ режимов течения газа. Проводимость элементов вакуумной системы при различных режимах течения газа. Длительность откачки. Классификация насосов. Параметры и характеристики. Низковакуумные средства откачки. Пароструйные насосы. Рабочие жидкости – ловушки. Согласование насосов. Сорбционная откачка. Газопоглотительные свойства пленок. Ионно-сорбционные насосы.	2	-	10	12

		Криогенная откачка. Выбор и согласование насосов сверхвысоковакуумных систем.				
3	Измерение вакуума. Течеискание	Классификация манометров. Термопарные, электронно-ионизационные, магнитные электроразрядные манометры. Тепловые и электронные ионизационные манометры. Практические навыки работы. Особенности эксплуатации манометров. Расчет пределов работы термопарного манометра.	2	-	16	18
4	Вакуумные системы. Принцип построения	Принцип построения высоковакуумных и сверхвысоковакуумных систем. Проектный расчет вакуумных систем: расчет суммарного газового потока, выбор и согласование насосов, манометров, кранов, объема форбаллона. Принципиальная схема Выбор и согласование насосов. Системы безмасляной откачки. Ловушки. Сверхвысоковакуумные системы.	-	2	30	32
5	Вакуумные системы для напыления тонких пленок	Системы термовакуумного напыления. Системы откачки. Испарители. Магнетронные системы напыления. Выбор материалов для напыления резистивных пленок. Расчет толщины и разброса толщины пленок. Загрязнение пленки за счет адсорбции остаточных газов и внедрения в процессе напыления. Напыление многокомпонентных (резистивных) пленок.	-	2	30	32
<b>Всего</b>			<b>4</b>	<b>4</b>	<b>96</b>	<b>104</b>
<b>Контроль</b>						<b>4</b>
<b>Итого</b>						<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Вакуумная техника» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-7	знать основы физики вакуума; принципы использования физических эффектов в вакууме в приборах и устройствах вакуумных систем; основные вакуумные свойства материалов, применяемых для вакуумных систем оборудования электронной промышленности; принцип действия технических средств для создания, поддержания и измерения вакуума в рабочем объеме оборудования электронной промышленности; основные источники научно-	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	технической информации по свойствам газов при низких давлениях и физико-химическим процессам на поверхности твердых тел; источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по элементам вакуумных систем и вакуумным технологиям;			
	<b>уметь</b> используя справочные материалы, выбирать вакуумное технологическое оборудование при проектировании и производстве изделий электронной техники; обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособность деталей в производстве вакуумного технологического оборудования;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками поиска информации о технических параметрах высоковакуумного оборудования для использования в технологии производства микроэлектронных изделий; методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения, в 4 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-2	<b>знать</b> основы физики вакуума; принципы использования физических эффектов в вакууме в приборах и устройствах вакуумных систем; основные вакуумные свойства материалов, применяемых для вакуумных систем оборудования электронной промышленности; принцип действия технических средств для создания, поддержания и измерения вакуума в рабочем объеме оборудования электронной промышленности; основные источники научно-технической информации по свойствам газов при низких давлениях и физико-химическим процессам на поверхности твердых тел; источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по элементам вакуумных систем и вакуумным технологиям;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> используя справочные материалы, выбирать вакуумное технологическое оборудование при проектировании и производстве изделий электронной техники; обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособность деталей в производстве вакуумного технологического оборудования;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>владеть</b> навыками поиска информации о технических параметрах высоковакуумного оборудования для использования в технологии производства микроэлектронных изделий; методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %

**7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

#### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Средняя длина свободного пути молекул газа. Понятие о степенях вакуума»
  1.  $\lambda \ll d$  С.В;
  2.  $\lambda = d$  В.В;
  3.  $\lambda \leq d$  Н.В.
2. Теплопроводность газов, зависимость от режимов течения газа:
  1.  $Q = \text{const}P \rightarrow$  В.В;
  2.  $Q = \text{const} \rightarrow$  С.В;
  3.  $Q = \text{const}/P \rightarrow$  Н.В.
3. Границы режимов течения газа:
  1.  $P \leq P_{\text{м-в}}^{\text{В}} \rightarrow$  вязк.;
  2.  $P < P_{\text{м-в}}^{\text{Н}} \rightarrow$  вязк.;
  3.  $P < P < P_{\text{м-в}}^{\text{Н}}$  в  $\rightarrow$  мол.- вязк.
4. Физическая адсорбция газов и паров:
  1. поглощение поверхностью твердого тела;
  2. поглощение объемом твердого тела;
  3. частично обратима.
5. Пароструйные высоковакуумные насосы, механизм откачки:
  1. адсорбция газов;
  2. диффузия газов;
  3. ионизация газов.
6. Электрофизические средства откачки:
  1. диффузия газов;
  2. сорбция газов;
  3. сжатие газов.
7. Способы очистки деталей вакуумных систем:
  1. обезгаживание при высокой температуре;
  2. ионизация газов;
  3. сорбция газов.
8. Тепловые вакуумметры, нижний предел:
  1. теплоотвод по корпусу и излучение;
  2. ионизация газов;
  3. диффузия газов.
9. Электронные ионизационные вакуумметры, принцип работы:
  1. сорбция газов;
  2. ионизация газов;
  3. теплопроводность газов.
10. Газопроницаемость материалов определяется:
  1. коэффициентом теплопроводности газов;
  2. диффузией газов через стенку;
  3. ионизацией газов.

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Рассчитать проводимость трубопровода для воздуха  $d = 3,2$  см при температуре  $T = 293$  К для  $P_1 = 5 \cdot 10^2$  Па,  $P_2 = 1$  Па,  $P_3 = 6 \cdot 10^{-4}$  Па.
2. Расстояние между испарителем и подложкой  $d = 30$  см. определить давление при котором нужно проводить процесс напыления чтобы режим течения газа был молекулярным.
3. Выбрать основной насос если  $P_{\text{пред}} = 5 \cdot 10^{-4}$ , суммарный поток газовой выделенной  $Q_{\text{max}} = 1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с.
4. Рассчитать суммарный поток газов, проникающий через резиновый уплотнитель марки 7989, имеющий площадь  $72$  см<sup>2</sup>, толщиной  $1$  см при комнатной температуре.
5. Определить быстроту откачки вспомогательного насоса для высоковакуумного насоса Н-2Т.
6. Определить объем форбаллона при работе основного насоса Н-2Т ( $P_{\text{наиб}} = 13$  Па), если быстрота откачки вспомогательного насоса равна  $6$  л/с.
7. Определить время, необходимое для откачки вакуумной камеры, изготовленной из нержавеющей стали, площадью стенок  $0,3$  м<sup>2</sup>, резинового уплотнителя марки 7889 площадью  $50$  см<sup>2</sup>. Эффективная быстрота откачки вакуумной системы  $10$  л/с.
8. Рассчитать поток газов, диффундирующих из атмосферы в вакуумную камеру через стенку из нержавеющей стали толщиной  $2,5 \cdot 10^{-3}$  м, площадью  $1 \cdot 10 - 2$  м<sup>2</sup>, температура стенки  $1000$  °С.
9. Рассчитать проводимость по воздуху электромагнитного клапана с размером проходного сечения  $3,2$  см, длиной  $120$  см при молекулярном течении газов.
10. Выполнить проектный расчет вакуумной системы, если  $P_{\text{пред}} = 1 \cdot 10^{-3}$  Па, длительность предварительной откачки  $5$  мин, максимальный поток газовой выделенной  $Q_{\text{max}} = 6 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>Па/с, объем рабочей камеры  $80$  л.

## 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить давление для проведения процесса при молекулярном течении газов при заданном  $d$
2. Согласование насосов. Расчет характеристик вспомогательных насосов.
3. Выбор основного насоса
4. Принципиальная схема высоковакуумной системы при  $P_{np} \geq 10^{-5}$  Па.
5. Принципиальная схема сверхвысокововакуумной системы при  $P_{np} \leq 10^{-5}$  Па.
6. Принципиальная схема сверхвысокововакуумной системы безмасляной откачки с применением защитного вакуумного клапана.
7. Схема установки магнетронной распылительной системы непрерывного действия
8. Как изменяется проницаемость элементов вакуумной системы «вакуум в вакууме» от давления в защитном вакуумном колпаке?
9. Определить разброс толщины пленки по диаметру пластины если диаметр пластины  $d$  расстояние между подложкой и испарителем  $h$  для точечного и плоского источника.
10. С какой целью применяются низкотемпературные ловушки в высоковакуумных системах, принцип конструкции ловушек?

## 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Понятие об идеальном газе. Давление и плотность газа. Законы идеальных газов. Уравнение состояния идеального и реального газа.
2. Распределение молекул газа по скоростям.
3. Средняя длина свободного пути молекул газа. Понятие о степенях вакуума.
4. Расчет длины свободного пробега при заданном давлении и размере  $d$ .

5. Число молекул, ударяющихся о поверхность, их средняя энергия и занимаемый ими объем.
6. Вязкость газов.
7. Диффузия в газах.
8. Теплопроводность газов.
9. Границы режимов течения газа.
10. Проводимость трубопровода при различных режимах течения газа.
11. Проводимость отверстия при вязкостном и молекулярном течении газа.
12. Основное уравнение вакуумной техники.
13. Сорбционные явления.
14. Испарение и конденсация.
15. Адсорбция газов и паров.
16. Растворимость газов и газосодержание в твердых телах.
17. Диффузия газов в твердых телах и газопроницаемость материалов.
18. Расчет длительности откачки при квазистационарном течении газа и постоянных газовыделении и натекании.
19. Методы измерения полного давления разреженного газа. Жидкостные и деформационные вакуумметры.
20. Тепловые вакуумметры.
21. Электронные ионизационные вакуумметры.
22. Магнитные электроразрядные вакуумметры.
23. Методы измерения потока разреженного газа.
24. Методы течеискания. Галогенный и пузырьковый методы.
25. Масс-спектрометрический метод течеискания.
26. Основные параметры и характеристики вакуумных насосов. Классификация вакуумных насосов по принципу и области действия.
27. Механические вакуумные насосы с масляным уплотнением.
28. Пароструйные высоковакуумные насосы.
29. Вакуумные ловушки: механические, низкотемпературные, адсорбционные.
30. Электрофизические средства откачки.
31. Криогенные средства откачки.
32. Материалы для вакуумных систем: металлы, стекла, керамика, органические материалы.
33. Способы очистки деталей вакуумных систем
34. Особенности неразъемных вакуумных соединений: паяные и сварные соединения; согласование разнородных материалов; уплотнители.
35. Вакуумные системы: основные требования и типовые схемы. Принцип построения.
36. Согласование насосов. Расчет характеристик вспомогательных насосов.
37. Расчет характеристик и выбор основного насоса при заданных предельном давлении и суммарном газовом потоке.
38. Методика расчета суммарного газового потока.
39. Методика расчета объема форвакуумного баллона.
40. Вакуумные системы термовакуумного напыления тонких пленок.
41. Испарители. Откачанная система. Выбор материалов.
42. Многослойные пленки. Расчет толщины и разброса толщины пленок.
43. Магнетронные распылительные системы напыления пленок.
44. Напыление многокомпонентных пленок.
45. Оценка чистоты напыления слоев.
46. Расчет концентрации частиц остаточного газа, адсорбированных поверхностью и внедрившихся в процессе напыления.

### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 7 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 7 до 10 баллов.

При получении оценки «зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Физика разреженных газов. Взаимодействие газов с твердыми телами	ПК-7	Тест, устный опрос, зачет
2	Теоретические основы процесса откачки. Техника получения вакуума	ПК-7	Тест, устный опрос, зачет
3	Измерение вакуума. Течеискание	ПК-7	Тест, устный опрос, зачет
4	Вакуумные системы. Принцип построения	ПК-7	Тест, устный опрос, зачет
5	Вакуумные системы для напыления тонких пленок	ПК-7	Тест, устный опрос, зачет

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется провер-

ка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература

1. **Ситников А.В.** Физические основы вакуумной техники: учеб. пособие / А.В. Ситников. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. - 81 с.

2. **Беляев Н.В.** Расчет вакуумных систем в примерах: учеб. пособие / Н.В. Беляев. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. - 121 с.

3. **Грачев Е.Ю.** Физические основы вакуумной техники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е. Ю. Грачев, А.А. Фефелов, А.А. Трубицын. - Рязань : РГРТУ, 2024. - 92 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/439697>

4. **Ситников А.В.** Расчет процессов откачки вакуумных технологических установок [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Ситников, О.В. Стогней. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. - 91 с.

5. **Панфилович К.Б.** Физические основы вакуумной техники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / К.Б. Панфилович, П.И. Бударин, А.Х. Садыков. - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2008. - 136 с. - ISBN 978-5-7882-0647-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63531.html>

6. **Антоненко С.В.** Технология тонких пленок [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / С.В. Антоненко. - М.: НИЯУ МИФИ, 2008. - 104 с. - ISBN 978-5-7262-1036-0. URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=75918](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75918)

#### Дополнительная литература

7. **Шешин Е.П.** Вакуумные технологии: учеб. пособие / Е.П. Шешин. - Чебоксары: Интеллект, 2009. - 504 с. - (Физтехмовский учебник). - ISBN 978-5-91559-012-9

8. **Никитин Л.Н.** Способы создания глубокого вакуума [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.Н. Никитин, А.С. Костюков, М.Ю. Гостев. - Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2020. - ISBN 978-5-7731-0846-7.

9. **Васильев В.Ю.** Технология тонких пленок для микро- и наноэлектроники: учеб. пособие / В.Ю. Васильев. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 107 с. - ISBN 978-5-7782-3915-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/98748.html>

10. **Демихов К.Е.** Оптимизация высоковакуумных механических насосов / К.Е. Демихов, Н.К. Никулин. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 256 с. - ISBN 978-5-7038-3448-0. URL: <http://www.iprbookshop.ru/104571.html>

11. **Шестак В.П.** Вакуумная техника. Концепция разреженного газа [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / В.П. Шестак. - М.: НИЯУ МИФИ, 2012. - 272 с. - ISBN 978-5-7262-1585-3. URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=75958](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75958)

12. **Методические указания** к выполнению практических и контрольных работ по дисциплине «Вакуумная техника» для студентов направления подготовки 11.03.04 «Элек-

троника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») заочной формы обучения [Электронный ресурс] / сост.: Е.П. Николаева, С.О. Николаева. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2019 (№ 64-2019).

13. **Вакуумная техника** [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению практических занятий для студентов направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») всех форм обучения / сост.: Н.Н. Кошелева, Е.П. Николаева. - Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2025 (№ 107-2025).

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

### **Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

### **Используемые электронные библиотечные системы:**

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:  
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

### **Информационные справочные системы:**

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, ста-

ционарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);  
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.  
проектор BenQ MP515 DLP;  
экран ScreenMedia настенный.  
огнетушитель.

**2. Дисплейный класс** для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);  
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.  
компьютер-сборка каф.9;  
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);  
компьютер-сборка каф.7;  
компьютер-сборка каф.3;  
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);  
компьютер-сборка каф.5;  
компьютер-сборка каф.4;  
компьютер-сборка каф.8;  
компьютер-сборка каф.2;  
компьютер-сборка каф.6;  
компьютер-сборка каф.10;  
комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;  
компьютер-сборка каф.1;  
экран Projecta ProScreen настенный рулонный;  
проектор BenQ MP515 DLP;  
огнетушитель.

## **10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Вакуумная техника» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета высоковакуумных систем по заданным параметрам. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	04.02.2025	
2			
3			
4			