

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  Небольсин В.А.

«30» августа 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

« Вакуумная техника »

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы



/ Е.П. Николаева /

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой элек-
троники и наноэлектроники



/ С. И Рембеза /

Руководитель ОПОП



/ С.И Рембеза /

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

формирование у обучающихся компетенций, заключающихся в способности использовать закономерности физики вакуума в профессиональной деятельности, способности налаживать, испытывать и проверять работоспособность измерительного, диагностического, технологического оборудования, используемого для различных научно-технических, технологических, производственных задач в области электроники и нанoeлектроники, способности разбираться в вопросах влияния технологического процесса с использованием вакуума на изготовление изделий электронной промышленности, способности 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 нанoeлектроники; поиск новых конструктивно-технологических решений для реализации поставленных задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Вакуумная техника» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ОПК-1 – способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

ОПК-2 – способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	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-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.
	уметь 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
	владеть навыками поиска информации о технических параметрах высоковакуумного оборудования для использования в в технологии производства микроэлектронных изделий; методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники
ОПК-2	знать 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.
	уметь обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособность деталей в производстве вакуумного технологического оборудования
	владеть методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Вакуумная техника» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	32	32
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16

Самостоятельная работа	76	76
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	108 3	108 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.	2	-	6	8
		Свойства газов: диффузия, теплопроводность, внутреннее трение в зависимости от давления. Адсорбция и абсорбция газов. Проницаемость газов. Газовыделение. Суммарный газовый поток. Обезгаживание.				
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	2	-	6	8
		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				
3	Измерение вакуума. Течеискание	Классификация манометров. Термопарные, электронно-ионизационные, магнитные электроразрядные манометры	2	2	8	12
		Тепловые и электронные ионизационные манометры. Практические навыки работы. Особенности эксплуатации манометров. Расчет пределов работы термопарного манометра.				
4	Вакуумные системы. Принцип построения	Принцип построения вакуумных систем. Высоковакуумные системы. Выбор и согласование насосов. Системы безмасляной откачки. Ловушки. Сверхвысоковакуумные системы. Выбор и	2			12

		согласование насосов.		2	8	
		Принцип построения высоковакуумных и сверхвысоковакуумных систем.				
		Рассчитать суммарный газовый поток, выбрать и согласовать насосы, объем форбаллона..				
		Проектный расчет вакуумных систем: расчет суммарного газового потока, выбор и согласование насосов, манометров, кранов. Принципиальная схема	2	2	8	12
		Выполнить проектный расчет вакуумной системы с заданным Р _{пред} и размерами элементов внутрикамерного устройства.				
		На принципиальной схеме системы указать тип, размер насосов, манометры, затворы. Пояснить порядок включения и выключения				
5	Вакуумные системы для напыления тонких пленок	Системы термовакуумного напыления.	2	2	8	12
		Изучить принцип построения и порядок работы на установке термовакуумного напыления.				
		Рассчитать толщину пленки, разброс толщин пленки АС.				
		Системы откачки. Испарители.	2	2	8	12
		Оценить загрязнение пленки за счет адсорбции остаточных газов и внедрения в процессе напыления.				
		Магнетронные системы напыления.				
		Расчет толщины и разброса толщины пленок.	2	2		12
		Принцип построения и порядок работы.				
		Выбор средств откачки. Напыление многокомпонентных (резистивных) пленок.			8	
		Системы откачки. Режимы. Выбор материалов для напыления резистивных пленок.	-	2	8	10
		Выбор средств откачки. Напыление многокомпонентных (резистивных) пленок.				
		Магнетронные системы напыления.	-	2	8	10
Принцип построения и порядок работы. Средства откачки. Напыление многокомпонентных пленок.						
Итого			16	16	76	108

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 не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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
ОПК-1	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-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.	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь используя справочные материалы, выбирать вакуумное	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	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			граммах
	владеть навыками поиска информации о технических параметрах высоковакуумного оборудования для использования в в технологии производства микроэлектронных изделий; методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать 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.	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособность деталей в производстве вакуум-	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

ного технологического оборудования			
Владеть методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, 5 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
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-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%

	уметь 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
	владеть 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
ОПК-2	знать 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.			
	уметь обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособ-			

		ность деталей в производстве вакуумного технологического оборудования				
		владеть методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники				
Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	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-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 техно-	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	ЛОГИЯМ.					
	уметь 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	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками поиска информации о технических параметрах высоковакуумного оборудования для использования в в технологии производства микроэлектронных изделий; методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать 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	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	вакуумных систем и вакуумным технологиям.					
	уметь обоснованно выбирать методы обработки поверхностей материалов и структур микроэлектроники; проверять работоспособность деталей в производстве вакуумного технологического оборудования	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть методами расчета и выбора параметров высоковакуумных технологических процессов для производства объектов микроэлектроники	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

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.

$$\lambda \ll d \text{ С.В}$$

$$\lambda = d \text{ В.В}$$

$$\lambda \leq d \text{ Н.В}$$

2. Теплопроводность газов, зависимость от режимов течения газа.

$$Q = \text{const} P \rightarrow \text{В.В}$$

$$Q = \text{const} \rightarrow \text{С.В}$$

$$Q = \text{const}/P \rightarrow \text{Н.В}$$

3. Границы режимов течения газа..

$$P \leq P_{\text{м-в}}^{\text{В}} \rightarrow \text{вязк.}$$

$$P < P_{\text{м-в}}^{\text{Н}} \rightarrow \text{вязк.}$$

$$P < P < P_{\text{м-в}}^{\text{Н}} \rightarrow \text{мол.- вязк.}$$

4. Адсорбция газов и паров.

Физическая адсорбция – поглощение поверхностью твердого тела.

Физическая адсорбция – поглощение объема твердого тела.

Физическая адсорбция – частично обратима.

5. Пароструйные высоковакуумные насосы, механизм откачки.

Адсорбция газов.

Диффузия газов.

Ионизация газов.

6. Электрофизические средства откачки.

Диффузия газов.

Сорбция газов.

Сжатие газов

7. Способы очистки деталей вакуумных систем

Обезгаживание при высокой температуре.

Ионизация газов.

Сорбция газов.

8. Тепловые вакуумметры, нижний предел.

Теплоотводом по корпусу и излучением.

Ионизация газов.

Диффузия газов.

9. Электронные ионизационные вакуумметры, принцип работы.

Сорбция газов.

Ионизация газов.

Теплопроводность газов.

10. газопроницаемость материалов определяется.

Коэффициентом теплопроводности газов

Диффузии газов через стенку.

Ионизация 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.

Ответ: 1 – вязкостный, 2 – молекулярно-вязкостный, 3 – молекулярный.

2. Расстояние между испарителем и подложкой $d = 30$ см. определить давление при котором нужно проводить процесс напыления чтобы режим течения газа был молекулярным.

Ответ: $P \leq 6 \cdot 10^{-3}$.

3. выбрать основной насос если $P_{\text{пред}} = 5 \cdot 10^{-4}$, суммарный поток газовыделения $Q_{\text{max}} = 1 \cdot 10^{-4}$ м³/с.

Ответ: $S_n \geq 400$ л/с, $P_{\text{пред}} \leq 5 \cdot 10^{-4}$.

4. Рассчитать суммарный поток газов, проникающий через резиновый уплотнитель марки 7989, имеющий площадь 72 см², толщиной 1 см при ком-

натной температуре.

Ответ: $Q = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ (по азоту и кислороду).

5. определить быстроту откачки вспомогательного насоса для высоковакуумного насоса Н-2Т.

Ответ: механический $S_n = 6 \text{ л/с}$.

6. определить объем форбаллона при работе основного насоса Н-2Т ($P_{\text{наиб}} = 13 \text{ Па}$) если быстрота откачки вспомогательного насоса равна 6 л/с.

Ответ: $V_{\text{форб}} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

7. определить время необходимое для откачки вакуумной камеры изготовленной из нержавеющей стали площадью стенок $0,3 \text{ м}^2$, резинового уплотнителя марки 7889 площадью 50 см^2 . Эффективная быстрота откачки вакуумной системы 10 л/с.

Ответ: 2,4 часа.

8. Рассчитать поток газов диффундирующих из атмосферы в вакуумную камеру через стенку из нержавеющей стали толщиной $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, площадью $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, температура стенки 1000° С .

Ответ: $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$.

9. Рассчитать проводимость по воздуху электромагнитного клапана с размером проходного сечения 3,2 см, длиной 120 см при молекулярном течении газов.

Ответ: 9,2 л/с.

10. Выполнить проектный расчет вакуумной системы если $P_{\text{пред}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ длительность предварительной откачки 5 минут максимальный поток газовой выделения $Q_{\text{max}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$, объем рабочей камеры 80 л.

Ответ: Высоковакуумная система: пароструйный диффузионный насос с ловушкой с расчетной эффективной быстротой откачки $S_n \geq 1600 \text{ л/с}$, механический насос быстротой действия $S_n \geq 5,8 \text{ л/с}$, объем форбаллона $V_{\text{форб}} \geq 13 \text{ л}$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

1. Определить давление для проведения процесса при молекулярном течении газов при заданном d

Ответ: $P \leq P_{\text{м-в}}^H$

2. Согласование насосов. Расчет характеристик вспомогательных насосов.

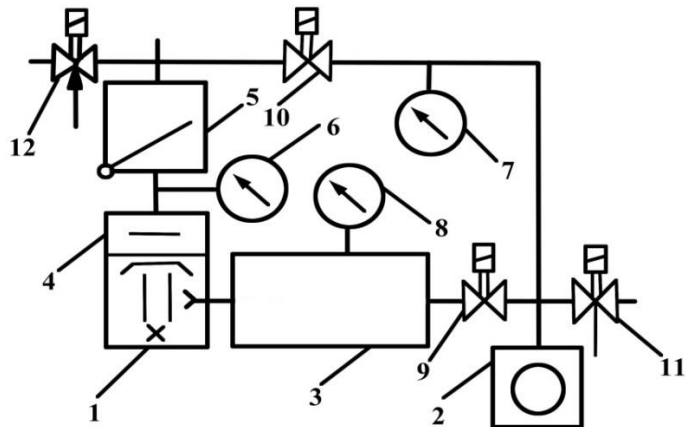
Ответ: $P_{\text{всп}}^{\text{осн}}, P_{\text{нач}}^{\text{осн}} \leq P_{\text{пред}}^{\text{всп}}$
 $S_{\text{н.расч}}^{\text{всп}} = \frac{S_n^{\text{осн}} \cdot P_{\text{max.раб}}^{\text{осн}}}{(0,7-0,75)P_{\text{вып}}^{\text{осн}}} \cdot K$
 $S_{\text{н.}}^{\text{всп}} \geq S_{\text{н.расч}}^{\text{всп}}$

3. Выбор основного насоса

Ответ: $S_0^{\text{осн}} = \frac{Q_{\text{max}}}{P_{\text{пред}}}$
 $S_{\text{н}}^{\text{осн}} = 2S_0^{\text{осн}}$

4. Принципиальная схема высоковакуумной системы при $P_{np} \geq 10^{-5}$ Па.

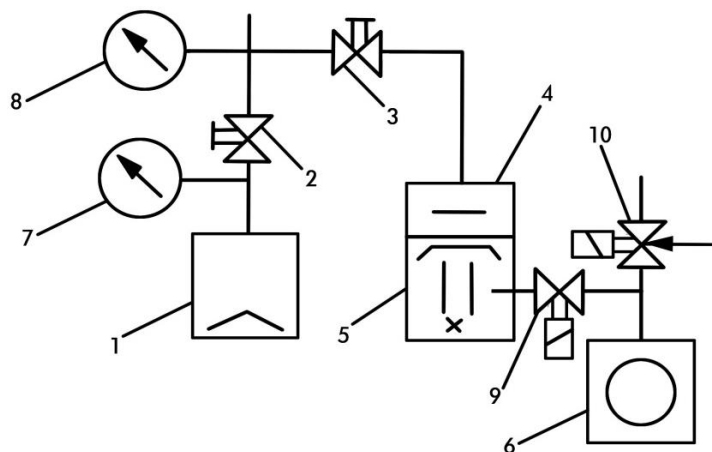
Ответ:



1 — диффузионный насос; 2 — механический насос; 3 — форвакуумный баллон; 4 — ловушка; 5 — высоковакуумный затвор; 6, 7, 8 — манометрические датчики; 9, 10 — клапаны; 11 — клапан-натекагель; 12 — вентиль-натекагель

5. Принципиальная схема сверхвысоковакуумной системы $P_{np} \leq 10^{-5}$ Па.

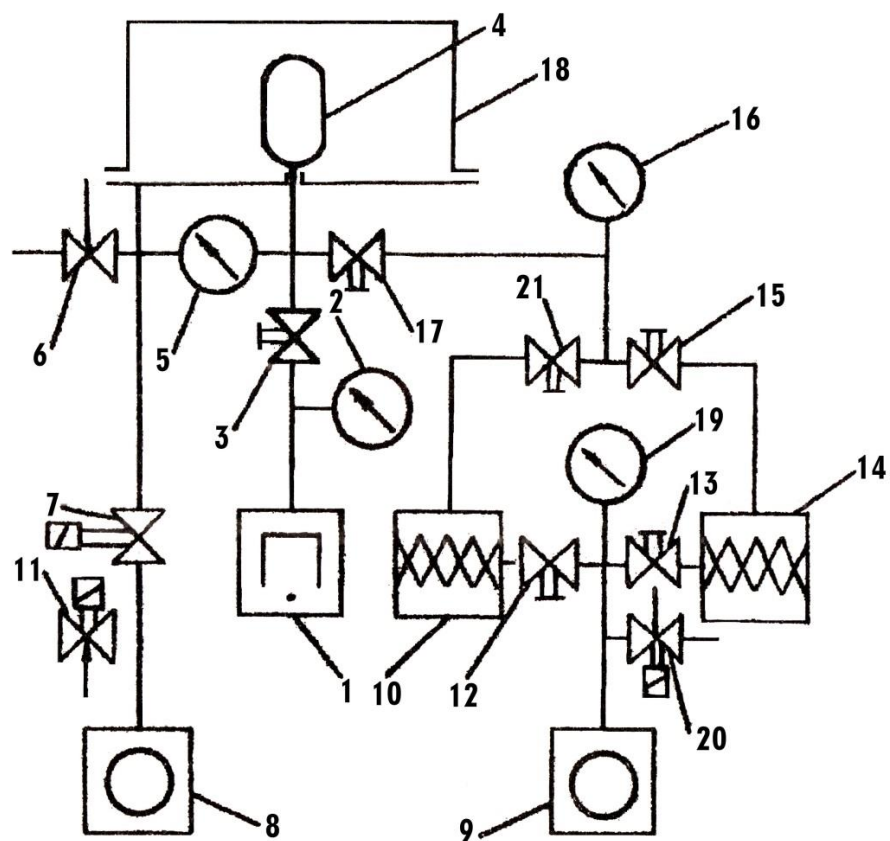
Ответ:



1 — сверхвысоковакуумный сорбционный насос; 2, 3 — клапаны; 4 — азотная ловушка; 5 — диффузионный насос; 6 — механический насос; 7, 8 — манометрические датчики; 9 — клапан; 10 — клапан-натекагель

6. Принципиальная схема сверхвысоковакуумной системы безмасляной откачки с применением защитного вакуумного клапана.

Ответ:



1 — сверхвысоковакуумный сорбционный насос; 2, 5, 16, 19 — манометры;

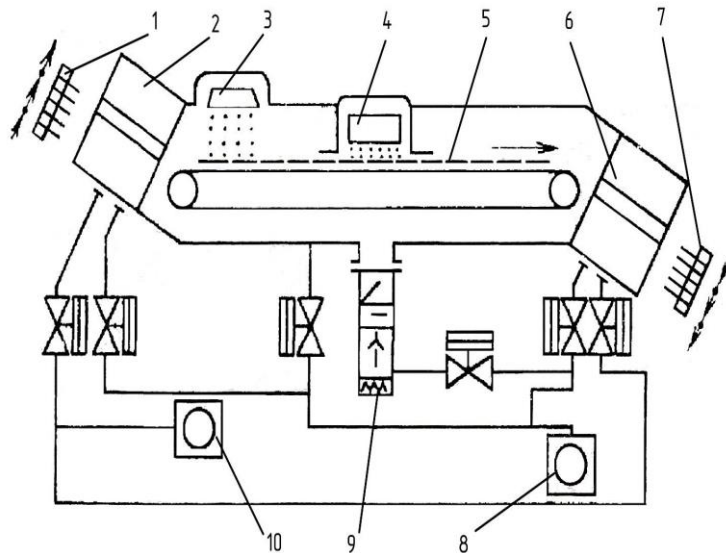
3 — высоковакуумный затвор; 4 — вакуумная камера;

6, 11, 20 — натекатели; 7, 12, 13, 15, 17, 21 — краны;

8, 9 — механические насосы; 10, 14 — адсорбционные насосы; 18 — защитный вакуумный колпак

7. Схема установки магнетронного распылительной системы непрерывного действия

Ответ:



1 – кассета с пластинами, 2 – устройство загрузки, 3 – ионная очистка, 4 – магнетронная система распыления, 5 – конвейер, 6 – устройство выгрузки, 7 – кассета выгрузки, 8;10 – форвакуумный насос, 9 – геттеро-ионный насос.

8. Как изменяется проницаемость элементов вакуумной системы «вакуум в вакууме» от давления в защитном вакуумном колпаке.

Ответ:

$$Q_{\text{прон}} = q_{\text{прон}} \frac{A}{d} (P_{\text{колп}} - P_{\text{пред}})$$

9. Определить разброс толщины пленки по диаметру пластины если диаметр пластины d расстояние между подложкой и испарителем h для точечного и плоского источника.

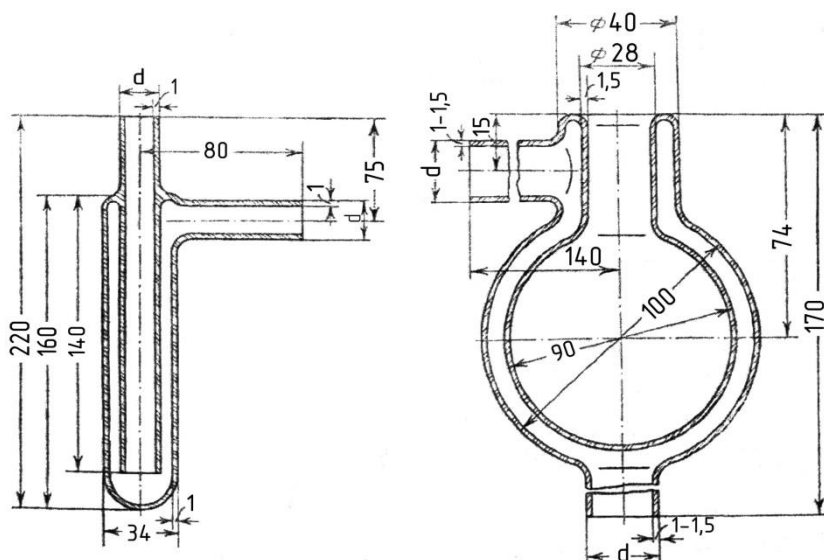
Ответ:

$$\left(\frac{d}{d_o} \right)_{\text{точ}} = \left[1 + \left(\frac{1}{h} \right)^2 \right]^{-2};$$

$$\left(\frac{d}{d_o} \right)_{\text{точ}} = \left[1 + \left(\frac{1}{h} \right)^2 \right]^{-3/2}.$$

10. С какой целью применяются низкотемпературные ловушки в высоковакуумных системах, принцип конструкции ловушек.

Ответ: для исключения попадания паров рабочей жидкости в вакуумную камеру.



а)

б)

. Стекланные азотные ловушки:

а) применяется с сосудом Дьюара;

б) шаровая

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 течения 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 газо-выделении и натекании.
19. Методы измерения полного давления разреженного газа. Жидкостные и деформацион-ные 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 и особенности неразъемных вакуумных со-единений: паяные и сварные соединения; согласование разнородных материалов; уплот-нители.
34. Вакуумные системы: основные требования и типовые схемы. Принцип построения.
35. Согласование насосов. Расчет характеристик вспомогательных насосов.
36. Расчет характеристик и выбор основного насоса при заданных предельном давлении и суммарном газовом потоке.
37. Методика расчета суммарного газового потока.
38. Методика расчета объема форвакуумного баллона.
39. Проверить согласование высоковакуумного и механического насосов (по заданию), соединенных последовательно, при максимальном га-зовом потоке в основном насосе $3 \cdot 10^{-3}$; $5 \cdot 10^{-4}$ ПамЗ/с.
40. Рассчитать потоки газа, протекающего через резиновый, фторо-пластовый уплотнители толщиной d .
41. Рассчитать поток газов, диффундирующих в вакуумный объем через пластину из нержавеющей стали толщиной d мм, нагретую до 1000°C .
42. Вакуумные системы термовакuumного напыления тонких пленок. Испарители. Откачанная система. Выбор материалов. Многослойные пленки. Расчет толщины и разброса толщины пленок.
43. Магнетронные распылительные системы напыления пленок. Напыление многокомпо-нентных пленок.

44. Оценка чистоты напыления слоев. Расчет концентрации частиц остаточного газа, адсорбированных поверхностью и внедрившихся в процессе напыления.

45. Выполнить проектный расчет высоковакуумной системы для заданных $P_{пред}$ и размеров внутрикамерных элементов. Задание включает расчет суммарного газового потока, выбор типа и размера насосов, согласование насосов, расчет объема форбаллона. На принципиальной схеме системы указать тип и размер насосов, необходимое количество затворов, натекателей типа манометров. Пояснить порядок включения и выключения.

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

(Например: Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Физика разреженных газов.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Взаимодействие газов с твердыми телами.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Теоретические основы процесса откачки.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Техника получения вакуума.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

			проекту....
5	Измерение вакуума. Течеискание.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Вакуумные системы.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
7	Принцип построения.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
8	Вакуумные системы для напыления тонких пленок.	ОПК-1,2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики 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 проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы/составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
8.1.1 Основная литература				
1.1	Розанов Л.Н.	Вакуумная техника. М.: Высш. шк., 2000. 320 с.	Учеб. для вузов, 2000	1
1.2	Демихов К.Е., Панфилова Ю.В.	Вакуумная техника: справочник / Под. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. М.: Машиностроение, 2009. 590 с.	Справочник, 2009	1
1.3	Шешин Е.П.	Вакуумные технологии. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2009. 504 с.	Учеб. пособие, 2009	0,1
8.1.2 Дополнительная литература				
2.1	Хоффман Д.М., Сингх Б., Томас Д.	Справочник по вакуумной технике и технологиям. М.: Техносфера, 2008.	Справочник, 2008	1
2.2	Под ред. В.П. Глушко	Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справочное издание; в 4-х т.. М.: Наука, 1982.	Справочник, 1982	0,1
8.1.3 Методические разработки				
3.1	Николаева Е.П., Николаева С.О.	Методические указания № 77-2017 к выполнению практических занятий по дисциплине «Вакуумная техника». Воронеж: ВГТУ, 2017.	Метод. указ., 2017	1

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

Электронная библиотека elibrary.ru.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1	Вакуумные насосы
9.2	Технологическое оборудование
9.3	Контрольно-измерительное оборудование

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Вакуумная техника» .

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. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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.
Практическое занятие	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: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
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.