

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### «ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА»

(2 семестра)

1. Мера вакуума. Единицы измерения вакуума. Диапазоны давлений, основные характеристики.
2. Кинетическая теория газов. Основные постулаты. Давление газа, выражение для давления.
3. Газовые законы. Уравнение газового состояния.
4. Скорость и энергия молекул газа. Функция распределения.
5. Частота соударений молекул газа с поверхностью. Определение быстроты действия вакуумных насосов.
6. Длина свободного пробега молекул разреженного газа. Связь с давлением. Случай смеси газов.
7. Определение различных степеней разрежения газов. Критерий Кнудсена. Понятие сверхвысокого вакуума.
8. Испарение вещества. Давление насыщенного пара. Скорость испарения.
9. Газовыделение с поверхности. Сорбционные процессы. Скорости сорбционных процессов.
10. Сорбционное равновесие на поверхности. Изотерма адсорбции. Время адсорбции. Степень покрытия поверхности адсорбированным газом.
11. Объемное обезгаживание материала. Диффузия газа. Проницаемость твердого тела.
12. Поток газа. Единицы измерения количества газа и потока. Определение проводимости элемента вакуумной системы. Зависимость проводимости от режима течения газа.
13. Проводимости отверстия и трубопровода в условиях молекулярного режима течения газа.
14. Понятие быстроты откачки. Основное уравнение вакуумной техники.
15. Уравнение откачки. Предельно достижимое давление, влияние параметров  $Q$  и  $S$ .
16. Этапы откачки вакуумной системы. Режимы. Кривые откачки.
17. Механические вращательные насосы. Принцип объемной откачки. Быстрота действия и предельное давление. Конструкции насосов.
18. Диффузионный молекулярный насос. Конструкция и принцип действия. Основные характеристики.
19. Принцип механической молекулярной откачки. Насос Геде. Основные параметры. Принцип работы турбомолекулярного насоса.
20. Испарительные и геттерные насосы. Сорбционные процессы в насосах. Конструктивные элементы.
21. Ионные насосы. Принципы действия, ионизация газа и сорбционные процессы. Основные типы насосов, параметры.
22. Адсорбционные насосы. Особенности конструкции и эксплуатации. Сорбционная емкость. Предельное разрежение.
23. Криогенные насосы. Явление криооткачки, скорость откачки и предельное разрежение. Конструктивные схемы.
24. Гидростатические манометры. Конструкции U-образного и компрессионного преобразователей.
25. Деформационные преобразователи. Основные характеристики.

26. Тепловые преобразователи. Принцип действия, методы измерения температуры. Чувствительность.
27. Ионизационные преобразователи. Типы преобразователей, способы получения ионизирующих частиц. Особенности конструкций.
28. Статические масс-спектрометры. Измерительное уравнение и разрешающая способность.
29. Динамические масс-спектрометры. Основные принципы разделения ионов. Квадрупольный спектрометр.
30. Градуировка и характеристики масс-спектрометров. Расшифровка масс-спектров остаточного газа.
31. Методы измерения газовых потоков.
32. Течеискание. Степень герметичности. Методы течеискания.
33. Типовые схемы вакуумных систем с использованием различных средств откачки.
34. Требования к вакуумным системам. Основные характеристики высоковакуумных средств откачки, параметры (скорость откачки, газовые нагрузки, эффект памяти).
35. Принципы построения вакуумных систем. Назначение основных элементов. Различия систем в зависимости от типа высоковакуумного насоса.
36. Состояние вакуумной среды. Источники газовых нагрузок. Требование чистоты вакуума, углеводородные загрязнения. Особенности эксплуатации средств откачки для обеспечения чистого вакуума.
37. Области применения вакуумных систем. Установки периодического действия, системы высокой производительности. Прогреваемые установки. Предпочтительное использование средств откачки.
38. Вакуумные конструкционные материалы. Критерии выбора. Основные требования к материалам.
39. Испарение и конденсация вещества. Давление насыщенного пара. Материалы с высокой упругостью насыщенного пара, летучие соединения. Явление массопереноса в вакуумных системах.
40. Механизмы поглощения газов твердыми телами. Растворимость газов ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ). Сравнительные характеристики вакуумных конструкционных материалов.
41. Вакуумная плотность материалов. Процессы проницаемости газа. Характеристики основных конструкционных материалов.
42. Поверхностное обезгаживание. Скорость десорбции. Потoki газовой выделения. Состояние поверхности (шероховатость, окислы).
43. Объемное обезгаживание. Нестационарный процесс диффузии. Способы обезгаживания. Компоненты диффузионных потоков.
44. Процедуры очистки материалов вакуумных систем. Последовательность процедур, уровни достигаемого вакуума. Особенности получения сверхвысокого вакуума.
45. Особенности вакуумных систем ЭФУ. Взаимодействие пучков заряженных частиц с остаточным газом. Кулоновское и ядерное рассеяние.
46. Требования к вакууму в электронных машинах. Виды взаимодействия ускоренных частиц с остаточным газом. Тормозное излучение.
47. Динамические процессы в вакууме. Синхротронно-стимулированное газовыделение. Оценка десорбционного потока.

48. Эффект ионно-стимулированной десорбции. Поток десорбции. Критерий устойчивости вакуума. Явление мультипакции. Стимулированная десорбция.
49. Протяженные вакуумные системы. Ограничение проводимости. Распределение давления. Оптимизация откачки. Принципы интеграции вакуумного тракта ЭФУ.
50. Распределенные средства откачки. Особенности применения линейных магнитоэлектрических насосов. Характеристики линейного насоса на основе нераспыляемого геттера.
51. Концепция "холодного канала". Конструкция. Особенности эксплуатации. Проблема стабильности вакуума при наличии стимулированной десорбции.
52. Тренировка вакуумных камер ЭФУ. Тепловое обезгаживание. Ионная очистка поверхности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 621.5/Ш28 Шатохин В.Л. Вакуумная техника. Уч. пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011, 196с.
2. 535.5/Ш51 Шестак В.П. Вакуумная техника. Концепция разреженного газа. Уч. пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012, 272с.
3. 621.5/Ш28 Шатохин В.Л. Технология вакуумных систем: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2000, 124с.
4. 621.38/Г52 Глазков А.А., Саксаганский Г.Л. Вакуум электрофизических установок и комплексов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. 621.5/Р64 Розанов Л.И. Вакуумная техника: Учебник для вузов. 3-е изд. М: Высш. шк., 2007, 391с.
6. 621.5/У99 Уэстон Дж. Техника сверхвысокого вакуума/ Пер. с англ. М.: Мир, 1988, 366с.
7. 621.5/Ш28 Шатохин В.Л., Шестак В.П. Вакуумная техника. Лабораторный практикум. Уч.-методическое пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010, 84с.
8. 621.5/В14 Вакуумная техника: Справочник/Е.С.Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т.Александрова и др.: Под общ. ред. Е.С.Фролова, В.Е. Минайчева. М.: Машиностроение, 1992, 480 с.
9. 533/М20 Малышев Е.К. Технология электрофизического аппаратостроения: Учебное пособие. М.: МИФИ, 1988.