

УДК 621.52

ББК 31.77

Б 91

Хаблянян М. Х.

Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация : учебное пособие: в 2 ч. Ч. 2: Вакуумные насосы / М. Х. Хаблянян, Г. Л. Саксаганский, А. В. Бурмистров; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2016. – 300 с.

ISBN 978-5-7882-1977-6

Рассмотрены физико-технические характеристики, конструкторские решения, технологические и эксплуатационные особенности вакуумных насосов и агрегатов, используемых в промышленности и научном приборостроении. Описаны особенности их эксплуатации и методики испытаний.

Предназначено для бакалавров и магистров по направлениям подготовки «Технологические машины и оборудование», «Техническая физика», «Ядерная энергетика и теплофизика», «Наноинженерия».

Подготовлено на кафедре «Вакуумная техника электрофизических установок».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *Ю. В. Панфилов*
д-р техн. наук, проф. *Р. Р. Зиганшин*

ISBN 978-5-7882-1977-6

© Хаблянян М. Х., Саксаганский Г. Л.,
Бурмистров А. В., 2016

© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения, используемые в тексте	6
<i>Предисловие</i>	7
<i>Введение</i>	8
1. ФОРВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ	12
1.1. Базовые характеристики	12
1.2. Вакуумные насосы с масляным уплотнением	12
1.2.1. Пластинчатые насосы	12
1.2.2. Плунжерные (золотниковые) насосы	27
1.2.3. Рабочие жидкости. Обратный поток	29
1.2.4. Откачка парогазовых смесей. Газобалласт	36
1.3. Жидкостно-кольцевые насосы	38
1.4. Безмасляные насосы	41
1.4.1. Сорбционные насосы	42
1.4.2. Роторные насосы	43
1.4.3. Винтовые насосы	58
1.4.4. Поршневые насосы	61
1.4.5. Спиральные насосы	66
1.4.6. Мембранные насосы	77
1.5. Образование мелкодисперсных частиц	84
Вопросы для самоконтроля	90
2. ПАРОСТРУЙНЫЕ (ДИФфуЗИОННЫЕ) НАСОСЫ	92
2.1. Принцип действия	92
2.2. Базовая конструкция	99
2.3. Рабочие жидкости	102
2.4. Основные рабочие характеристики	106
2.4.1. Производительность	113
2.4.2. Наибольшее выпускное давление	116
2.4.3. Степень сжатия	118
2.4.4. Предельное остаточное давление	121
2.5. Обратный поток рабочей жидкости	123
2.6. Дополнительные проектные и эксплуатационные характеристики	134

2.6.1. Критерии проектирования и оптимизации	134
2.6.2. Потери рабочей жидкости	136
2.6.3. Кипятильник	137
2.6.4. Флюктуации давления	138
2.7. Экраны и ловушки	140
2.7.1. Охлаждаемые колпачки и экраны	141
2.7.2. Азотные ловушки	145
2.8. Эксплуатация	151
2.8.1. Эксплуатационные особенности	151
2.8.2. Энергетические показатели	153
2.8.3. Эксплуатационная безопасность насосов	155
Вопросы для самоконтроля	156
3. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ НАСОСЫ	158
3.1. Общие сведения	158
3.2. Молекулярные насосы	160
3.2.1. Сводные характеристики	164
3.2.2. Расчётная модель	167
3.2.3. Эксплуатационные характеристики	170
3.3. Турбомолекулярные насосы	175
3.3.1. Принцип функционирования	175
3.3.2. Основы проектирования	177
3.3.3. Конструкция и основные характеристики	182
3.3.4. Быстрота действия и компрессия по индивидуальным газам	187
3.4. Гибридные и комбинированные насосы	193
3.5. Особенности эксплуатации	202
3.6. Сравнительные характеристики	205
3.6.1. Достоинства турбонасосов	206
3.6.2. Недостатки турбонасосов	208
Вопросы для самоконтроля	209
4. КРИОГЕННЫЕ НАСОСЫ	210
4.1. Физические основы криогенной откачки	210
4.2. Базовая конструкция насосов с автономными криогенераторами	213

4.3. Эксплуатационные характеристики	218
4.3.1. Быстрота действия	218
4.3.2. Производительность. Сорбционная ёмкость	222
4.4. Дросселирование крионасосов	225
4.5. Регенерация	227
4.6. Криогенная откачка водяных паров	232
4.7. Криогенераторы	236
Вопросы для самоконтроля	241
5. ГЕТТЕРНАЯ И ИОННАЯ ОТКАЧКА	242
5.1. Геттерные насосы	242
5.2. Магнитные электроразрядные насосы	249
5.3. Откачные характеристики разрядных насосов	254
5.4. Эксплуатация разрядных насосов	258
5.5. Средства откачки на основе нераспыляемых геттеров	262
5.6. «Чистые» системы предварительного разрежения	270
Вопросы для самоконтроля	272
6. ПЕРЕГРУЗКА ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ	273
6.1. Эксплуатация высоковакуумных насосов в зоне максимальной производительности	273
6.1.1. Пароструйные насосы	273
6.1.2. Турбомолекулярные насосы	275
6.1.3. Насосы поверхностного действия	279
6.2. Сопоставительные оценки и выводы	281
Вопросы для самоконтроля	282
Литература	283
Приложение 1. Испытания механических насосов с масляным уплотнением	285
Приложение 2. Испытания двухроторных насосов	291
Приложение 3. Испытания пароструйных и турбомолекулярных насосов	293
Приложение 4. Испытания геттерных и криогенных насосов	296
Приложение 5. Испытания сорбционных насосов	298