

СПО

Э. А. Петровский, О. А. Коленчуков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ



**Тонкие
Наукоёмкие
Технологии**

Э. А. ПЕТРОВСКИЙ, О. А. КОЛЕНЧУКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Рекомендовано федеральным государственным бюджетным учреждением «Федеральный институт развития образования» (ФГБУ «ФИРО») в качестве учебника для использования в образовательном процессе образовательных организаций, реализующих программы СПО по направлению «Машиностроение»

Старый Оскол
ТНТ
2025



УДК 621(075)

ББК 34.4я7

П308

Авторы:

доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса»
«Сибирский федеральный университет» *Э. А. Петровский*

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса»
«Сибирский федеральный университет» *О. А. Коленчуков*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Н. А. Смирнов*
доктор технических наук, профессор *И. В. Ковалев*

П308 **Проектирование технологических машин и оборудования :**
учебник / Э. А. Петровский, О. А. Коленчуков. — Старый Оскол :
ТНТ, 2025. — 276 с. : ил.

ISBN 978-5-94178-908-5

В учебнике «Проектирование технологических машин и оборудования» рассматривается методология конструирования узлов, устройств, аппаратов, машин, механизмов, деталей, материалов, их соединений, методов проектирования, методов расчета на прочность и устойчивость при статических и динамических нагрузках.

Предназначен для студентов среднего профессионального образования, обучающихся по направлению «Машиностроение» по специальностям «Монтаж, техническое обслуживание, эксплуатация и ремонт промышленного оборудования (в отраслях)», «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», а также может быть полезен преподавателям и инженерам, работающим в области проектирования и технического обслуживания промышленного оборудования.

553464



ISBN 978-5-94178-908-5

УДК 621(075)

ББК 34.4я7

© Петровский Э. А., Коленчуков О. А., 2025

© Оформление. ООО «ТНТ», 2025

Содержание

Введение	7
1. Основы проектирования	9
1.1. Проектирующие организации, цели и задачи курса	9
1.2 Цели и состав проектирования	10
1.2.1 Цели проектирования	10
1.2.2 Состав проектирования	10
1.3. Требования к проектируемому объекту	11
1.3.1. Технологические требования	11
1.3.2. Требования к работоспособности	11
1.3.3. Обеспечение технического уровня и эффективности	11
1.3.4. Экономические требования	13
1.3.5. Нормативно-техническая документация	13
1.4. Этапы разработки изделий, состав технической документации	14
1.4.1. Техническое задание (ТЗ)	14
1.4.2. Техническое предложение (ТП)	15
1.4.3. Эскизный проект (Э)	15
1.4.4. Технический проект (Т)	16
1.4.5. Рабочая конструкторская документация (РКД)	17
Контрольные вопросы	20
2. Общие принципы расчёта	21
2.1. Моделирование объекта расчёта	21
2.1.1. Реальный объект и расчётная схема	21
2.1.2. Нагрузки, силовые факторы	23
2.1.3. Внутренние силовые факторы	25
2.2. Основы напряжённого состояния	25
2.2.1. Напряжения и деформации	25
2.2.2. Закон Гука	28
2.2.3. Главные напряжения	30
2.2.4. Обобщённый закон Гука	31
2.2.5. Эквивалентные напряжения	33
2.2.6. Гипотезы прочности	33
2.3. Прочностные характеристики материалов	37
2.3.1. Основные прочностные характеристики материалов при статическом нагружении	37
2.3.2. Ползучесть материалов	40
2.3.3. Прочность оборудования в условиях переменных нагрузок	43
2.3.4. Факторы, влияющие на предел выносливости	48
2.3.5. Коэффициент запаса прочности. Допускаемые напряжения	55
Контрольные вопросы	57
3. Конструкционные материалы	58
3.1. Требования, предъявляемые к конструкционным материалам	58
3.2. Характеристики материалов, влияющие на конструкцию машин и аппаратов	58
3.2.1. Прочностные характеристики	59
3.2.2. Стойкостные характеристики	60

3.2.3. Характеристики, влияющие на технологичность изготовления	61
3.2.4. Характеристики, определяющие область применения	62
3.3. Чугуны и стали	63
3.3.1. Железо	63
3.3.2. Стали	64
3.3.3. Легированные стали	66
3.3.4. Чугуны	67
3.4. Цветные металлы и сплавы	70
3.4.1. Алюминий и его сплавы	70
3.4.2. Магний и его сплавы	72
3.4.3. Титан и его сплавы	72
3.4.4. Медь и её сплавы	73
3.4.5. Другие металлы и сплавы	74
3.5. Неметаллические материалы	75
3.5.1. Пластмассы	75
3.5.2. Резина	78
3.5.3. Силикатные материалы	79
3.6. Композиты	80
3.6.1. Волокнистые композиционные материалы	81
3.6.2. Дисперсные композиционные материалы	83
3.6.3. Слоистые пластики	84
3.7. Термообработка и упрочнение материалов	85
3.7.1. Термическая обработка	85
3.7.2. Поверхностное упрочнение	86
Контрольные вопросы	87
4. Расчёт корпусов на прочность	88
4.1. Общие положения	88
4.2. Прочность тонкостенных сосудов	88
4.2.1. Оболочки. Уравнение Лапласа	88
4.2.2. Расчёт обечаек при давлении изнутри	94
4.2.3. Расчёт обечаек при давлении снаружи	98
4.2.4. Цилиндрическая обечайка, нагруженная внешними силами	113
Контрольные вопросы	117
5. Расчёт днищ и крышек	118
5.1. Крышки и днища тонкостенных сосудов	118
5.1.1. Плоские круглые приварные днища	119
5.1.2. Плоские круглые крышки с фланцевым соединением	121
5.1.3. Выпуклые крышки, днища	123
5.1.4. Пластины, равномерно нагруженные давлением	126
Контрольные вопросы	130
6. Аппараты высокого давления	131
6.1. Толстостенные сосуды	131
6.2. Напряжения в толстостенных сосудах	132
6.3. Определение толщины стенки	137
6.4. Днища толстостенных сосудов	139

6.5. Термические напряжения в толстостенных сосудах.....	142
6.6. Способы повышения несущей способности толстостенных цилиндров.....	146
Контрольные вопросы :.....	149
7. Испытания аппаратов.....	150
Контрольные вопросы :.....	152
8. Плотнo-прочные разъёмные соединения.....	153
8.1. Виды плотно-прочных соединений.....	153
8.2. Фланцевые соединения.....	154
8.2.1. Общие сведения.....	154
8.2.2. Специальные типы фланцев.....	156
8.2.3. Геометрические характеристики фланцевого соединения.....	157
8.2.4. Прокладки фланцевых соединений.....	157
8.2.5. Расчёт фланцевых соединений.....	160
Контрольные вопросы.....	166
9. Быстро вращающиеся элементы машин.....	167
9.1. Тонкий обод.....	167
9.2. Барабан центрифуги.....	168
9.3. Диск постоянной толщины.....	171
9.4. Диск равного сопротивления.....	176
Контрольные вопросы.....	177
10. Динамический расчёт элементов оборудования.....	178
10.1. Общие положения.....	178
10.2. Основные понятия теории колебаний.....	178
10.2.1. Свободные колебания с одной степенью свободы.....	180
10.2.2. Продольные колебания стержня.....	183
10.2.3. Поперечные колебания балки.....	185
10.2.4. Крутильные колебания валов.....	186
10.2.5. Колебания маятника.....	190
10.2.6. Затухание свободных колебаний.....	192
10.2.7. Вынужденные колебания.....	194
10.2.8. Виброизоляция.....	201
10.2.9. Колебания валов.....	207
10.2.10. Расчёт валов перемешивающих устройств.....	213
Контрольные вопросы.....	218
11. Бункеры для сыпучих материалов.....	219
11.1. Свойства и характеристики сыпучих материалов.....	219
11.1.1. Гранулометрические характеристики.....	219
11.1.2. Физические свойства сыпучих материалов.....	221
11.1.3. Механические свойства сыпучих материалов.....	223
11.2. Нагрузки на стенки бункеров.....	226
11.2.1. Давление сыпучих материалов на стенки сосудов.....	226
11.2.2. Усилия в стенках бункера.....	229
11.3. Истечение сыпучих материалов из отверстий сосудов.....	231

Контрольные вопросы.....	235
12. Расчёт колонных аппаратов при действии ветровых и сейсмических сил.....	236
12.1. Расчёт вертикальных аппаратов на действие ветровой нагрузки.....	236
12.2. Расчётные усилия от сейсмических воздействий.....	244
12.3. Расчёт опор колонных аппаратов.....	245
Контрольные вопросы.....	253
13. Анализ устойчивости и вибрации подшипников скольжения.....	254
13.1 Конструкции радиальных подшипников.....	254
13.2 Дестабилизирующие силы в компрессоре.....	256
13.3 Дробные колебания.....	258
13.4 Устранение неустойчивости.....	260
13.5 Упорные и радиально-наклонные подшипники.....	260
Контрольные вопросы.....	269
Список использованной и рекомендуемой литературы.....	270

Введение

Проектирование технологических машин и оборудования является ключевым этапом в создании эффективных и надежных решений для современных производств. Этот процесс охватывает широкий спектр задач, от выбора материалов и конструктивных решений до разработки и тестирования рабочих чертежей и документации. В данном курсе студенты познакомятся с основами проектирования, методами расчёта, выбора материалов и созданием технической документации, которые лежат в основе разработки машин и оборудования, отвечающих высоким стандартам безопасности, производительности и экономичности.

Курс «Проектирование технологических машин и оборудования» предназначен для всестороннего понимания теоретических и практических аспектов разработки и эксплуатации оборудования. В учебнике рассмотрена работа с технической документацией, цели проектирования, этапы разработки изделий, а также требования, предъявляемые к проектируемым объектам, такие как технологические, экономические и нормативные.

Кроме того, при проектировании необходимо учитывать экономические требования к оборудованию. Это включает в себя выбор оптимальных материалов, оценку стоимости производства, а также расчёт эксплуатационных расходов. Одним из важнейших аспектов проектирования является применение нормативно-технической документации, которая регулирует весь процесс разработки и производства, а также устанавливает требования к безопасности и охране труда.

Этапы проектирования являются неотъемлемой частью данного курса. В учебнике рассмотрены все ключевые этапы разработки изделия, включая составление технического задания, разработку технического предложения, создание эскизного проекта и технического проекта, а также оформление

рабочей конструкторской документации. На каждом из этих этапов решаются важнейшие задачи, такие как выбор оптимальной конструкции, оценка прочности и безопасности, а также разработка решений для улучшения функциональности и экономичности оборудования.

Одной из важнейших тем курса является общая концепция расчёта проектируемых объектов. В издании можно ознакомиться с методами моделирования объектов расчёта, изучением основ напряжённого состояния материалов, а также научиться проводить расчёты на прочность и стойкость. Знания, полученные в этом разделе, являются основой для разработки безопасных и эффективных конструкций, которые могут выдерживать нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации.

Также особое внимание уделяется выбору конструкционных материалов. В курсе рассматриваются широкий спектр материалов, используемых в конструкциях технологического оборудования. Рассматриваются прочностные, стойкостные и технологические свойства влияющие на выбор проекторочных решений.

Процесс проектирования не ограничивается только расчетами и выбором материалов. Важной частью является также проведение испытаний и анализ устойчивости конструкции. Курс охватывает такие важные аспекты, как испытания промышленного оборудования, расчёт корпусов и днищ на прочность, а также анализ динамических процессов, таких как колебания и вибрации, которые могут возникать в результате работы оборудования.

Курс «Проектирование технологических машин и оборудования» позволяет использовать материал изложенный в учебнике для приобретения навыков и знаний для разработки и эксплуатации технологического оборудования, которые соответствуют современным требованиям безопасности, эффективности и экономичности.

1. Основы проектирования

1.1. Проектирующие организации, цели и задачи курса

Проектирование основано на расчётах, которые проводятся по соответствующим зависимостям, формулам. Откуда они берутся?

Исследование физических явлений, разработка фундаментальных (общих, основных) теорий, закономерностей проводят *академические научно-исследовательские институты*, входящие в состав Российской Академии Наук. Результаты этих исследований обычно представляют в виде системы общих дифференциальных или критериальных уравнений, мало пригодных для конкретных инженерных расчётов.

На основе фундаментальных исследований РАН *отраслевые научно-исследовательские и конструкторские институты* (отраслевые НИИ, обычно подчинённые министерствам отраслей) проводят исследования в приложении к задачам отрасли, разрабатывают отраслевые инженерные методики расчёта и проектирования.

Специальные конструкторские и технологические бюро (СКБ, СТКБ, входящие в состав научно-производственных объединений, крупных фирм) занимаются разработкой, исследованием, испытанием экспериментальных, опытных, головных образцов, постановкой продукции на производство.

Проектно-конструкторские и конструкторские бюро (ПКБ, КБ на выпускающих предприятиях) проводят доработку, привязку к технологиям конкретного производства, а также проектирование для собственных нужд производства.

К сожалению, в настоящее время система отраслевых НИИ и «пояс внедрения» - система СКБ и СТКБ утрачены, что существенно затрудняет внедрение новых разработок в промышленность.

1.2 Цели и состав проектирования

1.2.1 Цели проектирования

Проектирование – разработка документов, обеспечивающих возможность создания новых объектов. Основными задачами проектирования являются:

- Улучшение технико-экономических показателей (производительность, эффективность, экономичность и т.п.).
- Расширение диапазона рабочих параметров.
- Применение новых конструкционных материалов.
- Применение процессов с новыми физическими принципами.
- Возможность непрерывного и автоматизированного производства.
- Повышение технического уровня, качества и надёжности.

1.2.2 Состав проектирования

Проектирование изделий включает:

- постановку задачи – определяется цель, назначение проектируемого объекта, его основные технологические, технические, экономические, эксплуатационные показатели;
- сбор и обработку информации - собирается и анализируется научно-техническая информация, проводится патентный поиск о разработках подобного назначения;
- сбор исходных данных – определяются основные параметры проектируемого объекта: нагрузки, рабочие параметры (давление, температура, производительность, особые условия, и т. д.), условия работы и другие данные, обеспечивающие осуществление поставленных задач;
- анализ процессов, связанных с объектом проектирования,
- разработку расчётной модели (физической, математической),
- исследование и оптимизация модели,