

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра машин и аппаратов химических  
и силикатных производств**

# **МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Программа, методические указания и задания  
по выполнению контрольных работ и курсового проекта  
для студентов заочной формы обучения  
специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты  
химических производств и предприятий строительных  
материалов» специализации 1-36 07 01 01  
«Машины и аппараты химических производств»**

Минск 2009

УДК 66.02(075.4)  
ББК 34.7я73  
М38

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:  
*В. Н. Гуляев, О. А. Петров*

Рецензент  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой процессов и аппаратов  
химических производств *В. А. Марков*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2009 год. Поз. 96.

Для студентов заочной формы обучения специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» специализации 1-36 07 01 01 «Машины и аппараты химических производств».

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Цель преподавания дисциплины «Машины и аппараты химических производств» заключается в подготовке студентов по специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» для производственной, проектно-конструкторской и исследовательской деятельности в области создания и эксплуатации технического оборудования химических производств.

Основными задачами изучения курса являются:

– обучение студентов эффективному использованию знаний, полученных по естественно-научным и общеинженерным дисциплинам, для решения конкретных практических задач в области машин и аппаратов химических производств;

– формирование у студентов знаний конструктивного исполнения основных машин и аппаратов химических производств, режимов их работы, особенностей расчетов, требований, предъявляемых к оборудованию химических предприятий (обеспечение устойчивого заданного режима, возможности применения автоматического контроля и регулирования, легкость ремонта и монтажа, надежность и безопасность эксплуатации), путей интенсификации работы оборудования, общих перспектив развития аппарата- и машиностроения.

Освоение курса предполагает самостоятельную работу студентов над рекомендуемой литературой до прослушивания основного объема материала на лекциях.

Студенты заочного факультета изучают дисциплину в течение двух семестров на V и VI курсах, затем после каждого семестра сдают экзамен, на VI курсе выполняют курсовой проект.

К экзамену допускаются лица, успешно выполнившие контрольные и лабораторные работы. Контрольные работы и курсовой проект оформляются в строгом соответствии с установленными требованиями.

Рекомендуемая для изучения отдельных тем курса литература указывается после каждого пункта, согласно списку литературы, помещенному в конце данных методических указаний.

# 1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## ЧАСТЬ 1

### 1.1. Предмет курса, его цели и задачи

Роль химической промышленности. Цели и задачи курса. Требования к оборудованию химических производств. Его классификация.

### 1.2. Измельчение, сортировка и разделение твердых материалов

Измельчение твердых материалов. Задачи измельчения, классификация машин, теория измельчения.

Щековые и конусные дробилки, конструкции, расчет числа оборотов, производительности, размеров.

Валковые измельчители, расчет производительности и затрат энергии.

Дробилки и мельницы ударно-центробежного типа, конструкции, расчет. Роторные измельчители полимеров.

Барабанные мельницы. Режимы их работы, оптимальная частота вращения. Мельницы для сверхтонкого измельчения.

Сортировка и разделение сыпучих материалов.

Способы разделения, классификация машин.

Грохоты, воздушные и гидравлические классификаторы.

*Литература:* основная [2, 3, 44]; дополнительная [12, 34, 42, 43].

### 1.3. Машины для переработки полимерных материалов

Назначение, классификация полимерных материалов и машин для их переработки.

Вальцы и каландры, конструкции и расчет, компенсация прогибов валков.

Экструзионные машины, принцип работы, классификация, конструкции и расчет основных узлов, формующие головки.

Литьевые машины, термопластавтоматы, конструкции, принцип работы, интенсификация.

Раздувочные и формовочные машины.

Прессы, назначение, принцип работы, пресс-формы. Таблетирующие машины.

Вулканизационное и формующее оборудование. Форматеры-вулканизаторы.

Конструкции резино- и пластосмесителей.

*Литература:* основная [28, 29, 34]; дополнительная [30, 35, 37].

#### **1.4. Оборудование для разделения неоднородных систем**

Разделение неоднородных систем. Назначение, способы, классификация.

Центрифуги: фильтрующие, отстойные, сепараторы, сверхцентрифуги, расчет.

Фильтры для жидкостей, классификация, конструкции, фильтровальные перегородки.

Фильтры для газов, классификация, конструкции, расчет.

*Литература:* основная [1, 2]; дополнительная [4–10, 44].

#### **1.5. Теплообменные аппараты**

Теплообменное оборудование, требования, классификация.

Кожухотрубные теплообменники, конструкции, температурные напряжения, крепление трубок. Витые, спиральные, пластинчатые, специальные теплообменники. Расчет и способы интенсификации теплообмена.

Регенеративные теплообменники, теплообменники смешения.

*Литература:* основная [13]; дополнительная [11, 12].

#### **1.6. Выпарные аппараты**

Назначение и классификация выпарных аппаратов. Емкостные, кожухотрубные, роторно-пленочные и распылительные аппараты. Особенности расчета выпарных аппаратов.

*Литература:* основная [1, 2]; дополнительная [4, 11, 13].

#### **1.7. Кристаллизаторы**

Назначение, получение пересыщенных растворов, классификация по конструкции. Охладительные, выпарные кристаллизаторы. Грануляторы.

*Литература:* основная [1, 2]; дополнительная [11, 12].

## **1.8. Массообменные аппараты**

Назначение и классификация массообменных аппаратов.

Пленочные аппараты, методика расчета.

Распылительные аппараты, методика их расчета.

Насадочные аппараты, виды насадок. Методика расчета насадочных аппаратов.

Тарельчатые аппараты: с переливами, без переливов. Методика их расчета.

Аппараты с подводом механической энергии: с мешалками, пульсационные, роторные.

*Литература:* основная [1, 2]; дополнительная [4, 11, 14–16, 20].

## **ЧАСТЬ 2**

### **1.9. Реакционные аппараты**

Химические реакторы, выбор реакторов, классификация. Газовые, каталитические и газожидкостные реакторы. Расчет реакторов периодического и непрерывного действия.

*Литература:* основная [2]; дополнительная [4, 17, 18].

### **1.10. Сушильные установки**

Сушилки. Способы удаления жидкостей из твердых материалов, классификация.

Камерные, валковые, барабанные, пневматические, распылительные сушилки и методика их расчета.

*Литература:* основная [1, 2]; дополнительная [4, 12, 13, 19].

### **1.11. Печи**

Печи химической промышленности, назначение, классификация.

Камерные, шахтные, барабанные, печи кипящего слоя, расчет.

*Литература:* основная [2]; дополнительная [4, 12, 21–24].

### **1.12. Топки**

Классификация. Топки для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива.

Теплоизоляционные и огнеупорные материалы, назначение и виды материалов, расчет теплоизоляции.

*Литература:* основная [2]; дополнительная [4, 12, 21–24].

### **1.13. Перемешивание жидких сред**

Перемешивание материалов, классификация.

Гидродинамическое и пневматическое перемешивание.

Механические мешалки и их расчет. Пульсационное и вибрационное перемешивание. Уплотнение валов мешалок.

*Литература:* основная [1, 2, 44]; дополнительная [12, 25, 26].

### **1.14. Смешивание сыпучих и пастообразных материалов**

Смешивание материалов, классификация смесителей.

Конструкции и принцип действия смесителей и мешателей.

*Литература:* основная [21, 29]; дополнительная [12].

## 2. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

### Общие указания

Задания к контрольным работам приведены для 10 вариантов. Номер варианта выбирают в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки студента. Задания выполняют точно по варианту. Контрольные работы, сделанные не по своему варианту, не рассматриваются.

Контрольную работу оформляют в тетради с полями или на белой бумаге формата А4 с отступом справа 2 см для замечаний рецензента и последующих исправлений. Страницы сшивают в папку (скоросшиватель). Работа должна быть иллюстрирована схемами и эскизами, поясняющими текст. Сложные схемы следует выполнять цветными.

При оформлении работ на компьютере необходимо придерживаться следующих параметров шрифта для базового текстового редактора Word: размер шрифта (кегель) – 14 пт, гарнитура – Times New Roman Cyr.

Правильная последовательность выполнения работ следующая: выписывают задание и исходные данные задачи, вычерчивают эскиз (рисунок) машины или аппарата, описывают устройство и принцип действия, а затем выполняют расчеты. Рисунки должны иметь порядковый номер и наименование снизу. Перед номером дают экспликацию (расшифровку элементов рисунка) [25]. Пример оформления рисунка приведен в приложении 4.

Все расчеты выполняют в единицах интернациональной системы (СИ). Расчетное уравнение записывают сначала в общем виде, дополняя его расшифровкой условных обозначений с указанием размерностей, а затем в численном виде, опуская промежуточные вычисления. Все использованные уравнения и справочные материалы должны иметь ссылки на соответствующие информационные источники (см. прил. 3).

В конце работы приводят перечень использованных литературных источников.

Ответы на вопросы должны быть краткими, конкретными, но исчерпывающими и точными. При описании конструкции машины или аппарата обязательно иллюстрируют ответы рисунками. Не следует переписывать дословно текст соответствующих разделов учебников, необходим анализ усвоенного материала.



Перед сдачей экзамена по курсу студент представляет зачетные контрольные работы, по содержанию которых проводится собеседование.

Преподаватель имеет право выдать повторное индивидуальное задание в случае, если контрольная работа выполнена не самостоятельно. Категорически не приемлемо наличие одинаковых работ.

### Контрольная работа № 1

#### Задача 1

Рассчитать производительность и мощность привода барабанной шаровой мельницы непрерывного действия по условиям, приведенным в табл. 1. Недостающие данные выбрать самостоятельно. Расчет рекомендуется проводить в следующей последовательности [34]:

- 1) определить оптимальную частоту вращения барабана, соответствующую максимальной высоте падения мелющих тел;
- 2) рассчитать работу подъема загруженной массы и сообщаемой ей кинетической энергии;
- 3) найти мощность, затрачиваемую на размол материала и трение, а также общую мощность электропривода;
- 4) вычислить производительность барабанной мельницы, пропорционально затраченной на размол работе.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

№ п/п	Удельная производительность $q \cdot 10^{-5}$ , кг/(Вт · с)	Масса барабана $m_6$ , т	Внутренний диаметр барабана $D$ , мм	Длина барабана $L$ , мм
0	1,9	10	900	1800
1	1,2	15		
2	4,2	20	1200	2400
3	2,2	25		
4	1,3	30	1500	3000
5	1,7	35		
6	0,9	40	2100	3000
7	3,2	45		
8	2,9	50	2700	3600
9	1,8	55		

#### Задача 2

Выполнить проектный расчет червяка (винта, шнека) экструдера по условиям, представленным в табл. 2. Недостающие данные выбрать самостоятельно. Расчет рекомендуется проводить следующим образом [4, 6]:

- 1) выбрать рекомендуемый градиент скорости в соответствии с перерабатываемым материалом;
- 2) по номограмме определить диаметр червяка с учетом заданной производительности, среднего градиента скорости и номинального ряда диаметров;
- 3) вычислить глубину канала на участке зон дозирования-загрузки;
- 4) рассчитать длины зон червяка и нарезанной части червяка;
- 5) найти частоту вращения червяка;
- 6) определить ширину гребня червяка.

Таблица 2

**Исходные данные для расчета**

№ п/п	Материал	Вид изделия	Вид загружаемого материала	Производительность $Q_m$ , кг/ч
0	Полиакрилаты	Листы	Гранулы	120
1	Полистирол			80
2	Полиамид 6,6	Трубы		100
3	Полиэтилен ВД	Пленки		40
4		Покрытия		20
5	ПВХ пластифицированный	Трубы	Сухая смесь	150
6	ПВХ непластифицированный	Листы		70
7	Полипропилен		Гранулы	100
8	Полиэтилен НД	250		
9		Трубы		120

**Контрольные вопросы**

1. Измельчение твердых материалов. Классификация машин для измельчения материалов, теории измельчения.
2. Щековые и конусные дробилки, конструкции и принцип действия.
3. Валковые измельчители, расчет производительности.
4. Молотковые и роторные измельчители, классификация, конструкции и принцип действия.
5. Особенности конструкций барабанных мельниц, режимы работы.
6. Способы разделения и сортировки сыпучих материалов, классификация машин.
7. Грохоты, воздушные классификаторы.
8. Гидравлическая классификация материалов и устройства для ее осуществления.
9. Назначение и классификация полимерных материалов и машин для их переработки.
10. Валковые машины: вальцы и каландры, конструкции и расчет, способы компенсации прогиба валков.
11. Классификация червячных машин, особенности конструкций, формующие головки.
12. Экструзионные машины, принцип работы.
13. Дисковые и червячно-дисковые

экструдеры. 14. Общее устройство литьевых машин, термопластавтоматы: конструкции, принцип работы, направления интенсификации. 15. Раздувочные и формовочные машины. 16. Вакуум- и пневмоформование изделий. Используемое оборудование. 17. Прессы, назначение, принцип работы, пресс-формы. 18. Гидравлические и ротационные таблетующие и брикетирующие машины. 19. Устройство и принцип действия резино- и пластосмесителей периодического и непрерывного действия. 20. Формующее и вулканизационное оборудование. Форматоры-вулканизаторы.

## Контрольная работа № 2

### *Задача 1*

Рассчитать и подобрать стандартизованный теплообменник по исходным данным, приведенным в табл. 3. Расчет теплообменника рекомендуется проводить в следующем порядке:

- 1) вычислить тепловую нагрузку аппарата;
- 2) определить незаданные параметры теплоносителя (расход, температуру);
- 3) рассчитать средние значения температуры рабочего вещества и теплоносителя;
- 4) найти физические параметры рабочего вещества и теплоносителя при средних температурах [4];
- 5) вычислить среднюю движущую силу процесса;
- 6) принять ориентировочные значения коэффициентов теплопередачи для заданного случая теплообмена [4, 11, 13];
- 7) приблизительно определить поверхность теплообмена и выбрать теплообменник [4];
- 8) найти скорости потоков и вычислить с помощью критериальных зависимостей коэффициент теплоотдачи;
- 9) рассчитать с учетом загрязнений коэффициент теплопередачи [4, 11, 13];
- 10) определить требуемую уточненную поверхность теплообмена. Если уточненное значение отличается от ранее принятого более чем на 10%, то необходимо заново выбрать теплообменник, найти скорости потоков, коэффициенты теплоотдачи, теплопередачи и еще раз уточнить величину поверхности теплообмена;
- 11) вычислить потерю напора рабочего вещества и сравнить ее с заданной. Если расчетное значение больше допустимого, необходимо выбрать теплообменник с большими значениями проходных сечений.

Таблица 3

## Исходные данные для расчета

№ п/п	Рабочая среда	Тип аппарата	Назначение аппарата	$G$ , кг/с	$t_n$ , °С	$t_k$ , °С	$P$ , МПа	$\Delta P$ , кПа
0	Дифенил	Спиральный	Холодильник	5	100	25	0,13	120
1	Толуол	Пластинчатый		4	80	25	0,12	100
2	Бензол	Спиральный		6	90	25	0,25	150
3	Этиленгликоль	Кожухотрубный		5	80	25	0,20	100
4	Воздух		Нагреватель	1	20	140	0,30	130
5	Ацетон	Спиральный		8	30	60	0,12	100
6	Этиловый спирт	Кожухотрубный	Испаритель	7	35	–	0,20	–
7	Метиловый спирт			7	40	–	0,16	–
8	Анилин		Конденсатор	12	–	–	0,15	20
9	Хлорбензол			14	–	–	0,12	15

*Примечание.*  $G$  – расход рабочей среды;  $t_n$ ,  $t_k$  – соответственно начальная и конечная температуры среды;  $P$  – абсолютное давление, при котором происходит процесс теплообмена;  $\Delta P$  – предельно допустимая потеря напора рабочей среды (в случае конденсации – потеря напора охлаждающей среды).

**Задача 2**

Рассчитать требуемую поверхность фильтрования на заданную производительность, выбрать стандартный барабанный вакуум-фильтр с наружной поверхностью фильтрования и определить необходимое их количество в установке по условиям, представленным в табл. 4.

Таблица 4

## Исходные данные для расчета

№ п/п	$G_c$ , т/ч	$x_T$ , %	$\rho_{ж}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_T$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu_{ж} \cdot 10^3$ , Па · с	$\Delta P$ , кПа	$h_{ос}$ , мм
0	3,6	2	1100	1850	1,41	52	13
1	4,2	3,7	1140	2150	1,12	63	11
2	2,2	3,5	1080	1520	0,98	65	7
3	1,4	11	990	2030	1,05	51	6
4	0,8	4,3	1030	1950	0,93	58	13
5	5,5	12	1090	2350	1,70	64	8
6	7,5	0,8	1140	2600	0,92	60	17
7	11	2	1065	1820	1,09	63	12
8	3,2	1,8	1050	1740	1,24	68	10
9	2,9	1,3	1095	2250	1,62	62	14

№ п/п	w, мас. %	$r_b \cdot 10^{-9}$ , м/кг	$r_\phi \cdot 10^{-9}$ , л/м <sup>2</sup>	$V_{пр} \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$\mu_{пр} \cdot 10^3$ , Па · с	$\tau_c$ , с
0	29	12,5	6,2	1,3	1,0	20
1	36	23,5	19,0	1,0	0,92	24
2	70	65,5	42,4	1,5	0,8	28
3	60	185,0	75,1	1,2	0,65	16
4	37	4,8	21,0	1,4	1,0	21
5	40	21,6	39,0	1,4	0,96	19
6	47	4,8	41,1	1,3	0,78	20
7	41	33,0	38,2	1,1	0,92	15
8	52	72,0	14,2	1,0	0,93	18
9	34	12,0	10,5	1,3	0,87	17

*Примечание.*  $G_c$  – расход суспензии;  $x_T$  – массовая концентрация твердой фазы;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкой фазы;  $\rho_T$  – плотность твердой фазы;  $\mu_{ж}$  – вязкость жидкой фазы;  $\Delta P$  – перепад давления при фильтровании;  $h_{ос}$  – высота слоя осадка;  $w$  – влажность осадка;  $r_b$  – массовое удельное сопротивление осадка;  $r_\phi$  – сопротивление фильтровальной перегородки;  $V_{пр}$  – удельный объем промывной жидкости;  $\mu_{пр}$  – вязкость промывной жидкости;  $\tau_c$  – время сушки осадка.

Рекомендуемый порядок расчета следующий:

- 1) вычислить время фильтрования, необходимое для достижения высоты слоя осадка  $h_{ос}$ ;
- 2) выбрать барабанный фильтр и установить распределение технологических зон;
- 3) рассчитать скорость вращения барабана и сравнить ее с каталожными данными;
- 4) найти удельный объем фильтрата и общую площадь фильтрования;
- 5) принять тип фильтра и определить количество аппаратов;
- 6) выполнить уточненный расчет производительности фильтра на основании имеющегося распределения углов технологических зон в распределительной шайбе выбранного фильтра.

*Литература:* основная [4]; дополнительная [5, 10].

### **Контрольные вопросы**

1. Теплоносители в химической промышленности, их характеристики. 2. Конструкции, область применения, достоинства и недостатки кожухотрубных теплообменников. Способы крепления трубок. 3. Интенсификация теплообмена и методы компенсации температурных расширений в кожухотрубных теплообменниках. 4. Конструкции, область использования, преимущества и недостатки пластинчатых

теплообменников. 5. Конструкции, область применения, достоинства и недостатки спиральных теплообменников, змеевиковые теплообменники. 6. Теплообменники смешения. Аппараты воздушного охлаждения, область использования, преимущества и недостатки. 7. Назначение и принцип действия регенеративных теплообменников. 8. Классификация выпарных аппаратов. Назначение, особенности конструкций. 9. Выпарной аппарат погружного типа. 10. Пленочные выпарные аппараты. Принцип действия. 11. Конструкции и принцип действия роторно-пленочных выпарных аппаратов. 12. Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией и центральной циркуляционной трубой. 13. Выпарной аппарат с выносной греющей камерой. 14. Устройства для поддержания вакуума в вакуум-выпарных установках. 15. Устройства для сепарации брызг в выпарных аппаратах. 16. Центрифуги. Классификация, особенности конструкций. 17. Фильтрующие центрифуги, конструкция, принцип действия. 18. Отстойные центрифуги, конструкция, принцип действия. 19. Фильтры для жидкостей, классификация, конструкции. Фильтровальные перегородки. 20. Фильтры для газов, классификация, конструкции.

### **Контрольная работа № 3**

#### ***Задача 1***

Выполнить гидравлический расчет, подобрать стандартизованные тарелки и определить основные размеры ректификационной колонны по исходным данным, приведенным в табл. 5.

Расчет клапанных, ситчатых и колпачковых тарелок рекомендуется проводить следующим образом:

- 1) принять ориентировочно межтарельчатое расстояние;
- 2) найти скорость пара в рабочем сечении колонны;
- 3) определить рабочую площадь тарелки и выбрать тарелку [4, 20];
- 4) уточнить межтарельчатое расстояние;
- 5) вычислить относительный унос жидкости;
- 6) рассчитать высоту сливного порога и надежность его работы;
- 7) найти сопротивление тарелки;
- 8) определить количество тарелок и высоту колонны.

Рекомендуемый порядок расчета решетчатых тарелок следующий:

- 1) выбрать предварительно тарелку и задаться межтарельчатым расстоянием [4, 20];
- 2) вычислить коэффициент сопротивления тарелки;
- 3) рассчитать долю площадей отверстий, занятых стекающей жидкостью;

- 4) определить максимально допустимую скорость пара в колонне;
- 5) найти диаметр колонны;
- 6) вычислить сопротивление орошаемой тарелки и объемную долю жидкости в пене;
- 7) рассчитать высоту слоя пены;
- 8) определить относительный унос жидкости (если унос больше допустимого, необходимо увеличить межтарельчатое расстояние);
- 9) найти количество тарелок и высоту колонны.

*Литература:* основная [4]; дополнительная [15, 20].

Таблица 5

**Исходные данные для расчета**

№ п/п	Тип тарелки	$G_p$ , кг/с	$G_j$ , кг/с	$\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_j$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma \cdot 10^5$ , Н/м	$\mu_p \cdot 10^5$ , Па · с	$\mu_j \cdot 10^3$ , Па · с	$n_{ст}$	Вспениваемость
0	Клапанная	7,4	5,5	7,7	910	17	2,2	4,3	12	Большая
1		4,7	7,0	6,7	850	44	4,5	2,7	19	Малая
2		10,9	10,0	6,4	710	28	5,1	3,1	20	Средняя
3	Ситчатая	11,5	11,2	4,9	770	29	3,2	2,9	13	
4		10,6	9,2	6,1	835	43	2,7	5,6	18	Малая
5	Колпачковая	8,5	8,0	3,6	860	18	5,7	4,4	22	Большая
6		7,5	5,8	4,0	880	30	2,4	6,1	16	Средняя
7		13,0	10,4	6,8	870	46	2,1	3,4	12	Малая
8	Провальная	8,0	6,0	4,2	840	28	1,9	3,8	15	
9		15,0	14,1	8,4	910	45	2,7	3,4	11	

*Примечание.*  $G_p$  – нагрузка колонны по пару;  $G_j$  – нагрузка колонны по жидкости;  $\rho_p$  – плотность пара;  $\rho_j$  – плотность жидкости;  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\mu_p$  – динамическая вязкость пара;  $\mu_j$  – динамическая вязкость жидкости;  $n_{ст}$  – число ступеней изменения концентраций.

**Задача 2**

Подобрать котел-реактор, рассчитать перемешивающее устройство и выбрать к нему мотор-редуктор по исходным данным, представленным в табл. 6.

Расчет рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- 1) выбрать конструкцию мешалки и нормализованный реактор;
- 2) определить основные размеры мешалки, найти частоту ее вращения;
- 3) согласовать частоту вращения мешалки с частотой нормально-го ряда мотор-редуктора или приводных двигателей;
- 4) рассчитать глубину воронки в реакторе и предельно допустимую ее глубину, уточнить необходимость установки отражательных перегородок;

- 5) выбрать уплотнение вала мешалки;  
 6) определить мощность, потребляемую мешалкой;  
 7) выбрать приводной двигатель или мотор-редуктор.  
*Литература:* основная [4]; дополнительная [25, 26].

Таблица 6

**Исходные данные для расчета**

№ п/п	$V_n, \text{ м}^3$	$P, \text{ МПа}$	$\delta, \text{ мм}$	$\rho_{\text{ж}}, \text{ кг/м}^3$	$\rho_{\text{т}}, \text{ кг/м}^3$	$\mu_{\text{ж}} \cdot 10^3, \text{ Па} \cdot \text{ с}$	$\sigma \cdot 10^3, \text{ Н/м}$	Среда в аппарате
0	1,6	2,5	1,4	1000	1820	1,25	-	Агрессивная, не взрыво-опасная
1	2,0	0,6	1,0	1140	2230	1,37		
2	3,25	0,6	0,7	970	1320	3,2		Взрыво- и пожароопасная
3	2,0	1,0	-	850	-	34,2		
4	5,5	1,0		1050		38		Высокоагрессивная, взрыво-и пожароопасная
5	6,3	2,5		1070		28		
6	8	1,6		1030		2,3		Неагрессивная, пожаро-опасная
7	5,5	1,0	1100	13,4				
8	10	2,5	870	23	41	Токсичная, пожароопасная		
9	2,5	0,6	1050	6,1	18			

*Примечание.*  $V_n$  – номинальный объем сосуда;  $P$  – избыточное давление в сосуде;  $\delta$  – размер твердых частиц;  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкой фазы;  $\rho_{\text{т}}$  – плотность твердой фазы;  $\mu_{\text{ж}}$  – вязкость жидкой фазы;  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкой фазы.

**Контрольные вопросы**

1. Назначение и классификация массообменных аппаратов. 2. Пленочные массообменные аппараты. 3. Распылительные массообменные аппараты. 4. Насадочные массообменные аппараты. 5. Тарельчатые массообменные аппараты: с переливами, без переливов. 6. Аппараты с механическими мешалками. 7. Пульсационные аппараты. 8. Роторные массообменные аппараты. 9. Химические реакторы, выбор реакторов, классификация. 10. Газовые каталитические реакторы. 11. Газо-жидкостные реакторы. 12. Реакторы периодического и непрерывного действия. Назначение, особенности конструкций. 13. Способы удаления влаги из твердых материалов. Камерные сушилки. 14. Валковые и барабанные сушилки. 15. Конструкции пневматических сушилок. 16. Распылительные сушилки, форсунки. 17. Печи химической промышленности, назначение, классификация. 18. Камерные, шахтные, барабанные печи. 19. Топки для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива. Классификация. 20. Теплоизоляционные и огнеупорные материалы. Их виды, назначение и предъявляемые требования.

*Литература:* основная [2]; дополнительная [4, 17, 18].



### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Курсовой проект по дисциплине «Машины и аппараты химических производств» выполняется на заключительной стадии обучения (11 семестр) и имеет целью систематизацию, закрепление и расширение теоретических знаний, углубленное изучение разрабатываемого в проекте вопроса, овладение навыками самостоятельного решения инженерных задач, выполнения технических расчетов и графического оформления проекта. При работе над проектом студенты должны широко использовать современные достижения науки и техники по разрабатываемому вопросу в нашей стране и за рубежом, научиться самостоятельно применять полученные знания при решении практических вопросов, уметь пользоваться справочной и специальной литературой, находить необходимую научно-техническую информацию.

Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию, выдаваемому руководителем проекта во время экзаменационной сессии на V курсе. Тема проекта увязывается с производственной деятельностью студента заочной формы обучения.

В задании на курсовой проект указывается тема проекта, основные исходные данные для проектирования, перечень вопросов, подлежащих разработке в проекте. Остальные недостающие для расчетов сведения студент должен взять на производстве или из справочной литературы. В четвертом разделе данного пособия приводится перечень типичных заданий для выполнения курсового проекта по рассматриваемой дисциплине. Однако студент может сам предложить тему своего курсового, а далее и дипломного проекта, убедительно обосновав ее выбор, и по согласованию с руководителем выполнять свой проект.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка объемом около 50 страниц печатного текста должна быть оформлена в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и стандартов предприятия [25]. В состав пояснительной записки входят следующие материалы и разделы:

- 1) титульный лист;
- 2) задание на курсовое проектирование;
- 3) реферат;

- 4) содержание;
- 5) введение;
- 6) описание конструкции проектируемой машины (аппарата);
- 7) обзор модификаций машины (аппарата);
- 8) технологические расчеты;
- 9) механические расчеты и расчеты на прочность;
- 10) заключение;
- 11) приложения;
- 12) список использованных источников.

Все расчеты должны быть выполнены в единицах СИ, если иного не предусмотрено особенностями технологии. Часть расчетов желательно выполнять с применением персонального компьютера (ПК), периферийного оборудования к нему и современного программного обеспечения. Все использованные методики расчетов, справочные данные и т. д. должны быть приведены со ссылками на информационные источники. Пример оформления расчетов показан в приложении 3.

### **3.1. Содержание пояснительной записки**

**3.1.1. Титульный лист и бланк задания** заполняются по формам, приведенным в приложении 1.

**3.1.2. Реферат** в краткой форме отражает основное содержание курсового проекта. В реферате приводятся сведения об объеме курсового проекта: количество страниц пояснительной записки с указанием количества рисунков, таблиц, информационных источников и листов иллюстративного материала; перечень ключевых слов; текст реферата.

Перечень ключевых слов должен характеризовать основное содержание проекта и включать от 5 до 15 слов, приведенных в именительном падеже, единственном числе, прописными буквами, в строку через запятые, без переноса слов и записанных с начала строки без абзацного отступа. Точка в конце перечня не ставится. Ключевые слова в совокупности вне текста реферата должны давать достаточно полное представление о содержании курсового проекта.

В текстовой части реферата необходимо выделить цель работы, ее новизну, положительные результаты. Объем текста реферата составляет одну страницу. Пример оформления реферата приведен в приложении 2.

**3.1.3. Введение.** В данном разделе отражается государственное значение отрасли промышленности, показывается перспективы ее развития. Указывается сущность и назначение процесса, осуществляемого

в проектируемой машине или аппарате, его роль и место в общем технологическом процессе. Объем текста введения равен одной – полтора страниц.

**3.1.4. Описание конструкции проектируемой машины (аппарата).** Дается описание конструкции и принципа действия; приводится характеристика проектируемой машины; выявляются основные недостатки существующей технологии и проектируемого аппарата; обосновывается возможность модернизации существующего оборудования.

**3.1.5. Обзор модификаций машины (аппарата).** На основании изучения научно-технической литературы приводится несколько перспективных модификаций машины (аппарата) или ее отдельных узлов, дается их критический анализ. Завершающим этапом данного раздела является выбор оптимального технического решения по конструкции существующей или проектированию новой машины (аппарата).

При выполнении данного раздела необходимо широко использовать научно-техническую литературу, периодические технические издания, реферативные журналы, предметные и патентные указатели к ним, описания патентов и авторских свидетельств на изобретения, официальные информационные ресурсы сети Интернет.

**3.1.6. Технологические расчеты.** В данном разделе определяются основные габаритные размеры, производительность машины (аппарата); осуществляются тепловой расчет, расчет технологической мощности, выбор вспомогательного оборудования.

**3.1.7. Механические расчеты и расчеты на прочность.** При проектировании химических машин (аппаратов) в задачу расчета входят следующие вопросы:

- разработка кинематической схемы и определение передаточных отношений, частоты вращения и основных элементов конструкции (подбор привода);

- нахождение статических и динамических усилий при взаимодействии различных узлов и деталей;

- проверка выносливости и прочности применяемых зубчатых колес; выполнение расчетов червячных, ременных и цепных передач; проверка валов и осей на прочность, жесткость, устойчивость;

- подбор подшипников;

- выбор и расчет муфт в зависимости от их типа;

- проверка прочности ответственных соединений: сварных, резьбовых, шпоночных, шлицевых и т. п.;

- проверка прочности и жесткости рам и ферм.

При выполнении механических расчетов приводятся методы упрочнения поверхностей наиболее ответственных деталей, работающих в тяжелых условиях (закалка, цементация, механическое упрочнение и др.).

Расчеты на прочность химических машин (аппаратов) включают следующие основные этапы:

1) подбор конструкционных материалов с учетом условий работы машины (аппарата) [31, 32] с указанием, при необходимости, антикоррозионных и декоративных покрытий (гуммирование, футеровка, хромирование, цинкование, напыление пластмасс и др.);

2) выбор данных для расчета (значения расчетных температур, давлений, допускаемых напряжений, коэффициентов запаса прочности, коэффициентов сварных швов и др.);

3) расчет на прочность, жесткость, устойчивость, плотность элементов конструкции [31];

4) расчет на виброустойчивость;

5) подбор и расчет опорных устройств;

6) выбор люков, лазов, штуцеров.

Расчеты должны сопровождаться поясняющими графическими материалами: эскизами, расчетными схемами, эпюрами моментов, планами скоростей и ускорений и т. д. Перечень деталей для обязательного расчета указывается в задании. Их количество может быть уменьшено, если расчет проектируемого изделия занимает слишком большой объем.

**3.1.8. Заключение.** В краткой форме излагается основное содержание работы, подчеркивается целесообразность принятых в проекте решений, указываются технико-экономические или социальные преимущества разрабатываемого вида оборудования.

## 3.2. Содержание графической части проекта

Графическая часть проекта выполняется на 3-х листах формата А1 и включает в зависимости от конструкции машины или аппарата:

– 1–2 листа чертежей общего вида или сборочных чертежей оборудования в целом;

– 1–2 листа сборочных чертежей узлов;

– 1 лист рабочих чертежей деталей.

Чертежи предпочтительно выполняются с использованием современных систем автоматизированного проектирования (САПР), нашедших широкое распространение в нашей стране (КОМПАС-3D, AutoCAD).

В первую очередь вычерчиваются самостоятельно разрабатываемые узлы и детали или узлы и детали, для которых в пояснительной записке произведены расчеты.

При выполнении графической части проекта необходимо строго придерживаться требований ЕСКД и стандарта предприятия к оформлению конструкторской документации [25].

Полная спецификация составляется только на самостоятельно разрабатываемый узел. На чертеже общего вида допускается приводить сокращенный (по узлам) перечень составных частей изделия (10–15 позиций) [33]. Спецификация подшивается в приложение к пояснительной записке.

На чертеже общего вида приводятся:

- 1) техническая характеристика изделия;
- 2) технические требования к изготовлению, испытанию, транспортировке машины и к ее внешнему виду;
- 3) таблица штуцеров;
- 4) таблица сварных швов (при необходимости);
- 5) таблица составных частей изделия.

В технической характеристике указываются:

- назначение машины или аппарата;
- производительность;
- рабочее давление и температура;
- состав рабочей среды;
- технические характеристики привода машины или аппарата (установленная мощность, частота вращения, напряжение питания);
- габаритные размеры и масса машины (аппарата).

Технические требования разрабатываются при выполнении всех видов чертежей: чертежей общего вида, сборочных чертежей изделий и узлов и рабочих чертежей деталей, причем для каждого из перечисленных видов чертежей формулируются свои специфические группы требований, группируя которые можно сформулировать технические требования к разрабатываемому в данном чертеже изделию:

- 1) требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической обработке и к свойствам материала готовой детали (твердость, магнитные, электрические свойства и др.);
- 2) размеры, предельные отклонения размеров, формы взаимного расположения;
- 3) требования к качеству поверхностей с указанием способов их отделки, виды покрытий;

- 4) размеры зазоров, расположение отдельных элементов конструкции;
- 5) требования к процессу смазки процессов трения;
- 6) требования к настройке и регулировке изделия или узла;
- 7) другие требования, предъявляемые к качеству изделий и узлов, например бесшумность, самоторможение, виброустойчивость;
- 8) условия и методы испытаний;
- 9) указания по маркировке и клеймению;
- 10) правила транспортировки и клеймения;
- 11) особенности эксплуатации;
- 12) ссылки на другие документы, содержащие технические требования.

Если объектом разработки является машина или аппарат, снабженные штуцерами, то в правом верхнем углу первого листа чертежа общего вида или сборочного чертежа изделия, узла помещают таблицу штуцеров. Обязательным является наличие на чертеже вида с указанием истинного расположения штуцеров (как правило, вид в плане). Пример выполнения таблицы штуцеров и их обозначения на чертежах приведен в приложениях 5, 6.

При недостатке места на чертеже для полного обозначения сварного соединения либо при необходимости изображения эскиза сварного шва допускается всю информацию (обозначение шва, его эскиз, применяемый электрод или проволоку) приводить в таблице с указанием соответствующих стандартов (см. прил. б). Расположение текстовой информации на поле чертежа подробно изложено в [33].

## 4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### ***0. Проект однокорпусной вакуум-выпарной установки для упаривания раствора KCl***

*Исходные данные:* производительность по упаренному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация хлористого калия (KCl) 8,5 мас. %; конечная концентрация KCl 30 мас. %; начальная температура раствора KCl 25°C [1, 11, 16].

### ***1. Проект выпарной установки с паровым эжектором для упаривания раствора KCl***

*Исходные данные:* производительность по упаренному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация хлористого калия (KCl) 8,5 мас. %; конечная концентрация KCl 30 мас. %; начальная температура раствора KCl 25°C [1, 11, 16].

### ***2. Проект трехкорпусной вакуум-выпарной установки с выносной греющей камерой***

*Исходные данные:* рабочая среда – KCl; производительность по упаренному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация хлористого калия (KCl) 8,5 мас. %; конечная концентрация KCl 30 мас. %; начальная температура раствора KCl 25°C [1, 11, 16].

### ***3. Проект выпарной установки с принудительной циркуляцией раствора***

*Исходные данные:* установка с максимальным использованием тепла; рабочая среда – KCl; производительность по упаренному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация хлористого калия (KCl) 8,5 мас. %; конечная концентрация KCl мас. 30 %; начальная температура раствора KCl 25°C [1, 11, 16].

### ***4. Проект однокорпусной выпарной установки для упаривания раствора KCl при атмосферном давлении***

*Исходные данные:* производительность по упаренному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация хлористого калия (KCl) 8,5 мас. %; конечная концентрация KCl 30 мас. %; начальная температура раствора KCl 25°C [1, 11, 16].

### **5. Проект камерной сушильной установки с рециркуляцией сушильного агента**

*Исходные данные:* высушиваемый материал – тетрациклин; производительность сушилки по загружаемому материалу 50 кг при продолжительности сушки 2 ч; исходная влажность материала 67 мас. %; конечная влажность материала 8–10 мас. %; теплоноситель – горячий воздух [1, 11, 16].

### **6. Проект сушильной установки кипящего слоя периодического действия**

*Исходные данные:* высушиваемый материал – тетрациклин; производительность сушилки по загружаемому материалу 50 кг при продолжительности сушки 15 мин; исходная влажность материала 67 мас. %; конечная влажность материала 8–10 мас. %; теплоноситель – горячий воздух [1, 11, 16].

### **7. Проект барабанной сушилки непрерывного действия**

*Исходные данные:* высушиваемый материал – сернокислый калий; производительность сушилки по исходному материалу 1500 кг/ч; время сушки 1,5 ч; начальная влажность материала 30 мас. %; конечная влажность материала 8 мас. %; теплоноситель – топочные газы [1, 11, 16, 34].

### **8. Проект ректификационной колонны с колпачковыми тарелками**

*Исходные данные:* материал колонны – сталь X18H10T; нагрузка по пару 2900 кг/ч; нагрузка по жидкости 2800 кг/ч; плотность пара 3,5 кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкости 850 кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $17 \cdot 10^{-3}$  Н/м; число ступеней изменения концентрации 20; вязкость пара  $5,6 \cdot 10^{-5}$  Па · с; вязкость жидкости  $4,2 \cdot 10^{-3}$  Па · с; вспениваемость жидкости – средняя [1, 11, 12, 15, 16].

### **9. Проект ректификационной колонны с клапанными тарелками**

*Исходные данные:* материал колонны – сталь X18H10T; нагрузка по пару 21 200 кг/ч; нагрузка по жидкости 19 800 кг/ч; плотность пара 7,8 кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкости 920 кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $18 \cdot 10^{-3}$  Н/м; число ступеней изменения концентрации 24; вязкость



пара  $2,3 \cdot 10^{-5}$  Па · с; вязкость жидкости  $4,3 \cdot 10^{-3}$  Па · с; давление в колонне 0,2 МПа; вспениваемость жидкости – средняя [1, 11, 12, 15, 16].

#### ***10. Проект ректификационной колонны с ситчатыми тарелками***

*Исходные данные:* материал колонны – сталь Х18Н10Т; нагрузка по пару 16 000 кг/ч; нагрузка по жидкости 15 200 кг/ч; плотность пара  $5,2$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкости  $930$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $35 \cdot 10^{-3}$  Н/м; число ступеней изменения концентрации 16; вязкость пара  $1,5 \cdot 10^{-5}$  Па · с; вязкость жидкости  $6,3 \cdot 10^{-3}$  Па · с; давление в колонне 0,15 МПа; вспениваемость жидкости – средняя [1, 11, 12, 15, 16].

#### ***11. Проект ректификационной колонны с тарелками провального типа***

*Исходные данные:* материал колонны – сталь Х18Н10Т; нагрузка по пару 30 000 кг/ч; нагрузка по жидкости 29 500 кг/ч; плотность пара  $9,7$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкости  $890$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $36 \cdot 10^{-3}$  Н/м; число ступеней изменения концентрации 12; вязкость пара  $2,3 \cdot 10^{-5}$  Па · с; вязкость жидкости  $2,7 \cdot 10^{-3}$  Па · с; давление в колонне 0,3 МПа; вспениваемость жидкости – средняя [1, 11, 12, 15, 16].

#### ***12. Проект котла реактора***

*Исходные данные:* среда агрессивная, взрыво- и пожароопасная; материал реактора – сталь Х18Н10Т; номинальный объем реактора  $10$  м<sup>3</sup>; избыточное давление в реакторе 0,3 МПа; размер твердых частиц 0,6 мм; плотность твердой фазы  $1320$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $1060$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкости  $2,3 \cdot 10^{-3}$  Па · с; поверхностное натяжение жидкости  $36 \cdot 10^{-3}$  Н/м [11, 12, 16–18].

#### ***13. Проект газожидкостного реактора***

*Исходные данные:* среда неагрессивная, невзрывоопасная; материал реактора – сталь Х18Н10Т; номинальный объем реактора  $5$  м<sup>3</sup>; избыточное рабочее давление 0,06 МПа; давление внутри аппарата при стерилизации 0,32 МПа; плотность жидкости  $1010$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкости  $7,5 \cdot 10^{-4}$  Па · с; поверхностное натяжение жидкости  $0,072$  Н/м; расход подаваемого воздуха  $0,09$  м<sup>3</sup>/с; тип механической мешалки – турбинная открытая [11, 12, 16–18].

**14. Проект барботажного реактора непрерывного действия для каталитического окисления углеводородов со средней молекулярной массой**

*Исходные данные:* молекулярная масса 78 кг/кмоль; производительность реактора по жидкой фазе 6 м<sup>3</sup>/ч; расход воздуха 600 м<sup>3</sup>/ч (приведен к нормальным условиям:  $p_0 = 0,1$  МПа;  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ); температура реакции 87°C; давление 0,18 МПа; время реакции 2,6 ч; реакция экзотермическая с теплотой реакции  $7,32 \cdot 10^{-5}$  Дж при окислении 1 кг сырья [11, 12, 16–18].

**15. Проект адсорбционной установки периодического действия для улавливания паров метанола**

*Исходные данные:* расход смеси 3280 м<sup>3</sup>/ч; температура паровоздушной смеси 20°C; давление 0,1 МПа; начальная концентрация метанола в газовой смеси  $1,8 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; проскоковая концентрация 3% от начальной; адсорбент – активный уголь [16, 44].

**16. Проект роторно-дискового экстрактора для очистки воды от фенола**

*Исходные данные:* конечная концентрация фенола в воде 0,008 кг/м<sup>3</sup>; расход исходной смеси 4 м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация фенола 0,2 кг/м<sup>3</sup>; температура в экстракторе 22°C; начальная концентрация фенола в экстрагенте 0,015 кг/м<sup>3</sup>; экстрагент – бензол [1, 16].

**17. Проект барабанной шаровой мельницы**

*Исходные данные:* масса барабана мельницы без мелющих тел 12 000 кг; диаметр барабана 1,3 м; отношение длины к диаметру барабана 1,53; коэффициент заполнения барабана 0,3; диаметр цапф 0,35 м; размалываемый материал – шихта из известняка и глины со средним сопротивлением размолу; материал шаров – сталь [3, 34].

**18. Проект молотковой дробилки для измельчения калийной руды**

*Исходные данные:* размер загружаемых кусков 150 мм; степень измельчения 10; диаметр ротора по наружному краю вращающихся молотков 1 м; длина ротора 1,5 м [3, 12].

### ***19. Проект щековой дробилки простого качания***

*Исходные данные:* длина загрузочного и разгрузочного отверстий 0,9 м; ширина загрузочного отверстия 1,2 м; ширина разгрузочной щели 0,15 м; ход щеки у разгрузочной щели (в шпальте) 25 мм; плотность дробимого материала 2400 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент разрыхления 0,5; коэффициент трения материала 0,25 [3, 12, 34].

### ***20. Проект валковой дробилки***

*Исходные данные:* диаметр валков дробилки 0,85 м; длина валков 0,5 м; максимальный размер загружаемых кусков 44 мм; степень измельчения 4; коэффициент измельчения 0,2; измельчаемый материал – мрамор [3, 12, 34, 44].

### ***21. Проект плоского качающегося наклонного грохота с эксцентриковым приводом***

*Исходные данные:* производительность грохота 29 кг/с; длина короба грохота 7 м; ширина короба 1,5 м; толщина слоя материала в грохоте 100 мм; масса грохота 250 кг; угол наклона 10°; эксцентриситет вала грохота 40 мм; диаметр эксцентрика 120 мм; насыпная плотность материала 1300 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент трения материала 0,35; максимальный размер просеиваемых частиц 30 мм [8, 12, 34, 44].

### ***22. Проект барабанного грохота с опорами на центральном валу***

*Исходные данные:* длина барабана грохота 5 м; диаметр барабана 0,8 м; толщина слоя материала в грохоте 115 мм; масса грохота 360 кг; угол наклона барабана 5°; диаметр центрального вала грохота 50 мм; насыпная плотность материала 1100 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент трения материала 0,45; угол естественного откоса 30° [8, 34, 44].

### ***23. Проект горизонтального вибрационного грохота со двойным дебалансом***

*Исходные данные:* масса колеблющихся частей 150 кг; диаметр вала 30 мм; размеры сита 1×3,0 м; диаметр отверстий сита 10 мм; амплитуда колебаний грохота 1 мм; радиус центра тяжести дебаланса 40 мм; разделяемый материал – гравийно-песчаная смесь [8, 12, 34].

#### **24. Проект автоматической горизонтальной фильтрующей центрифуги с ножевой выгрузкой осадка**

*Исходные данные:* на фильтрацию подается  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$  водной суспензии с концентрацией твердой фазы 15 мас. %; плотность твердой фазы  $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; влажность получаемого осадка 10 мас. %; частота вращения ротора 28,4 об/с; диаметр ротора 0,8 м; длина ротора 0,4 м; рабочая емкость 100 л; диаметр борта 0,57 м; предельная загрузка 150 кг; время выгрузки 120 с; удельное сопротивление срезу осадка  $0,038 \text{ Н}/\text{м}^2$ ; длина ножа 0,38 м [1, 6–12, 34].

#### **25. Проект фильтрующей центрифуги с пульсирующим толкателем для выгрузки осадка**

*Исходные данные:* расход подаваемой в центрифугу суспензии калийного концентрата  $11 \text{ м}^3$ ; плотность суспензии  $1250 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; частота вращения ротора 17,5 об/с; диаметр ротора 1,4 м; длина ротора 0,75 м; рабочая емкость 260 л; фактор разделения 610; максимально допустимая масса загрузки 250 кг; толщина осадка 90 мм; ход толкателя 70 мм; число ходов толкателя в минуту 30 [1, 6–12, 34].

#### **26. Проект двухвального шнекового смесителя периодического действия**

*Исходные данные:* смешивание порошков насыпных плотностей 700, 1000 и  $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$  в массовом соотношении 1 : 2 : 1; диаметр шнеков 0,3 м; длина шнеков 3 м; диаметр валов 0,1 м; шаг витков 0,25 м; коэффициент заполнения объема, описываемого шнеками, равен 0,45; коэффициент сплошности витков 0,5; длительность перемешивания 600 с [34].

#### **27. Проект смесителя псевдоожигенного слоя**

*Исходные данные:* смешивание гранул насыпных плотностей 900 и  $1100 \text{ кг}/\text{м}^3$  в массовом соотношении 1 : 1; размер частиц 2 мм; диаметр аппарата 0,1 м; коэффициент заполнения 0,25; число оборотов ворошителя 0,7 об/с; время перемешивания 60 с; оживающий газ – воздух при нормальных условиях ( $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ) [34].

#### **28. Проект валцов для пластикации резиновой смеси**

*Исходные данные:* диаметр валков 0,6 м; длина рабочей поверхности валков 2 м; фрикция 1,2; частота вращения быстроходного

валка 0,3 об/с; зазор между валками 1,6 мм; обрабатываемый материал – каучук СКН-40; начальная пластичность каучука 0,05; конечная пластичность 0,25 [29, 34, 36, 39].

### ***29. Проект двухвалкового каландра для обработки полистирола***

*Исходные данные:* диаметр валков 0,4 м; ширина ленты 2,4 м; толщина ленты 0,25 мм; окружная скорость валков 0,1 м/с; коэффициент трения материала о поверхности валков 0,35 [28, 34, 36, 39, 41].

### ***30. Проект одночервячного экструдера для выпуска пленки рукавным методом***

*Исходные данные:* марка пластика – полиэтилен ВД индивидуального расплава с индексом расплава 2 г/10 мин; температура расплава 390 К; шнек (червяк) однозаходный трехступенчатый с постоянным шагом 60 мм и наружным диаметром 60 мм; средняя глубина первой ступени (зоны) 10 мм, третьей ступени – 4 мм; толщина витка 6 мм; зазор шнека в цилиндре 0,1 мм (на сторону); диапазон частот вращения шнека 15–80 об/мин; давление перед головкой 0–1500 Н/см<sup>2</sup>. В пределах заданных диапазонов частот вращения и давлений выбрать для расчетов по четыре их значения: два экстремальных и два промежуточных. Средний диаметр выходной щели 100 мм; длина щели 10 мм; зазор щели 0,5 мм [28, 34, 35, 41].

### ***31. Проект червячного пресса для изготовления шланга***

*Исходные данные:* материал – пластикат ПВХ с индексом расплава 0,12 г/10 мин; температура расплава в головке 450 К; шнек (червяк) двухзаходный трехступенчатый с постоянным шагом 40 мм и наружным диаметром 40 мм; средняя глубина первой ступени (зоны) 7 мм, третьей ступени – 3,5 мм; толщина витка 5 мм; зазор шнека в цилиндре 0,07 мм (на сторону); диапазон частот вращения шнека 20–120 об/мин; давление перед головкой 0–2000 Н/см<sup>2</sup>. В пределах заданных диапазонов частот вращения и давлений выбрать для расчетов по четыре их значения: два экстремальных и два промежуточных. Характеристика продукта: наружный диаметр 31 мм, толщина стенки 3 мм [28, 34, 35, 41].

### ***32. Проект экструдера для выпуска листового пластиката поливинилхлорида***

*Исходные данные:* материал – пластикат ПВХ с индексом расплава 0,12 г/10 мин; температура расплава в головке 450 К; шнек

(червяк) плавнорегрессивный с постоянным шагом 85 мм и наружным диаметром 90 мм; средняя глубина нарезки первой ступени (зоны) 20 мм, третьей ступени – 8 мм; толщина витка 10 мм; зазор шнека в цилиндре 0,2 мм (на сторону); диапазон частот вращения шнека 10–60 об/мин; давление перед головкой 0–2000 Н/см<sup>2</sup>; противодействие головки 500 Н/см<sup>2</sup>. В пределах заданных диапазонов частот вращения и давлений выбрать для расчетов по четыре их значения: два экстремальных и два промежуточных. Характеристика продукта: ширина листа 1000 мм; толщина листа 3 мм (без учета усадки) [28, 34, 35, 41].

### ***33. Проект червячного гранулятора***

*Исходные данные:* материал – полистирол; температура в грануляционной головке 520 К; число отверстий в грануляционной головке 12; длина отверстий 20 мм; диаметр гранул 3 мм; червяк двухзаходный трехступенчатый с постоянным шагом 45 мм и наружным диаметром 60 мм; средняя глубина первой ступени (зоны) 10 мм, третьей ступени – 4 мм; толщина витка 6 мм; зазор шнека в цилиндре 0,1 мм (на сторону); диапазон частот вращения шнека 15–80 об/мин; давление перед головкой 0–1500 Н/см<sup>2</sup>. В пределах заданных диапазонов частот вращения и давлений выбрать для расчетов по четыре их значения: два экстремальных и два промежуточных [28, 34, 35, 41].

### ***34. Проект прессы нижнего давления для прессования листов текстолита***

*Исходные данные:* удельное давление прессования 1200 Н/см<sup>2</sup>; размеры листов 2000×1400 мм при толщине 6 мм; количество этажей 11; толщина стального подкладочного листа 2 мм; количество листов в пакете 5; давление энергетической жидкости 3100 Н/см<sup>2</sup>; начальная температура заготовки 200 К; конечная температура при нагревании 470 К [28, 34, 41].

### ***35. Проект плунжерной гидравлической литьевой машины с червячным предпластикатором***

*Исходные данные:* материал отливки – полиэтилен высокой плотности; объем отливки (впрыска) 16 см<sup>3</sup>; средняя толщина отливки 5 мм; скорость впрыскивания 90 мм/с; длительность впрыскивания 3,5 с; давление энергетической жидкости высокого давления 650 Н/см<sup>2</sup>; давление энергетической жидкости низкого давления 80 Н/см<sup>2</sup>; температура формы 350 К [28, 34, 41].

### **36. Проект пневмоформовочной установки**

*Исходные данные:* тип пластика – листы винипласта с размером  $0,8 \times 1,0 \times 0,03$  м; температура нагревателя 700 К; температура формы 310 К; объем камеры (формы)  $0,3 \text{ м}^3$ ; объем ресивера  $0,4 \text{ м}^3$ ; давление, создаваемое компрессором, равно  $60 \text{ Н/см}^2$ ; давление в конце формования  $40 \text{ Н/см}^2$ ; способ нагревания – двухсторонний радиационный [28, 34, 41].

### **37. Проект вакуум-формовочного агрегата**

*Исходные данные:* тип пластика – листы полистирола с размером  $0,7 \times 0,8 \times 0,03$  м; температура нагревателя 650 К; температура формы 330 К; объем камеры (формы)  $0,25 \text{ м}^3$ ; объем ресивера  $0,8 \text{ м}^3$ ; давление, создаваемое вакуум-насосом, составляет  $1,5 \text{ Н/см}^2$ ; давление в конце формования  $3 \text{ Н/см}^2$ ; способ нагревания – односторонний радиационный [28, 34, 41].

### **38. Проект двухвального червячного мешателя непрерывного действия для переработки пластических композиций**

*Исходные данные:* диаметр роторов 150 мм; межосевое расстояние 160 мм; относительная длина ( $L/D$ ) 10; число оборотов роторов 30–200 об/мин; вес 50 кН; мощность привода 40 кВт [28, 41].

### **39. Проект форматера-вулканизатора для крупногабаритных покрышек**

*Исходные данные:* обогрев пресс-формы – паровой; внутренний диаметр паровой камеры 2,2 м; давление пара в диафрагме (для формования) 0,5 МПа; давление пара в паровой камере 0,8 МПа; давление перегретой воды в диафрагме 2,5 МПа; давление охлаждающей воды в диафрагме 2,5 МПа; давление охлаждающей воды в паровой камере 0,1 МПа; давление воды в гидроприводах 2 МПа; температура перегретой воды в диафрагме  $180^\circ\text{C}$ ; максимальная высота пресс-формы 0,75 м; время открывания (закрывания) пресса 90 с; масса агрегата 51 т; максимальное распорное усилие на пресс-форму 7 МН [29].

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Учреждение образования «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_

Специальность \_\_\_\_\_

Специализация \_\_\_\_\_

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

по дисциплине \_\_\_\_\_

Тема \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Исполнитель  
студент(ка) \_\_\_\_\_ курса группы \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ подпись, дата \_\_\_\_\_ инициалы и фамилия

Руководитель  
\_\_\_\_\_ должность, ученая степень, ученое звание \_\_\_\_\_ подпись, дата \_\_\_\_\_ инициалы и фамилия

Курсовой проект защищен с оценкой \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ инициалы и фамилия

Минск 200\_\_



**ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ БЛАНКА ЗАДАНИЯ  
НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

Учреждение образования «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_  
Специальность \_\_\_\_\_  
Специализация \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ  
на курсовой проект**

студенту(ке) \_\_\_\_\_

1. Тема

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Сроки защиты \_\_\_\_\_

3. Исходные данные

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Окончание прил. 1**

4. Содержание пояснительной записки курсового проекта (перечень вопросов, подлежащих разработке)

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Перечень графического, иллюстрационного материала (с точным указанием обязательных чертежей, графиков и др.)

---

---

---

---

---

---

6. Консультанты (с указанием разделов)

---

---

---

7. Календарный график работы

---

---

---

---

---

---

8. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись  
инициалы и фамилия

Задание принял(а) к исполнению \_\_\_\_\_  
дата и подпись студента(ки)

**ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ РЕФЕРАТА**

**Реферат**

Пояснительная записка 48 с., 18 рис., 7 табл., 21 источник, 3 прил.

**КАЛАНДР, ПОДОГРЕВ, КАЛАНДРОВАНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ, ЗАЗОР, ПЕРЕКОС, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ПОВЫШЕНИЕ, МОЩНОСТЬ**

Целью выполнения курсового проекта является разработка конструкции каландра с Z-образным расположением валков повышенной производительности, снижение доли ручного труда путем унификации процесса каландрования.

Из анализа информационных источников выявлено, что указанная цель может быть достигнута применением усовершенствованного механизма регулировки зазора, а также автоматизированной системы смазки.

В проекте разработана кинематическая схема привода машины, рассчитана производительность, потребляемая мощность, распорное усилие между валками при различных зазорах, фрикции и скорости вращения валков, подобраны двигатели и редукторы привода валков и механизмов регулировки зазора, выполнен механический расчет, подобраны подшипники, разработана схема смазки.

В результате доказано, что использование разработанного каландра в производстве полимерных изделий позволит сократить численность обслуживающего персонала и полностью исключить ручной труд на стадии каландрования.

Графическая часть включает:

- чертеж общего вида каландра – 1 лист А1;
- сборочный чертеж механизма регулировки зазора – 1 лист А1;
- чертежи деталей – 2 листа А3, 4 листа А4.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Скорость потока  $v$ , м/с, определяется по [44] формула (6-17):

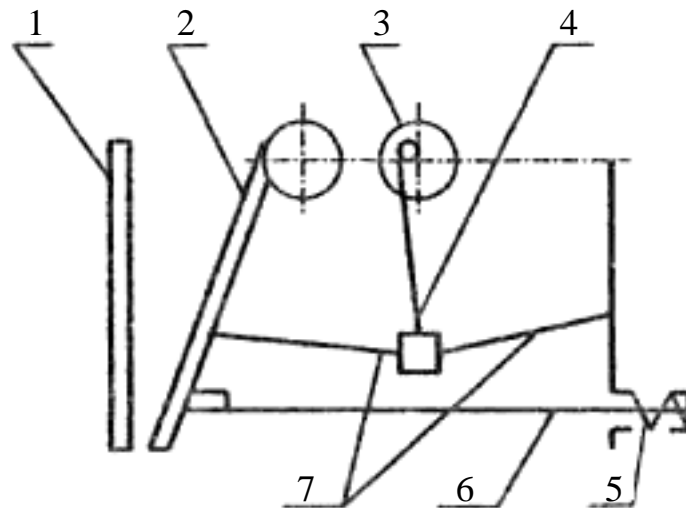
$$v = \frac{Q}{S},$$

где  $Q$  – объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $S$  – площадь поперечного сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

$$v = \frac{0,1}{0,05} = 2 \text{ м/с.}$$

*Примечание.* Обязательной расшифровке подлежат только вновь введенные условные обозначения.

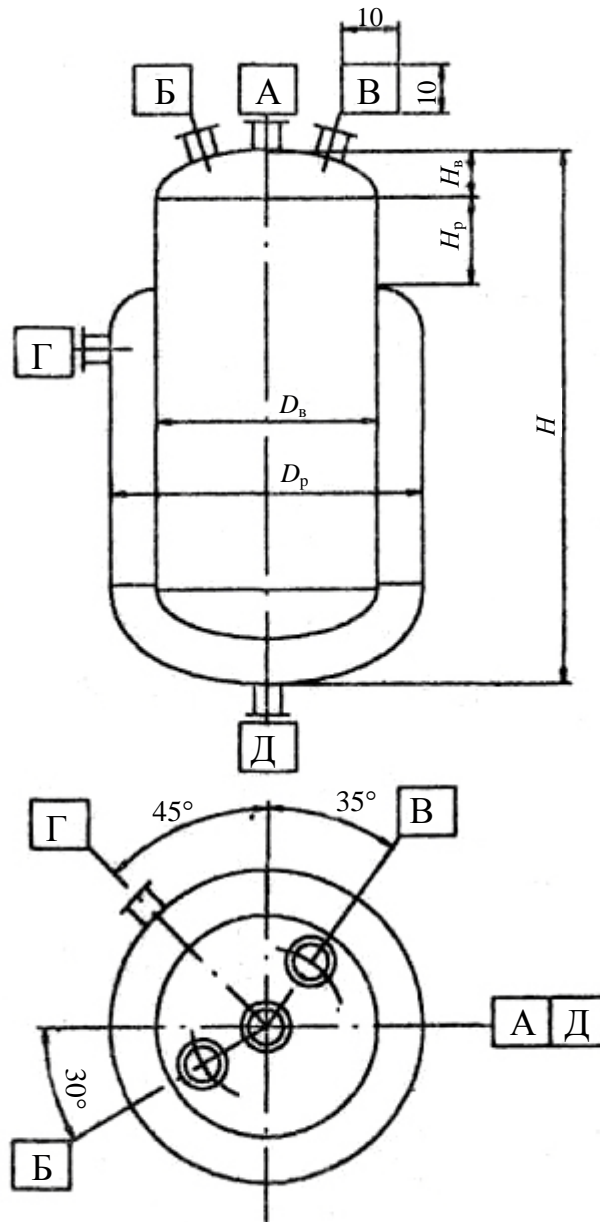
ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ РИСУНКА



- 1 – щека неподвижная; 2 – щека подвижная;  
3 – эксцентриковый вал; 4 – шатун;  
5 – возвратная пружина; 6 – тяга;  
7 – плиты распорные.

Рисунок 1.1 – Щековая дробилка с простым качанием щеки и верхним подвесом

ПРИМЕР ОБОЗНАЧЕНИЯ ШТУЦЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ



ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ТАБЛИЦА ШТУЦЕРОВ

Обоз.	НАЗНАЧЕНИЕ	Кол.	Д <sub>у</sub> , мм	P <sub>у</sub> , МПа
А	Для ввода продукта	1	65	0,2
Б	Для КИП	1	32	0,2
В	Для ввода пара	1	50	0,2
Г	Для вывода конденсата	1	50	0,2
Д	Люк-лаз	2	500	0,2

ТАБЛИЦА СВАРНЫХ ШВОВ

Номер шва	Обозначение	Эскиз	Кол-во швов	Электрод или сварочная проволока (тип, марка, ГОСТ)
1	ГОСТ 5264-80 С7		7	Электрод ЦЛ-11-5-3, ГОСТ 9466-75
2	ГОСТ 5264-80 ТЗ		12	Электрод Э-12Г4, ГОСТ 10051-75

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и аппараты химических производств / А. Г. Бондарь [и др.]; под общ. ред. И. И. Чернобыльского. – М.: Машиностроение, 1975. – 457 с.
2. Шаповалов, Ю. Н. Машины и аппараты общехимического назначения: учеб. пособие / Ю. Н. Шаповалов, В. С. Шейн. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 304 с.
3. Сиденко, В. П. Измельчение в химической промышленности / В. П. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
4. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи: учеб. пособие / И. В. Доманский [и др.]; под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
5. Жужиков, В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В. А. Жужиков. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
6. Шкоропад, Д. Е. Центрифуги для химических производств / Д. Е. Шкоропад. – М.: Машиностроение, 1975. – 248 с.
7. Соколов, В. И. Современные промышленные центрифуги / В. И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1967. – 523 с.
8. Шкоропад, Д. Е. Центрифуги и сепараторы для химических производств / Д. Е. Шкоропад, О. П. Новиков. – М.: Химия, 1987. – 255 с.
9. Промышленные центрифуги: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1971. – 142 с.
10. Фильтры для жидкостей: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1974. – 246 с.
11. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.
12. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 452 с.
13. Справочник по теплообменникам: в 2 т. / под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шилова; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 2. – 560 с.
14. Машины и аппараты химических производств / О. А. Перелыгин [и др.]; под общ. ред. И. И. Поникарова. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
15. Александров, И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты / И. А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 277 с.



16. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие для проектирования / Г. С. Борисов [и др.]; под общ. ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
17. Соколов, В. Н. Химические реакторы / В. Н. Соколов, М. Д. Бушков. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1980. – 60 с.
18. Михаил, Р. Реакторы в химической промышленности / Р. Михаил, К. Кырлогану. – Л.: Химия, 1968. – 383 с.
19. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 429 с.
20. Колонные аппараты: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1978. – 30 с.
21. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефте- и газопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1980. – 408 с.
22. Исламов, М. Ш. Печи химической промышленности / М. Ш. Исламов. – Л.: Химия, 1969. – 176 с.
23. Печи химических производств: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1976. – 24 с.
24. Печи общего назначения с вращающимися барабанами: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1965. – 31 с.
25. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП БГТУ 002-2007. – Введ. 02.05.2007. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.
26. Торцовые уплотнения вращающихся валов: каталог. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1974. – 246 с.
27. Проекты (работы) дипломные. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты: СТП 0 А-2002. – Введ. 01.04.2002. – Минск: БГТУ, 2002. – 159 с.
28. Торнер, Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. – М.: Химия, 1986. – 400 с.
29. Бекин, Н. Г. Оборудование заводов резиновой промышленности / Н. Г. Бекин, Н. П. Шанин. – Л.: Химия, 1978. – 398 с.
30. Методические указания и задания к контрольным работам по дисциплине «Оборудование по переработке полимерных материалов» / В. Н. Гуляев [и др.]; под общ. ред. И. М. Плехова. – Минск: БТИ им. С. М. Кирова, 1988. – 16 с.
31. Лашинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов / А. А. Лашинский. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
32. Михалев, М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов / М. Ф. Михалев. – Л.: Машиностроение, 1984. – 299 с.

33. Федоренко, В. А. Справочник по машиностроительному черчению / В. А. Федоренко, А. И. Шошин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 416 с.

34. Козулин, Н. А. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности / Н. А. Козулин, В. Н. Соколов, А. Я. Шапир. – М.: Машиностроение, 1966. – 484 с.

35. Рябинин, Д. Д. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей / Д. Д. Рябинин, Ю. Е. Лукач. – М.: Машиностроение, 1965. – 400 с.

36. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов / М. В. Соколов [и др.]; под общ. ред. А. С. Клинова. – М.: Машиностроение, 2005. – 320 с.

37. Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т. IV-12. Машины и аппараты химических и нефтеперерабатывающих производств / В. П. Александров [и др.]; под общ. ред. М. Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. – 829 с.

38. Поникаров, И. И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи) / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. – М.: Альфа-М, 2008. – 720 с.

39. Проектирование и расчет валковых машин для полимерных материалов: учеб. пособие / В. И. Кочетов [и др.]; под общ. ред. А. С. Клинова. – Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2005. – 128 с.

40. Машины и аппараты химических производств: учеб.-метод. комплекс: в 2 ч. Ч. 2. Оборудование для производства полимерных и строительных материалов / сост. А. В. Митинова, О. Н. Жаркова. – Новополюк: ПГУ, 2008. – 280 с.

41. Основы технологии переработки пластмасс / Л. Б. Кандырин [и др.]; под общ. ред. С. В. Власова. – М.: Химия, 2004. – 600 с.

42. Машины и аппараты химических производств: учеб. пособие для вузов / Б. Г. Балдин [и др.]; под общ. ред. А. С. Тимонина. – Калуга: Изд-во Н. Ф. Бочкаревой, 2007. – 872 с.

43. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: в 2 кн. / М. К. Захаров [и др.]; под общ. ред. В. Г. Айнштейна. – М.: Университетская книга, 2006. – Кн. 2. – 872 с.

44. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М.: Химия, 1968. – 848 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Программа дисциплины .....	4
2. Контрольные работы .....	8
Контрольная работа № 1.....	9
Контрольная работа № 2.....	11
Контрольная работа № 3.....	14
3. Методические указания к выполнению курсового проекта.....	17
3.1. Содержание пояснительной записки .....	18
3.2. Содержание графической части проекта .....	20
4. Задания для курсового проектирования .....	23
Приложение 1 .....	32
Приложение 2 .....	35
Приложение 3 .....	36
Приложение 4 .....	37
Приложение 5 .....	38
Приложение 6 .....	39
Литература .....	40

# **МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Составители: **Гуляев** Владимир Николаевич  
**Петров** Олег Алексеевич

Редактор *Е. С. Ватешкина*  
Компьютерная верстка *Д. С. Семижен*

Подписано в печать 29.04.2009. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 2,6.  
Тираж 150 экз. Заказ .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.