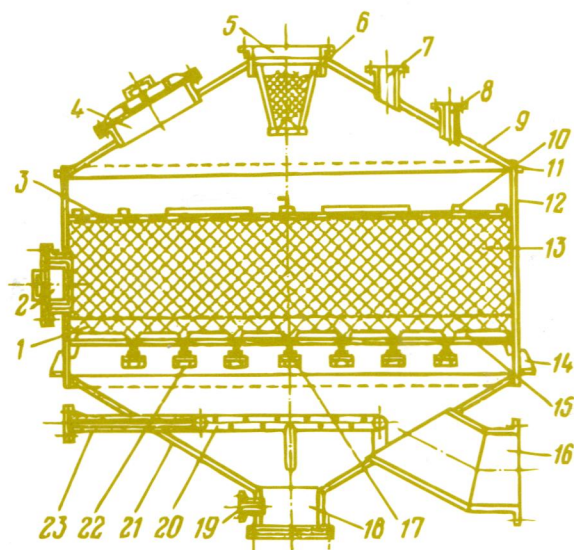


ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Пособие по проектированию
под ред. Ю. И. Дытнерского



Альянс

Основные процессы и аппараты химической технологии

ПОСОБИЕ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

*Второе издание переработанное и дополненное
под ред. засл. деятеля науки и техн., докт. техн. наук,
проф. Ю. И. ДЫТНЕРСКОГО
допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию
в качестве учебного пособия для студентов химико-технологических
специальностей высших учебных заведений*

Стереотипное издание

МОСКВА
Альянс
2015

УДК 66.01(076)
ББК 35.11
О 075

Авторы: Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский,
С. З. Каган, Ю. Н. Ковалев, Р. Г. Кочаров, Н. В. Кочергин,
С. И. Мартюшин, В. А. Набатов, А. М. Трушин, М. А. Шерышев

О 075 Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – Стереотипное издание. Перепечатка с издания 1991 г. – М.: Альянс, 2015. – 496 с.

ISBN 978-5-903034-87-1

Изложены основы проектирования установок для проведения типовых процессов химической технологии. Рассмотрены цели и задачи курсового проекта, содержание объема, порядок оформления пояснительной записки и графической части проекта. Даны принципы выбора и расчета аппаратов, вспомогательного оборудования, трубопроводов и арматуры. Приведены примеры расчета аппаратов и установок. В приложениях даны необходимые справочные сведения, общие виды и узлы типовой аппаратуры.

Для студентов химико-технологических вузов. Может быть полезна студентам других специальностей, а также инженерно-техническим работникам химической и смежных отраслей.

ББК 35.11

Учебное издание

*Борисов Геннадий Сергеевич, Брыков Валерий Павлович, Дытнерский Юрий Иосифович,
Каган Соломон Захарович, Ковалев Юрий Николаевич, Кочаров Рубен Георгиевич, Кочергин
Николай Васильевич, Мартюшин Сергей Игоревич, Набатов Вячеслав Александрович,
Трушин Александр Михайлович, Шерышев Михаил Анатольевич.*

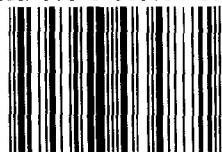
Основные процессы и аппараты химической технологии

Подписано в печать 28.11.2014. Формат 70x100/16. Усл. печ. л. 40,2.
Печать офсетная. Тираж 200 экз. Заказ № К-2277.

ООО «Издательство Альянс»
125319, Москва, ул. Черняховского, д. 16
Тел./факс (495) 221-21-95
izdat@aliansbooks.ru
www.aliansbooks.ru

Отпечатано в ОАО «ИПК «Чувашия».
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 13.

ISBN 978-5-903034-87-1



9 785903 034871 >

ISBN 978-5-903034-87-1

© Коллектив авторов, 1991
© Оформление. Издательство Альянс, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	9
<i>Введение. Содержание и объем курсового проекта</i>	10
Глава 1. Гидравлические расчеты	13
<i>Основные условные обозначения</i>	13
1.1. Расчет гидравлического сопротивления трубопроводов	13
1.2. Расчет оптимального диаметра трубопроводов	16
1.3. Расчет гидравлического сопротивления аппаратов с пористыми и зернистыми слоями и насадками	17
1.4. Расчет насосов и вентиляторов	19
1.5. Расчет отстойников	24
1.6. Расчет фильтров для суспензий	26
1.7. Расчет аппаратов мокрой очистки газов от пылей	30
1.8. Расчет гидродинамических параметров двухфазных потоков	33
<i>Приложения</i>	38
Приложение 1.1. Основные технические характеристики насосов и вентиляторов, используемых в химической промышленности	38
Приложение 1.2. Основные параметры фильтров непрерывного действия	43
<i>Библиографический список</i>	44
Глава 2. Расчет теплообменных аппаратов	44
<i>Основные условные обозначения</i>	44
2.1. Общая схема технологического расчета теплообменных аппаратов	45
2.2. Уравнения для расчета коэффициентов теплоотдачи	49
2.3. Основные конструкции и параметры нормализованных теплообменных аппаратов	54
2.3.1. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты	54
2.3.2. Теплообменники типа «труба в трубе»	60
2.3.3. Пластинчатые теплообменники	61
2.3.4. Спиральные теплообменники	64
2.3.5. Блочные графитовые теплообменники	64
2.4. Расчет теплообменных аппаратов	66
2.4.1. Расчет кожухотрубчатого теплообменника	66
2.4.2. Расчет пластинчатого теплообменника	70
2.4.3. Расчет пластинчатого подогревателя (конденсатора)	73
2.4.4. Расчет кожухотрубчатого конденсатора	74
2.4.5. Расчет кожухотрубчатого испарителя	76
2.5. Выбор оптимального нормализованного теплообменного аппарата	78
2.6. Проверочный расчет теплообменных аппаратов	83
<i>Библиографический список</i>	86
Глава 3. Расчет массообменных процессов	86
<i>Основные условные обозначения</i>	86
3.1. Абсорбция, жидкостная экстракция, десорбция	87
3.1.1. Материальный баланс	88
3.1.2. Расчет числа теоретических ступеней	91
3.1.3. Расход абсорбента, экстрагента, десорбирующего газа	96
3.1.4. Выбор диаметра противоточных колонн	97
3.1.5. Расчет высоты аппаратов с непрерывным контактом фаз	98
3.1.6. Расчет числа ступеней в аппаратах со ступенчатым контактом фаз	103
3.2. Непрерывная ректификация бинарных систем	109

3.2.1. Материальный и тепловой балансы	110
3.2.2. Расчет числа теоретических ступеней	110
3.2.3. Ректификация при постоянстве мольных расходов фаз	115
3.2.4. Определение основных размеров ректификационных колонн	117
3.2.5. Выбор флегмового числа	123
3.3. Многокомпонентная ректификация	125
3.3.1. Приближенные методы расчета многокомпонентной ректификации	132
3.3.2. Точный расчет многокомпонентной ректификации	135
3.3.3. Расчет коэффициентов активности	142
3.3.4. Определение размеров ректификационных колонн при многокомпонентном питании	144
3.4. Адсорбция в аппаратах с неподвижным слоем твердой фазы	144
3.4.1. Материальный баланс	144
3.4.2. Массопередача с участием пористой твердой фазы	145
3.4.3. Расчет адсорберов	147
3.4.4. Расчет профилей концентраций и выходных кривых	149
<i>Библиографический список</i>	164
Глава 4. Расчет выпарной установки	164
<i>Основные условные обозначения</i>	164
<i>Введение</i>	165
4.1. Определение поверхности теплопередачи выпарных аппаратов	166
4.1.1. Концентрации упариваемого раствора	166
4.1.2. Температуры кипения растворов	167
4.1.3. Полезная разность температур	170
4.1.4. Определение тепловых нагрузок	170
4.1.5. Выбор конструкционного материала	171
4.1.6. Расчет коэффициентов теплопередачи	171
4.1.7. Распределение полезной разности температур	175
4.1.8. Уточненный расчет поверхности теплопередачи	176
4.2. Определение толщины тепловой изоляции	177
4.3. Расчет барометрического конденсатора	178
4.3.1. Расход охлаждающей воды	178
4.3.2. Диаметр конденсатора	178
4.3.3. Высота барометрической трубы	178
4.4. Расчет производительности вакуум-насоса	179
4.5. Расчет оптимального числа корпусов многокорпусной установки	180
<i>Приложения</i>	
Приложение 4.1. Типы трубчатых выпарных аппаратов	182
Приложение 4.2. Основные размеры выпарных аппаратов	182
Приложение 4.3. Поверхностное натяжение и плотность некоторых водных растворов	186
Приложение 4.4. Вязкость некоторых водных растворов	186
Приложение 4.5. Температурные депрессии водных растворов при атмосферном давлении	187
Приложение 4.6. Основные размеры барометрических конденсаторов	187
Приложение 4.7. Техническая характеристика вакуум-насосов типа ВВН	188
Приложение 4.8. Характеристики осевых циркуляционных насосов для выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора	189
Приложение 4.9. Цена единицы массы выпарных аппаратов	189
<i>Библиографический список</i>	189
Глава 5. Расчет абсорбционной установки	190
<i>Основные условные обозначения</i>	190
<i>Введение</i>	191
5.1. Расчет насадочного абсорбера	192
5.1.1. Масса поглощаемого вещества и расход поглотителя	192
5.1.2. Движущая сила массопередачи	193
5.1.3. Коэффициент массопередачи	194

5.1.4. Скорость газа и диаметр абсорбера	196
5.1.5. Плотность орошения и активная поверхность насадки	198
5.1.6. Коэффициенты массоотдачи	199
5.1.7. Поверхность массопередачи и высота абсорбера	200
5.1.8. Гидравлическое сопротивление абсорберов	201
5.2. Расчет тарельчатого абсорбера	203
5.2.1. Скорость газа и диаметра абсорбера	204
5.2.2. Коэффициент массопередачи	205
5.2.3. Высота светлого слоя жидкости	207
5.2.4. Коэффициенты массоотдачи	208
5.2.5. Число тарелок абсорбера	208
5.2.6. Выбор расстояния между тарелками и определение высоты абсорбера	208
5.2.7. Гидравлическое сопротивление тарелок абсорбера	209
5.3. Сравнение данных расчета насадочного и тарельчатого абсорберов	210
<i>Приложения</i>	
Приложение 5.1. Конструкции колонных аппаратов	211
Приложение 5.2. Тарелки колонных аппаратов	225
<i>Библиографический список</i>	225
Глава 6. Расчет ректификационной установки	225
<i>Основные условные обозначения</i>	225
<i>Введение</i>	226
6.1. Расчет насадочной ректификационной колонны непрерывного действия	227
6.1.1. Материальный баланс колонны и рабочее флегмовое число	228
6.1.2. Скорость пара и диаметр колонны	230
6.1.3. Высота насадки	232
6.1.4. Гидравлическое сопротивление насадки	236
6.2. Расчет тарельчатой ректификационной колонны непрерывного действия	237
6.2.1. Скорость пара и диаметр колонны	237
6.2.2. Высота колонны	238
6.2.3. Высота светлого слоя жидкости на тарелке и паросодержание барботажного слоя	239
6.2.4. Коэффициенты массопередачи и высота колонны	240
6.2.5. Гидравлическое сопротивление тарелок колонны	244
6.3. Выбор оптимального варианта ректификационной установки	245
6.4. Расчет ректификационной установки периодического действия	248
6.4.1. Флегмовое число	249
6.4.2. Материальный баланс колонны	251
<i>Библиографический список</i>	252
Глава 7. Расчет экстракционной установки	253
<i>Основные условные обозначения</i>	253
<i>Введение</i>	253
7.1. Расчет экстракционных аппаратов	255
7.1.1. Скорость осаждения капель	255
7.1.2. Скорости захлебывания в противоточных экстракционных колоннах	257
7.1.3. Удерживающая способность	258
7.1.4. Размер капель	258
7.1.5. Массопередача в экстракционных аппаратах	260
7.1.6. Размер отстойных зон	261
7.2. Пример расчета распылительной колонны	261
7.3. Пример расчета роторно-дискового экстрактора	268
<i>Библиографический список</i>	272
Глава 8. Расчет адсорбционной и ионообменной установок	273
<i>Основные условные обозначения</i>	273

<i>Введение</i>	273
8.1. Расчет рекуперационной адсорбционной установки с неподвижным слоем адсорбента	274
8.1.1. Изотерма адсорбции паров метанола на активном угле	275
8.1.2. Диаметр и высота адсорбера	276
8.1.3. Коэффициент массопередачи	277
8.1.4. Продолжительность адсорбции. Выходная кривая. Профиль концентрации в слое адсорбента	278
8.1.5. Материальный баланс	279
8.1.6. Вспомогательные стадии цикла	280
8.2. Расчет ионообменной установки	280
8.2.1. Расчет односекционной катионообменной колонны	281
8.2.2. Расчет многосекционной катионообменной колонны	285
Приложение 8.1. Конструкции и области применения аппаратов для адсорбции и ионного обмена	287
Приложение 8.2. Характеристики промышленных сорбентов	289
<i>Библиографический список</i>	291
Глава 9. Расчет сушильной установки	292
<i>Основные условные обозначения</i>	292
<i>Введение</i>	292
9.1. Расчет барабанной сушилки	293
9.1.1. Параметры топочных газов, подаваемых в сушилку	294
9.1.2. Параметры отработанных газов. Расход сушильного агента	296
9.1.3. Определение основных размеров сушильного барабана	297
9.2. Расчет сушилки с псевдооживленным слоем	303
9.2.1. Расход воздуха, скорость газов, диаметр сушилки	304
9.2.2. Высота псевдооживленного слоя	306
9.2.3. Гидравлическое сопротивление сушилки	310
<i>Библиографический список</i>	310
Глава 10. Расчет кристаллизационной установки	311
<i>Основные условные обозначения</i>	311
<i>Введение</i>	311
10.1. Расчет кристаллизационного аппарата с псевдооживленным слоем кристаллов	313
10.1.1. Материальный и тепловой балансы кристаллизации	313
10.1.2. Определение высоты псевдооживленного слоя	313
10.2. Расчет вакуум-кристаллизатора	314
10.2.1. Концентрация раствора на выходе из кристаллизатора	315
10.2.2. Определение рабочей высоты кристаллорастителя	315
10.2.3. Давление в испарителе, производительность установки по кристаллической фазе, расход испаряемой воды	316
10.2.4. Диаметр кристаллорасторителя	317
10.2.5. Основные параметры испарителя	318
<i>Библиографический список</i>	318
Глава 11. Расчет установок мембранного разделения	319
<i>Основные условные обозначения</i>	319
<i>Введение</i>	319
11.1. Установка обратного осмоса	320
11.1.1. Степень концентрирования на ступени обратного осмоса	320
11.1.2. Выбор рабочей температуры и перепада давления через мембрану	321
11.1.3. Выбор мембраны	321
11.1.4. Приближенный расчет рабочей поверхности мембран	323

11.1.5. Выбор аппарата и определение его основных характеристик	324
11.1.6. Секционирование аппаратов в установке	326
11.1.7. Расчет наблюдаемой селективности мембран	328
11.1.8. Уточненный расчет поверхности мембран	329
11.1.9. Расчет гидравлического сопротивления	330
11.2. Установка ультрафильтрации	332
11.2.1. Выбор рабочей температуры и перепада давления через мембрану	333
11.2.2. Выбор мембраны	334
11.2.3. Приближенный расчет рабочей поверхности мембран	335
11.2.4. Выбор аппарата и определение его основных характеристик	337
11.2.5. Расчет наблюдаемой селективности мембран	340
11.2.6. Уточненный расчет поверхности мембран	341
11.2.7. Расчет гидравлического сопротивления	341
11.3. Установка мембранного разделения газовых смесей	343
11.3.1. Выбор рабочих давлений и температуры	343
11.3.2. Выбор мембраны	344
11.3.3. Выбор типа аппарата. Расчет расхода потоков, их концентраций и рабочей поверхности мембран	344
<i>Приложения</i>	346
Приложение 11.1. Некоторые физико-химические свойства водных растворов электролитов при 25 °С	346
Приложение 11.2. Химическая теплота гидратации ионов при бесконечном разбавлении и температуре 25 °С	346
<i>Библиографический список</i>	350
Глава 12. Расчет холодильных установок	350
<i>Основные условные обозначения</i>	350
<i>Введение</i>	351
12.1. Компрессионная паровая холодильная установка	352
12.1.1. Определение холодильной мощности и температурного режима установки	353
12.1.2. Расчет холодильного цикла	356
12.1.3. Подбор холодильного оборудования	358
12.1.4. Расчет контура хладоносителя	363
12.1.5. Расчет системы оборотного водоохлаждения	365
12.1.6. Расчет тепловой изоляции	368
12.1.7. Определение параметров рабочего режима холодильной установки	368
12.1.8. Энергетическая эффективность установки	371
12.2. Абсорбционная холодильная установка	377
12.2.1. Расчет цикла абсорбционной холодильной машины	378
12.2.2. Подбор оборудования	382
12.2.3. Энергетическая эффективность установки	383
12.3. Сравнительный технико-экономический анализ компрессионной и абсорбционной холодильных машин	386
<i>Приложения</i>	
Приложение 12.1. Диаграмма $i-x$ для водоаммиачного раствора	389
Приложение 12.2. Диаграмма $i-lg P$ для аммиака	390
<i>Библиографический список</i>	392
Глава 13. Механические расчеты основных узлов и деталей химических аппаратов	392
<i>Основные условные обозначения</i>	392
<i>Введение</i>	392
13.1. Общие сведения	393
13.2. Расчет толщины обечаек	395
13.3. Расчет толщины днища	398
13.4. Штуцера и фланцы	399

13.5. Опоры аппаратов	402
13.6. Вертикальные валы перемешивающих устройств	405
13.7. Основные элементы кожухотрубчатых аппаратов	406
13.8. Расчет барабанов	409
<i>Библиографический список</i>	411
Глава 14. Графическое оформление курсового проекта	412
14.1. Общие требования	412
14.2. Технологические схемы	415
14.3. Основные требования к чертежам общего вида	424

ПРИЛОЖЕНИЯ 442

Приложение 1. Установка выпарная трехкорпусная	445
Приложение 2. Установка абсорбционная	447
Приложение 3. Установка ректификационная	449
Приложение 4. Установка экстракционная	451
Приложение 5. Установка адсорбционная	453
Приложение 6. Установка сушильная	455
Приложение 7. Установка холодильная аммиачная	457
Приложение 8. Установка обратного осмоса с доупариванием концентрата	459
Приложение 9. Теплообменник «труба в трубе»	461
Приложение 10. Конденсатор	463
Приложение 11. Кипятильник	464
Приложение 12. Аппарат выпарной с естественной циркуляцией и вынесенной греющей камерой	467
Приложение 13. Аппарат выпарной с естественной циркуляцией, вынесенной греющей камерой и зоной кипения	468
Приложение 14. Аппарат выпарной с принудительной циркуляцией, соосной греющей камерой и вынесенной зоной кипения	470
Приложение 15. Аппарат выпарной с естественной циркуляцией, соосной греющей камерой и солеотделением	472
Приложение 16. Колонна абсорбционная диаметром 1000 мм	474
Приложение 17. Колонна ректификационная диаметром 800 мм с колпачковыми тарелками	476
Приложение 18. Колонна ректификационная диаметром 1000 мм с клапанными тарелками	478
Приложение 19. Колонна ректификационная диаметром 2000 мм с клапанно-ситчатыми тарелками	480
Приложение 20. Колонна ректификационная диаметром 2600 мм с ситчатыми тарелками многопоточная	482
Приложение 21. Экстрактор роторно-дисковый диаметром 1500 мм	484
Приложение 22. Адсорбер. Чертеж общего вида	487
Приложение 23. Корпус барабанной сушилки	489
Приложение 24. Аппарат обратного осмоса с рулонными элементами	491
Приложение 25. Аппарат ультрафильтрации плоскорамного типа	493