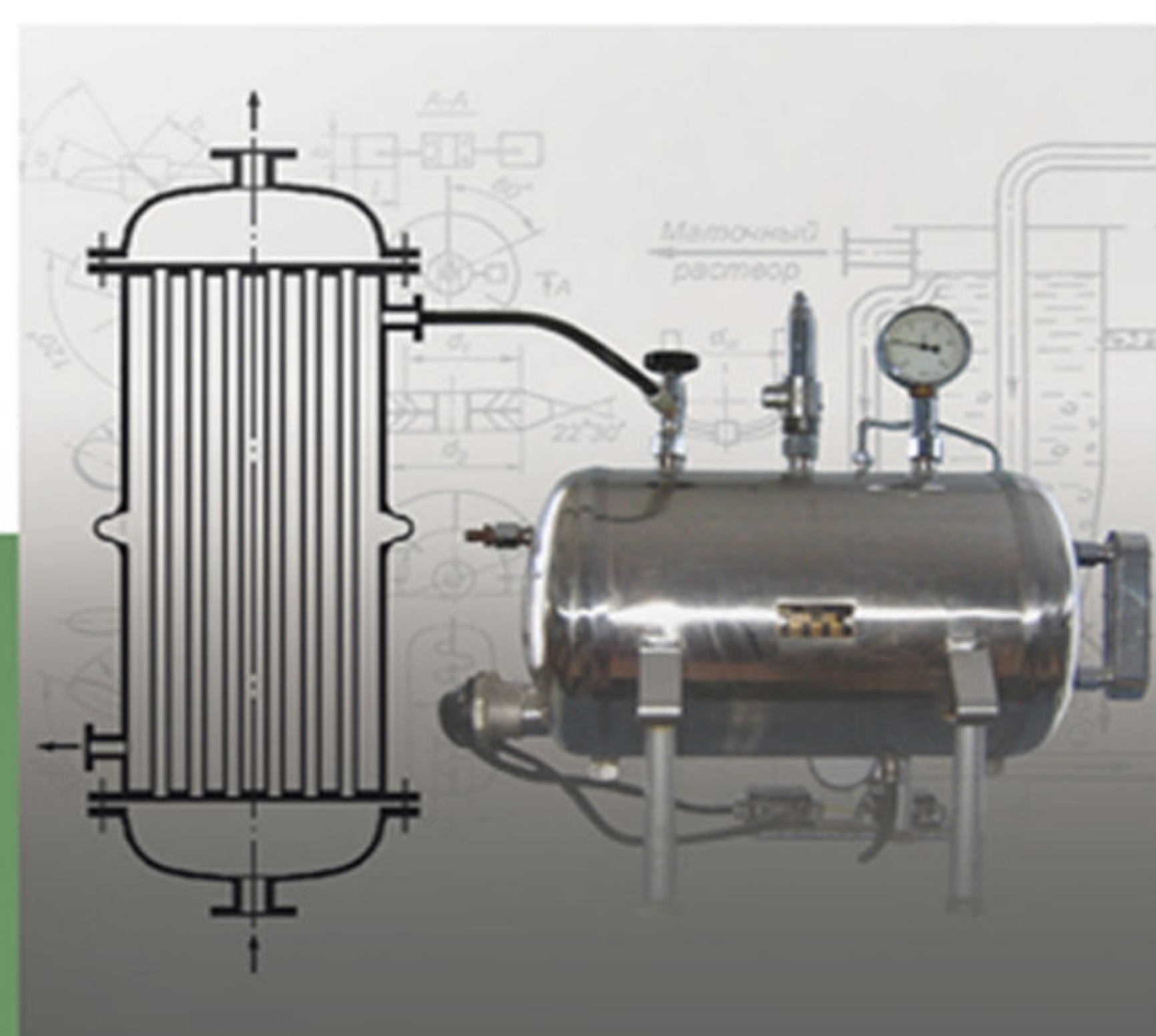


ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

АЛЬБОМ ТИПОВОЙ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

(ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ
АППАРАТОВ)

Н. Н. Смирнов
В. М. Барабаш
К. А. Карпов



E.LANBOOK.COM

Н. Н. СМЕРНОВ,
В. М. БАРАБАШ,
К. А. КАРПОВ

АЛЬБОМ ТИПОВОЙ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ (ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АППАРАТОВ)

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Под общей редакцией Н. Н. Смирнова

Издание пятое, стереотипное



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР
2024

УДК 60.02
ББК 35я73

С 50 Смирнов Н. Н. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов) : учебное пособие для вузов / Н. Н. Смирнов, В. М. Барабаш, К. А. Карпов ; под общей редакцией Н. Н. Смирнова. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 84 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-507-48587-1

В пособии представлены принципиальные схемы типовых химических аппаратов и их элементов, которые наиболее широко используются в промышленной практике. Приводится описание устройства оборудования, принцип его действия и области применения химической аппаратуры. Книга предназначена для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям: «Химические технологии», «Промышленная экология и биотехнологии», «Машиностроение», «Технологии легкой промышленности», «Управление в технических системах». Материал пособия может быть использован на лекциях, групповых и лабораторных занятиях, а также во время самостоятельной работы и подготовки студентов.

УДК 60.02
ББК 35я73

Рецензенты:

В. Н. СОКОЛОВ — доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ;

А. Н. ВЕРИГИН — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой машин и аппаратов химических производств Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

Обложка
Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2024
© Н. Н. Смирнов, В. М. Барабаш,
К. А. Карпов, 2024
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	6
1.1. Пылеосадительная камера	8
1.2. Отстойник непрерывного действия с гребковой мешалкой	8
1.3. Циклон	9
1.4. Батарейный циклон и его элементы	10
1.5. Центрифуга отстойного типа непрерывного действия с горизонтальным валом и шнековой выгрузкой осадка	11
1.6. Центрифуга отстойного типа периодического действия с горизонтальным валом и ручной выгрузкой осадка	12
1.7. Центрифуга фильтрующего типа непрерывного действия с выгрузкой осадка пульсирующим поршнем	13
1.8. Жидкостной сепаратор тарельчатого типа	13
1.9. Трубчатая сверхцентрифуга периодического действия	14
1.10. Гидроциклон	15
1.11. Закрытый нутч-фильтр периодического действия и ручной выгрузкой осадка	15
1.12. Барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия с наружной фильтрующей поверхностью и ножевым съемом осадка	16
1.13. Ленточный вакуум-фильтр непрерывного действия	18
1.14. Дисковый вакуум-фильтр непрерывного действия	19
1.15. Рамный фильтр-пресс периодического действия и ручной выгрузкой осадка	20
1.16. Автоматизированный фильтр-пресс непрерывного действия с горизонтальными камерами	21
1.17. Рукавный фильтр с механическим встряхиванием	23
1.18. Барботажный (пенный) пылеуловитель непрерывного действия	24
1.19. Скруббер Вентури непрерывного действия	25
1.20. Трубчатый электрофильтр непрерывного действия	26
1.21. Основные конструктивные типы мешалок	26
1.22. Аппарат для перемешивания маловязких систем	28
1.23. Аппарат для перемешивания высоковязких (неньютоновских) жидкостей	28
1.24. Пневматические (барботажные) перемешивающие устройства	29
2. ТЕПЛОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ	31
2.1. Двухтрубный теплообменник типа «труба в трубе»	33
2.2. Аппарат с греющей рубашкой	33
2.3. Пластинчатый калорифер для нагрева (охлаждения) воздуха	34
2.4. Пластинчатый теплообменник «фильтр-прессного» типа	35
2.5. Спиральный теплообменник	36
2.6. Кожухотрубчатые теплообменники с компенсацией неоднородных температурных удлинений труб и кожуха	37
2.7. Многоходовые (по трубному пространству) кожухотрубчатые теплообменники жесткой конструкции	38
2.8. Многоходовый (по межтрубному пространству) кожухотрубчатый теплообменник	39
2.9. Кожухотрубчатый теплообменник жесткой конструкции	39

2.10. Насадочный теплообменник-конденсатор	40
2.11. Полочные барометрические конденсаторы	41
2.12. Выпарной аппарат с вынесенной циркуляционной трубой и естественной циркуляцией раствора	42
2.13. Выпарной аппарат с вынесенной зоной кипения	43
2.14. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией и вынесенными нагревательной камерой и циркуляционной трубой	43
2.15. Выпарные пленочные аппараты с восходящей и нисходящей пленкой	44
2.16. Роторный пленочный аппарат	45
3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ	47
3.1. Виды насадок	49
3.2. Колпачковая тарелка с капсульными колпачками	50
3.3. Ситчатая переточная тарелка	51
3.4. Клапанная тарелка	52
3.5. Пластинчатая тарелка	52
3.6. Провальная тарелка	53
3.7. Типы интенсивных контактных устройств	54
3.8. Насадочные абсорберы	54
3.9. Пленочный абсорбер	55
3.10. Тарельчатый абсорбер	56
3.11. Распыливающие абсорберы	57
3.12. Роторно-дисковый экстрактор	59
3.13. Ситчатый экстрактор	59
3.14. Распылительные экстракторы	60
3.15. Пульсационные экстракторы	60
3.16. Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента	62
3.17. Адсорбер с псевдоожиженным слоем	62
3.18. Адсорбер с плотным движущимся слоем	63
3.19. Кристаллизатор с псевдоожиженным слоем	64
3.20. Барабанный кристаллизатор	65
3.21. Вальцовый кристаллизатор	65
3.22. Кристаллизатор с мешалкой периодического действия	66
3.23. Камерная сушилка	67
3.24. Вакуумная двухвальцовая сушилка	67
3.25. Барабанная сушилка	68
3.26. Пневматическая сушилка	69
3.27. Распылительная сушилка	70
3.28. Ленточная сушилка	71
3.29. Сушилка с псевдоожиженным слоем	71
3.30. Ионообменный аппарат периодического действия с неподвижным слоем	72
3.31. Ионообменный аппарат с циркулирующим слоем смесительно-отстойного типа	73
3.32. Мембранный аппарат с плоскими камерами	74
3.33. Мембранный аппарат с полыми волокнами	75
3.34. Мембранный аппарат с рулонами	76
Список литературы	77
Предметный указатель	78

ВВЕДЕНИЕ

Для успешного изучения и освоения технологического процесса необходима информация не только о его теоретических основах, но и об инженерном оформлении, главной составной частью которого является конструктивный тип аппарата, принцип устройства и действия, а также условия его работы.

Знание перечисленных выше факторов, их умелое и правильное использование при решении аппаратурно-технологических задач во многом определяет технико-экономический успех организации всего технологического процесса производства.

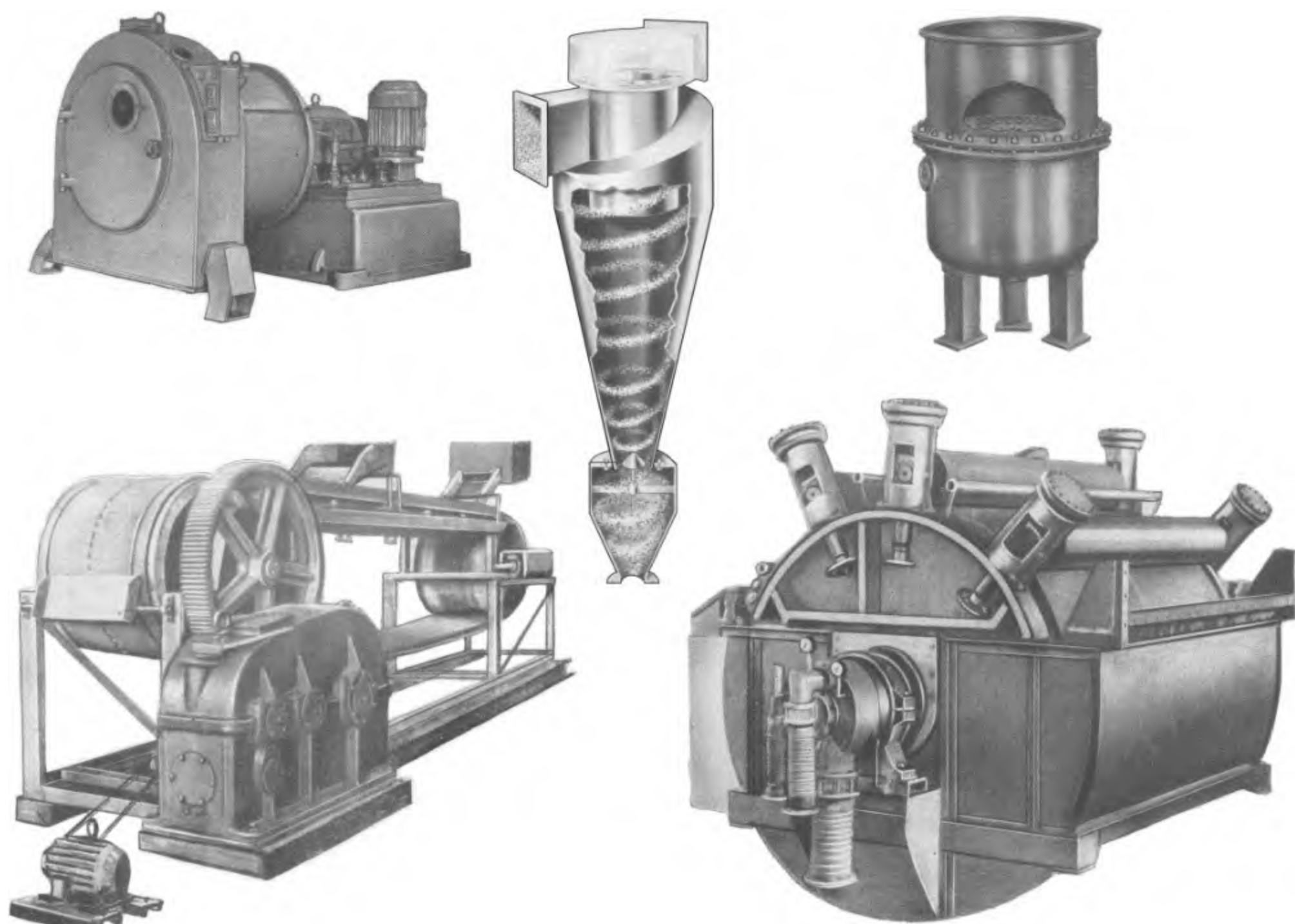
Поэтому овладение знаниями по аппаратам, наиболее широко применяемым в промышленных технологических процессах, является одной из важных и ответственных учебно-методических задач технологической подготовки специалистов для химических отраслей промышленности.

Дополнительную более подробную информацию об устройстве и принципе действия аппаратов, рассматриваемых, в том числе, в данном учебном пособии, а также области их применения в химической промышленности можно получить в учебной литературе по процессам и аппаратам химической технологии, список которой приведен в конце пособия.

При составлении пособия использован многолетний педагогический опыт преподавания затронутых в пособии вопросов в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете) и Санкт-Петербургском государственном инженерно-экономическом университете.

Авторы выражают искреннюю благодарность уважаемым рецензентам: профессору, д-ру техн. наук А. Н. Веригину и профессору, д-ру техн. наук В. Н. Соколову за внимательное прочтение рукописи.

1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ



Многие технологические процессы химической промышленности в той или иной степени связаны с перемещением различных гомогенных и гетерогенных (неоднородных) сред в трубопроводах и аппаратах (перемешивание, псевдоожижение, диспергирование, эмульгирование), а также с разделением неоднородных смесей (осаждение, фильтрование). Движущей силой таких процессов являются: силы, возникающие в результате гравитации, центробежного движения, разности давлений, а также воздействия электрического или акустического полей. Скорость всех указанных физических процессов определяется законами гидромеханики. Поэтому такие процессы называют *гидромеханическими*.

Гидромеханические процессы, связанные с разделением неоднородных систем, играют большую роль в химической технологии при подготовке сырья и очистке готовых продуктов, при очистке сточных вод и отходящих газов, а также при выделении ценных компонентов. Наибольшее распространение получили рассмотренные ниже процессы.

Осаждение – процесс разделения, при котором взвешенные в жидкости или газе твердые или жидкие частицы отделяются от сплошной фазы под

действием различных сил. Этот метод основан на разности плотностей разделяемых компонентов (фаз).

Отстаивание – осаждение, происходящее под действием сил тяжести. Применяется для предварительного, грубого разделения неоднородных систем.

Циклонирование (циклонный процесс) – процесс разделения неоднородных систем газ—твердое тело (*газовзвесей*) в неподвижном аппарате, производимый путем осаждения твердых частиц в поле центробежных сил (при сообщении газовзвеси вращательного движения). Применяется для сухой очистки газов (воздуха).

Центрифугирование – процесс разделения суспензий и эмульсий в поле центробежных сил во вращающихся барабанах центрифуг. Под действием этих сил осаждение сочетается с уплотнением образующегося осадка.

Фильтрование – процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные в среде твердые частицы. Оно осуществляется под действием сил давления и применяется для более тонкого разделения суспензий и пылей, чем путем осаждения. В случаях, когда разность давлений создается центробежными силами, процесс называют *центробежным фильтрованием*, где под действием этих сил фильтрование сочетается с уплотнением и механической сушкой осадка.

Мокрая очистка газов – процесс разделения, основанный на улавливании взвешенных в газе частиц жидкостью. Улавливание осуществляется под действием сил инерции или сил тяжести и применяется для очистки газов и разделения суспензий. При обработке суспензий мокрое разделение используют в комбинации с другими способами разделения (промывка осадков в процессах отстаивания и фильтрования).

В химической технологии неоднородные системы имеют разнообразное физическое состояние дисперсионной среды (внешней, сплошной фазы) и большую неоднородность по агрегатному состоянию, размерам и формам дисперсной (внутренней) фазы. Все эти факторы обуславливают необходимость иметь достаточно большое разнообразие конструктивных типов аппаратов. Они выбираются исходя из особенностей того или иного гидромеханического процесса, обеспечивая при этом наиболее эффективные условия его протекания. Эти аппараты различаются степенью сложности своего устройства, а также условиями работы и носят название по типу процесса: осадители, отстойники, циклоны, центрифуги, сепараторы, фильтры, аппараты с мешалкой и т. п.

Следует отметить, что гидромеханические закономерности движения неоднородных сред в значительной степени влияют на процессы тепло- и массопереноса, а также химических реакций в промышленных аппаратах.

1.1. ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА

В пылеосадительных камерах (рис. 1.1) проводят предварительную грубую очистку сильно запыленных газов под действием сил тяжести (степень очистки 30–40 %).

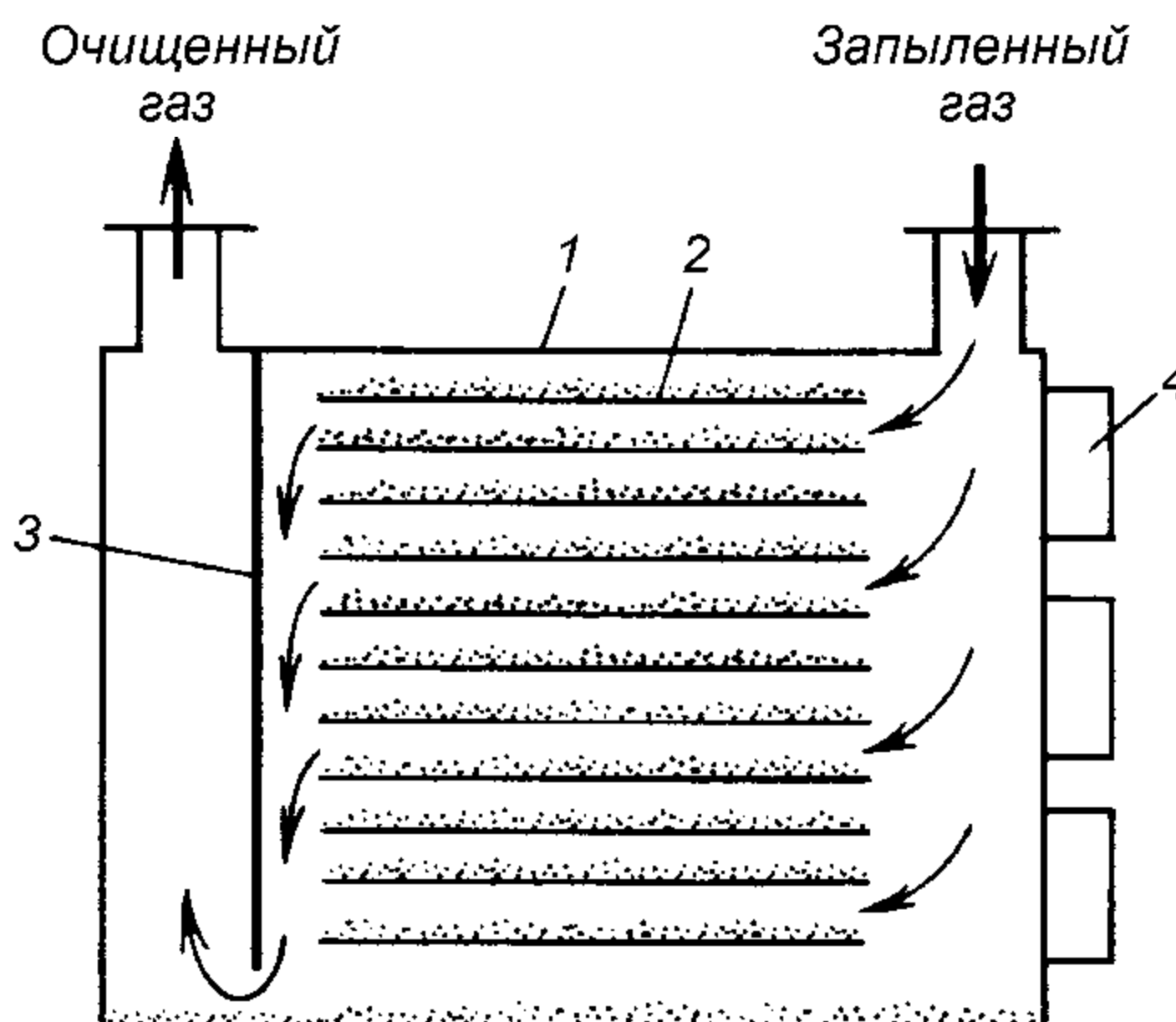


Рис. 1.1. Принципиальная схема пылеосадительной камеры:

1 – корпус; 2 – полки; 3 – отражательная перегородка; 4 – люки для удаления пыли

Запыленный газ поступает в корпус камеры 1, в котором установлены горизонтальные полки 2. Газ проходит в каналах между полками, при этом на поверхности последних осаждаются твердые частицы. Пройдя полки, газ огибает вертикальную отражательную перегородку 3, обеспечивающую равномерное распределение газа между полками, и удаляется из камеры. Осевшие на полках твердые частицы периодически удаляются с помощью скребков через люки 4 или же смываются водой.

1.2. ОТСТОЙНИК НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ГРЕБКОВОЙ МЕШАЛКОЙ

Отстаивание проводят в аппаратах, называемых *отстойниками*. Отстойники для сгущения суспензий называют *сгустителями*, а для классификации твердых частиц на фракции – *классификаторами*.

Различают отстойники непрерывного, полунепрерывного и периодического действия. В первых все процессы протекают непрерывно, в последних – периодически; в отстойниках полунепрерывного действия подача разделяемой смеси и вывод очищенной сплошной фазы проводятся непрерывно, а удаление сгущенной дисперсной фазы (осадка, шлама и т. п.) – периодически.

Схема отстойника непрерывного действия с гребковой мешалкой показана на рис. 1.2. Эти аппараты представляют собой цилиндрический резервуар 1 с коническим дном 2. В резервуаре установлена мешалка 3, снабженная гребками, которые непрерывно перемещают осадок к центральному разгрузочному отверстию и одновременно слегка взбалтывают осадок, способствуя его обезвоживанию. Частота вращения мешалки незначительна, поэтому

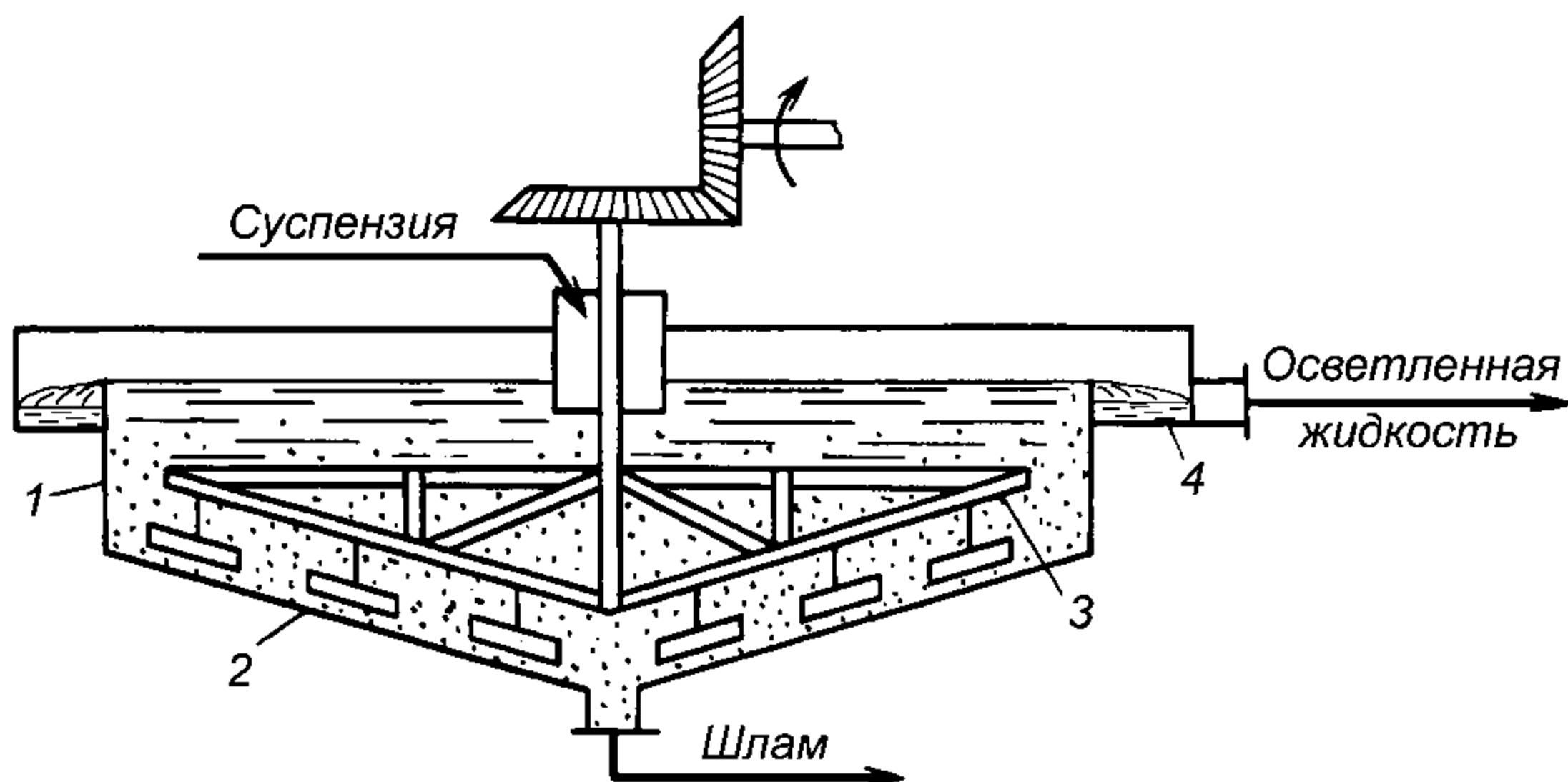


Рис. 1.2. Схема отстойника непрерывного действия с гребковой мешалкой:

1 – корпус; 2 – днище; 3 – гребковая мешалка; 4 – кольцевой желоб

процесс осаждения не нарушается. Суспензия непрерывно поступает по трубе в середине верхней части резервуара. Осветленная жидкость переливается в кольцевой желоб 4 и удаляется через штуцер. Осадок (шлам), представляющий собой сгущенную суспензию, удаляется через штуцер в коническом днище с помощью диафрагмового насоса.

1.3. ЦИКЛОН

Процесс циклонирования получил свое название от *циклонов* – аппаратов для разделения неоднородных систем – газовзвесей под действием центробежной силы. Позднее начали использовать работающие по тому же принципу аппараты для разделения суспензий – *гидроциклоны* (см. подраздел 1.10). Применяют циклонный процесс и для отделения газа от капель жидкости.

Газовзвесей образуются во многих процессах химической технологии, например: при сушке твердых материалов в потоке нагретых газов, их обработке в псевдоожиженном слое, измельчении и классификации, обжиге, пневмотранспорте и др. Разделение газовзвесей в первую очередь диктуется необходимостью обеспечения чистоты воздуха в производственных помещениях и окружающей среде. Этот процесс также может быть эффективен по экономическим соображениям (улавливание ценных продуктов).

В промышленности применяют циклоны разнообразных конструкций. Наиболее распространены циклоны, разработанные в ОАО «НИИОГАЗ». На рис. 1.3, а показан циклон конструкции НИИОГАЗ с винтовой поверхностью верхней крышки, что обеспечивает лучшую работу аппарата. В общем случае циклон (рис. 1.3, а и б) состоит из цилиндрического корпуса 1 с коническим днищем 2. Запыленный газ вводится в корпус 1 через штуцер тангенциально со скоростью 20–30 м/с, при этом приобретает вращательное движение вокруг трубы для вывода очищенного газа 4, расположенной по оси аппарата. Частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам корпуса. В аппарате создаются два спиральных потока: внешний поток запыленного газа, который движется вниз вдоль поверхности стенок циклона,

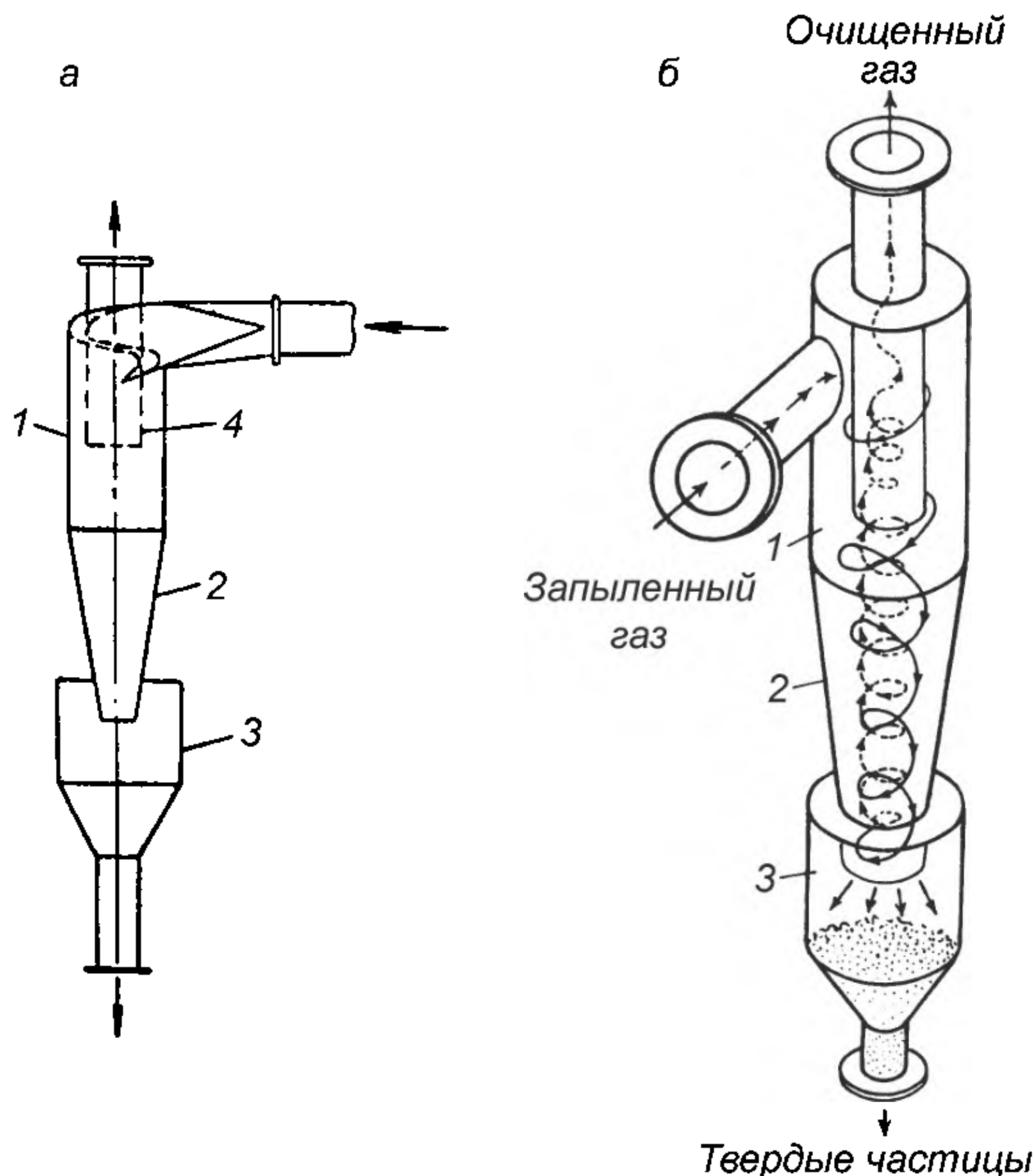


Рис. 1.3. Принципиальные схемы:

а – циклон конструкции НИИОГАЗ; *б* – устройство циклона; 1 – цилиндрический корпус; 2 – коническое днище; 3 – разгрузочный бункер; 4 – выхлопная труба

и внутренний поток очищенного газа, который поднимается вверх, располагаясь вблизи оси аппарата, и удаляется из него. Твердые частицы концентрируются вблизи стенок и переносятся потоком в разгрузочный бункер 3.

1.4. БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

При больших расходах запыленного газа для увеличения производительности аппарата применяют батарейный циклон, в котором несколько циклонных элементов объединены в одном корпусе (рис. 1.4, *а* и *б*) и работают параллельно.

В цилиндрическом корпусе 1 расположены циклонные элементы 3, герметично закрепленные в трубных решетках 4. Запыленный газ через входной штуцер поступает в газораспределительную камеру 2, а из нее – одновременно в циклонные элементы, в кольцевое пространство между корпусом элемента 3 и патрубком для вывода очищенного газа. В этом пространстве размещены лопастные устройства 6, которые придают газовому потоку вращательное движение. Твердые частицы отбрасываются к стенкам, движутся вниз по спирали и сыпаются из всех элементов в общий бункер 5. Очищенный газ выходит из элементов по трубам в общую камеру и удаляется из аппарата через верхний штуцер.

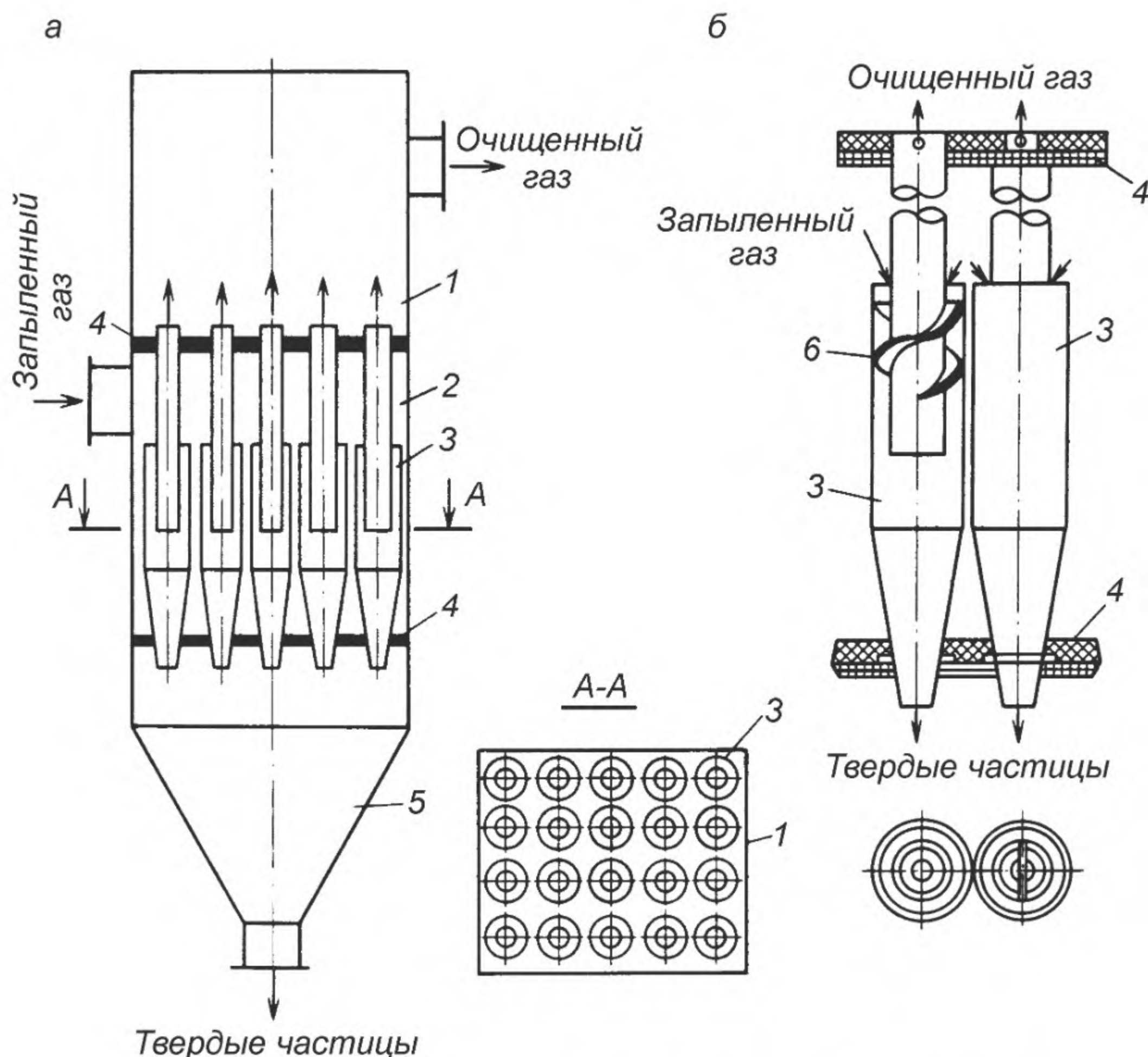


Рис. 1.4. Схемы батарейного циклона (а) и его элементов (б):

1 – корпус; 2 – газораспределительная камера; 3 – корпуса циклонных элементов; 4 – трубные решетки; 5 – бункер для частиц пыли; 6 – лопастные устройства для закручивания газового потока внутри элементов

1.5. ЦЕНТРИФУГА ОТСТОЙНОГО ТИПА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ВАЛОМ И ШНЕКОВОЙ ВЫГРУЗКОЙ ОСАДКА

Отстойные (осадительные) центрифуги применяют для разделения суспензий путем осаждения дисперсных частиц под действием центробежной силы. На рис. 1.5 показана горизонтальная отстойная центрифуга непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка.

Аппарат состоит из конического барабана 1, вращающегося на полом внешнем валу 3, и внутреннего барабана 2 со шнековыми лопастями 4, вращающегося на полом внутреннем валу 5 с меньшей частотой, чем частота первого. Суспензия вводится по трубе во внутренний барабан 2 и через окна 7 выбрасывается в отстойный барабан 1, где происходит ее разделение. Осветленная жидкость (*фугат*) перетекает через окна в кожух 6 и удаляется из него через патрубок. Осадок перемещается в барабане справа налево с помощью шнека и благодаря различию частот вращения шнека и барабана через окна выбрасывается в кожух 6 и удаляется через патрубок.

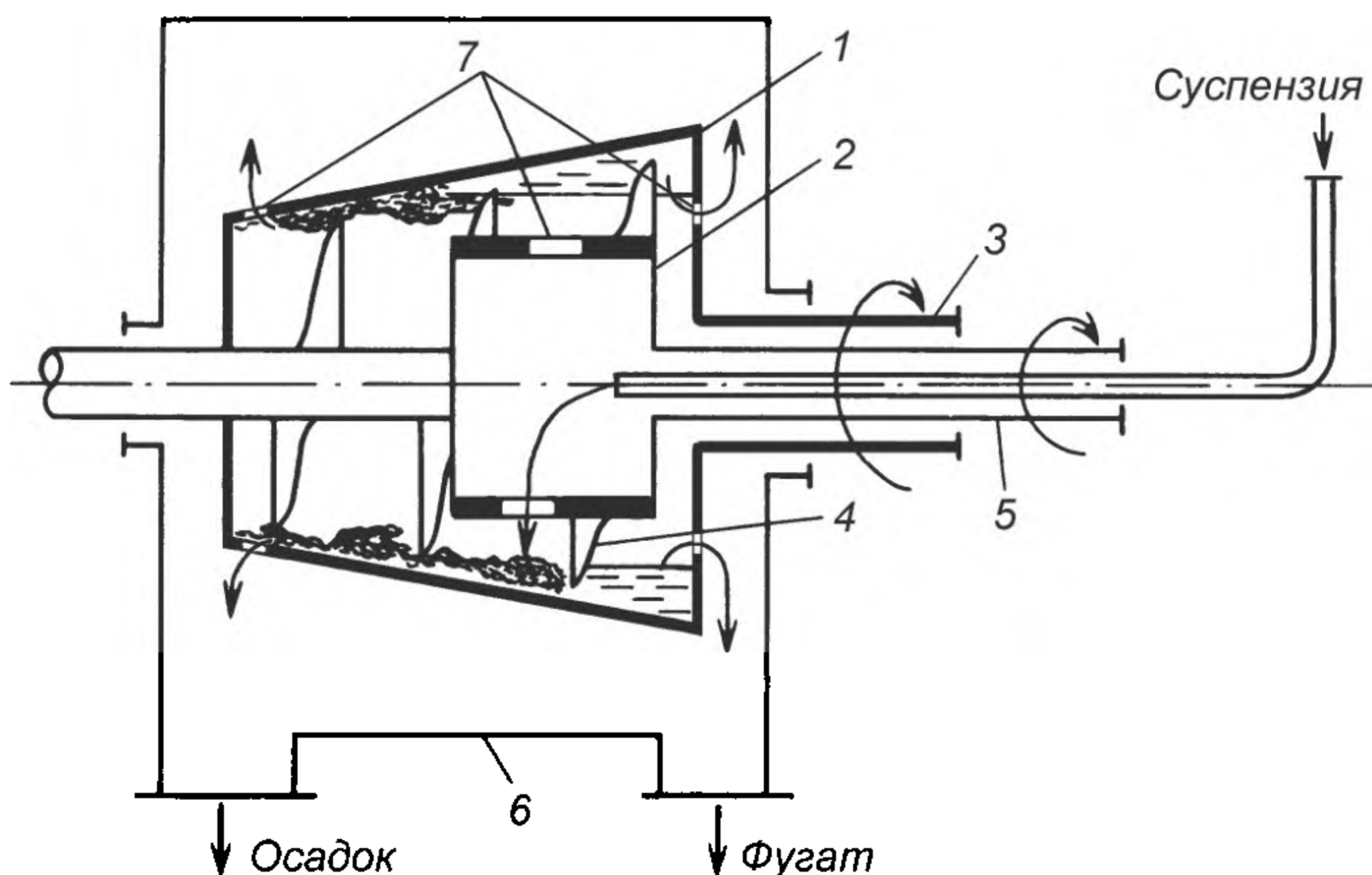


Рис. 1.5. Схема отстойной центрифуги непрерывного действия с горизонтальным валом и шнековой выгрузкой осадка:

1 – конический барабан; 2 – внутренний барабан; 3 – полый внешний вал; 4 – лопасти шнека; 5 – полый внутренний вал; 6 – кожух; 7 – окна

1.6. ЦЕНТРИФУГА ОТСТОЙНОГО ТИПА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ВАЛОМ И РУЧНОЙ ВЫГРУЗКОЙ ОСАДКА

На рис. 1.6 показана схема отстойной центрифуги периодического действия. Основной частью центрифуги является сплошной барабан 2, насаженный на вращающийся вал 1. Под действием центробежной силы твердые частицы из суспензии отбрасываются к стенкам барабана и отлагаются в виде осадка. Фугат переливается в неподвижный корпус (кожух) 3 и удаляется через патрубок в его нижней части. По окончании отстаивания центрифугу останавливают и выгружают осадок вручную.

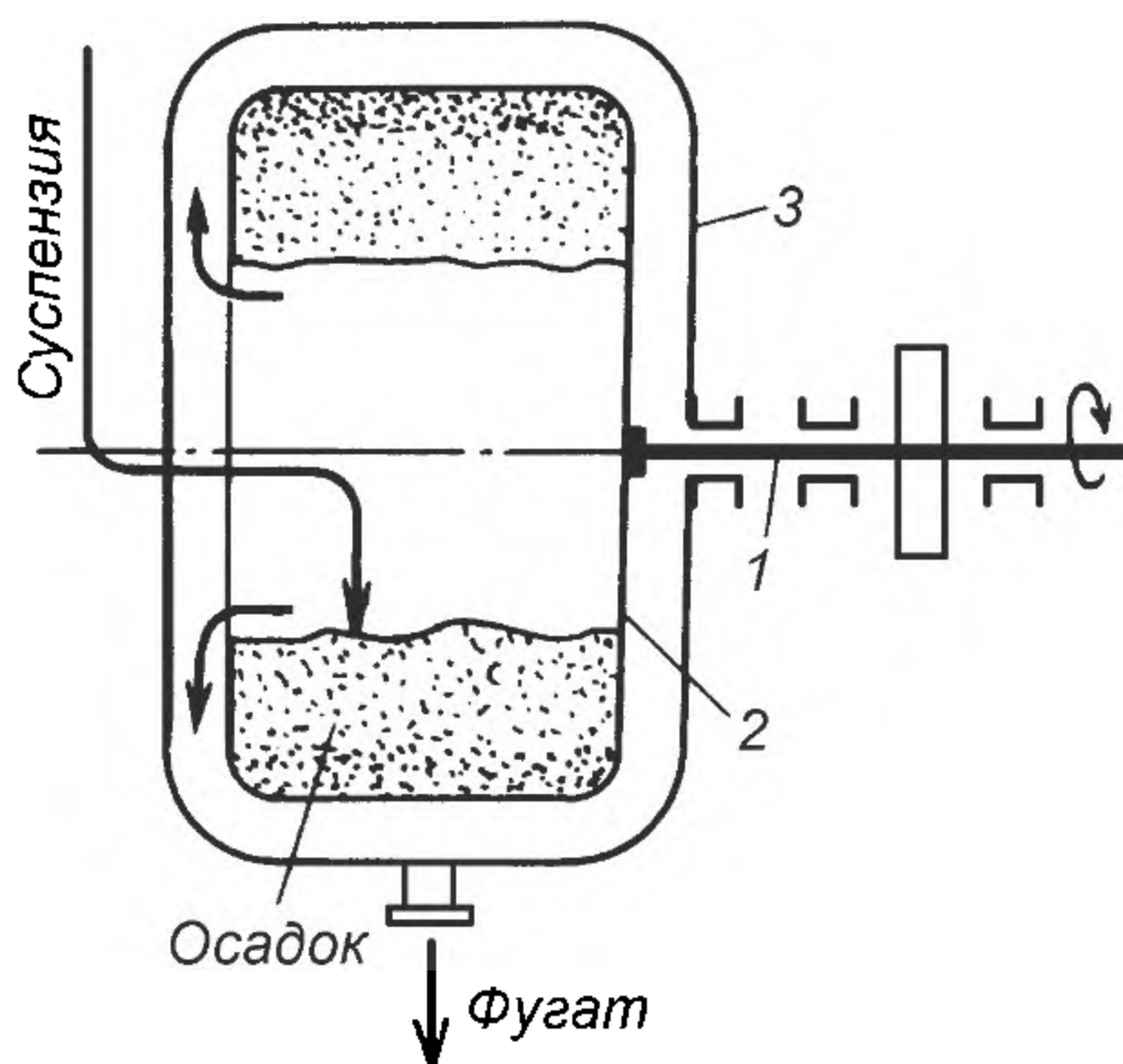


Рис. 1.6. Схема отстойной центрифуги периодического действия с горизонтальным валом и ручной выгрузкой осадка:

1 – вращающийся вал; 2 – барабан; 3 – кожух

1.7. ЦЕНТРИФУГА ФИЛЬТРУЮЩЕГО ТИПА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ВЫГРУЗКОЙ ОСАДКА ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОРШНЕМ

С помощью этих центрифуг (рис. 1.7) разделяют средне- и грубодисперсные суспензии.

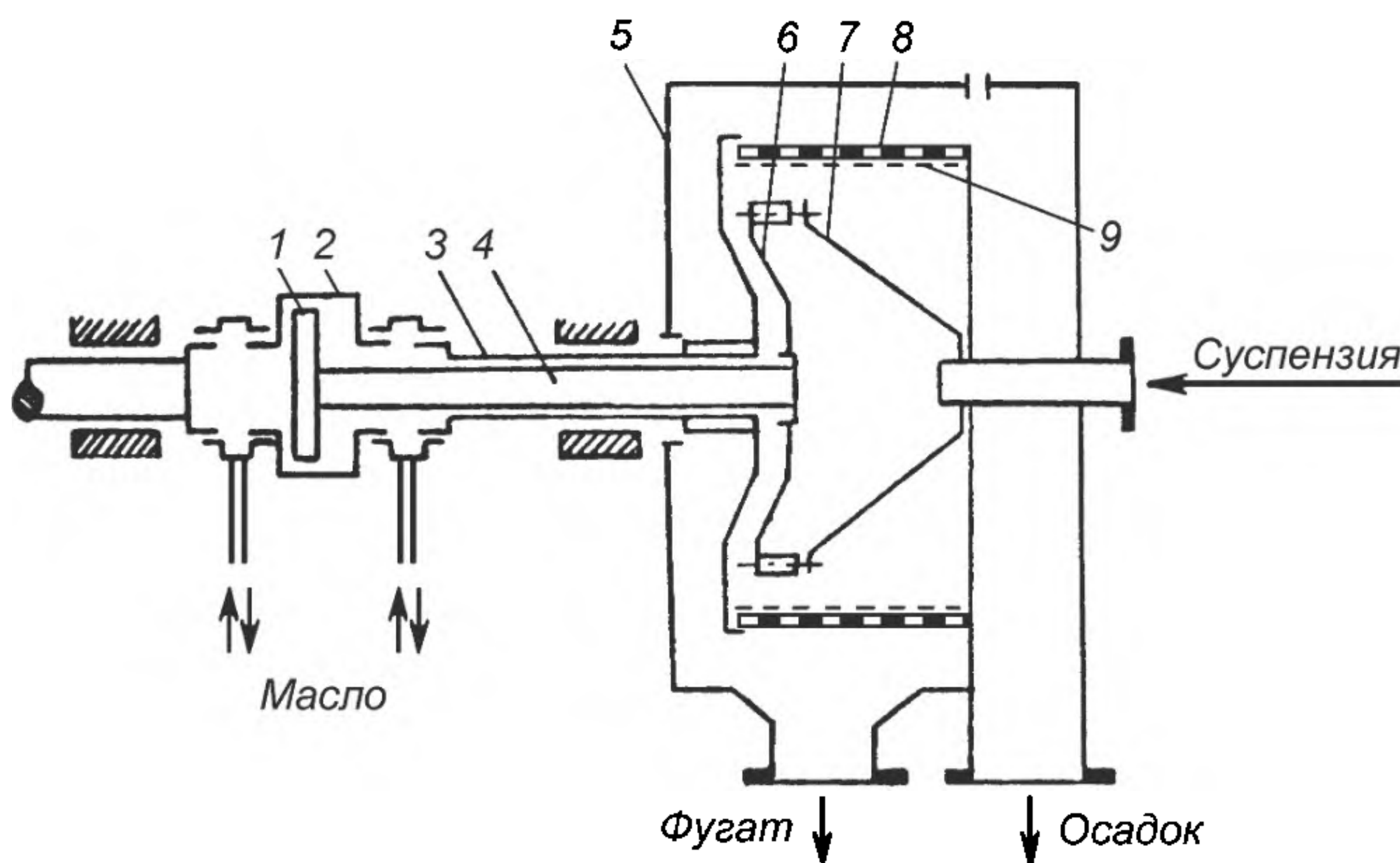


Рис. 1.7. Схема непрерывно действующей фильтрующей центрифуги с пульсирующим поршнем:

1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – полый вал; 4 – шток; 5 – кожух; 6 – поршень-толкатель; 7 – приемный конус; 8 – барабан; 9 – сито

В фильтрующей центрифуге с выгрузкой осадка пульсирующим поршнем суспензия подается непрерывно, а осадок периодически выталкивается поршнем-толкателем из перфорированного барабана 8, установленного на горизонтальном валу. Внутри барабана вдоль его оси перемещается поршень-толкатель 6, укрепленный на конце штока 4. Шток находится внутри полого вала 3, вращается вместе с ним и одновременно совершает возвратно-поступательные движения за счет попеременной подачи масла, нагнетаемого шестеренчатым насосом, в правую и левую полости цилиндра 2 сервомеханизма. Суспензия подводится в приемный конус 7 и через отверстия в нем поступает в барабан, покрытый изнутри металлическим щелевым ситом 9. Откладывающийся на сите осадок перемещается поршнем-толкателем к открытому концу барабана и выгружается из него в кожух 5.

1.8. ЖИДКОСТНОЙ СЕПАРАТОР ТАРЕЛЬЧАТОГО ТИПА

Жидкостные сепараторы (рис. 1.8) являются аппаратами отстойного типа непрерывного действия с вертикальным ротором, вращающимся со скоростью 5000–7000 об/мин. Они предназначены для разделения эмульсий, а также для осветления жидкостей.

Эмульсия подается по центральной трубе 1 в нижнюю часть ротора, откуда через отверстия в тарелках 2 распределяется тонкими слоями между ними. Более тяжелая жидкость, перемещаясь вдоль поверхности тарелок, отбрасывается центробежной силой к периферии ротора и отводится через

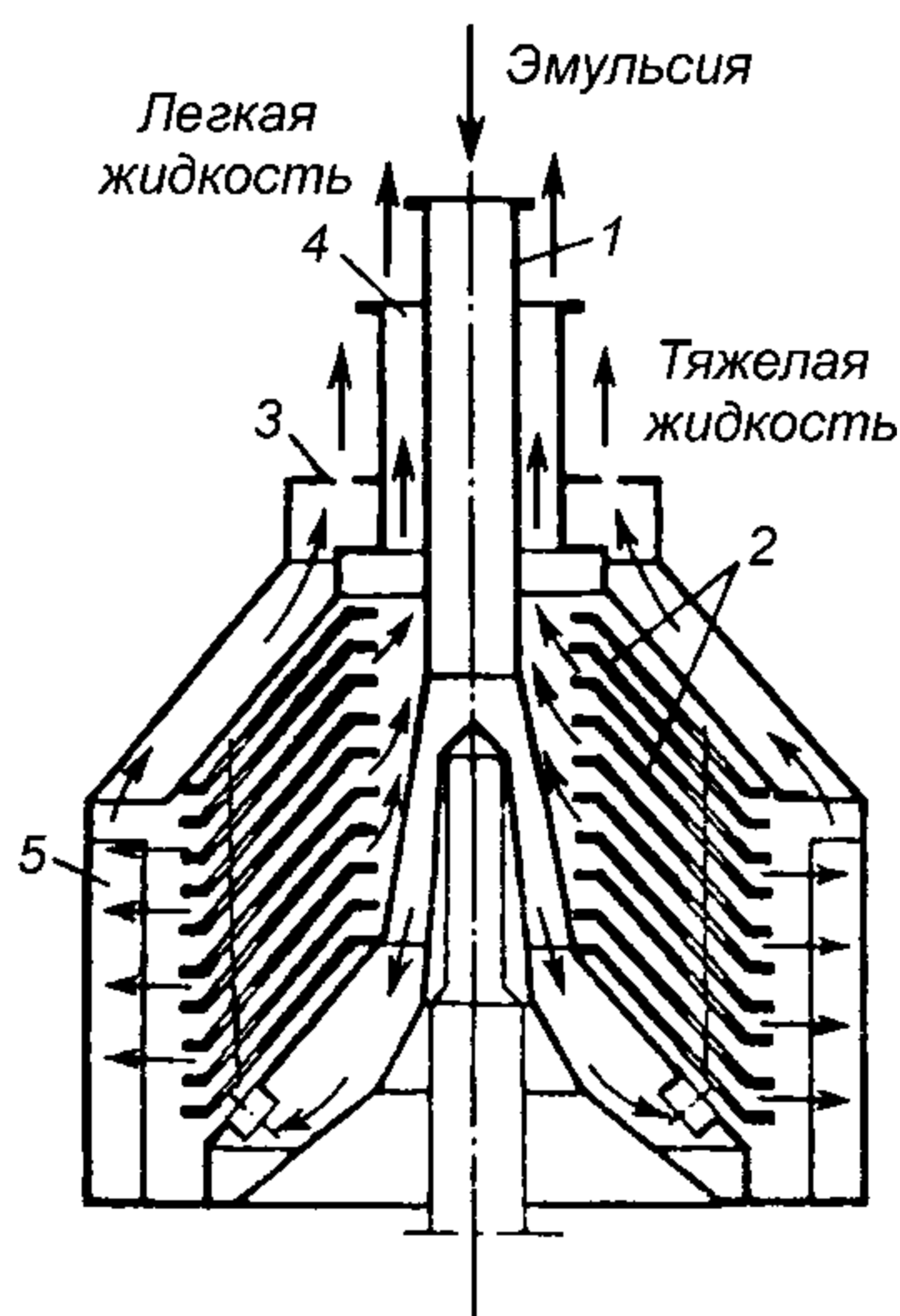


Рис. 1.8. Схема жидкостного сепаратора тарельчатого типа:

1 – труба для подачи эмульсии; 2 – тарелки; 3 – отверстие для отвода более тяжелой жидкости; 4 – кольцевой канал для отвода более легкой жидкости; 5 – ребра

отверстие 3. Более легкая жидкость перемещается к центру ротора и удаляется через кольцевой канал 4. Для того чтобы жидкость не отставала от вращающегося ротора, он снабжен ребрами 5.

1.9. ТРУБЧАТАЯ СВЕРХЦЕНТРИФУГА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Сверхцентрифуги служат для тонкого разделения неоднородных систем под действием центробежной силы. Схема трубчатой сверхцентрифуги периодического действия для осветле-

ния жидкостей показана на рис. 1.9.

В кожухе 2 вращается трубчатый барабан (ротор) 1 со сплошными стенками, внутри которого имеются радиальные лопасти 3, препятствующие отставанию жидкости от стенок барабана при его вращении. Барабан жестко соединен с коническим шпинделем 7, подвешенным на опоре 6, и приводится

во вращение от шкива 5. В нижней части центрифуги установлен подпятник 4, через который в барабан проходит труба для ввода суспензии. Твердые частицы суспензии оседают на стенках барабана, а осветленная жидкость выбрасывается из него через отверстия вверху и удаляется из верхней части кожуха. Осадок удаляют вручную периодически после остановки центрифуги и разборки ротора. Ввиду небольшого рабочего объема подобные центрифуги применяют только для разделения суспензии с небольшим содержанием твердой фазы (не более 1 %).

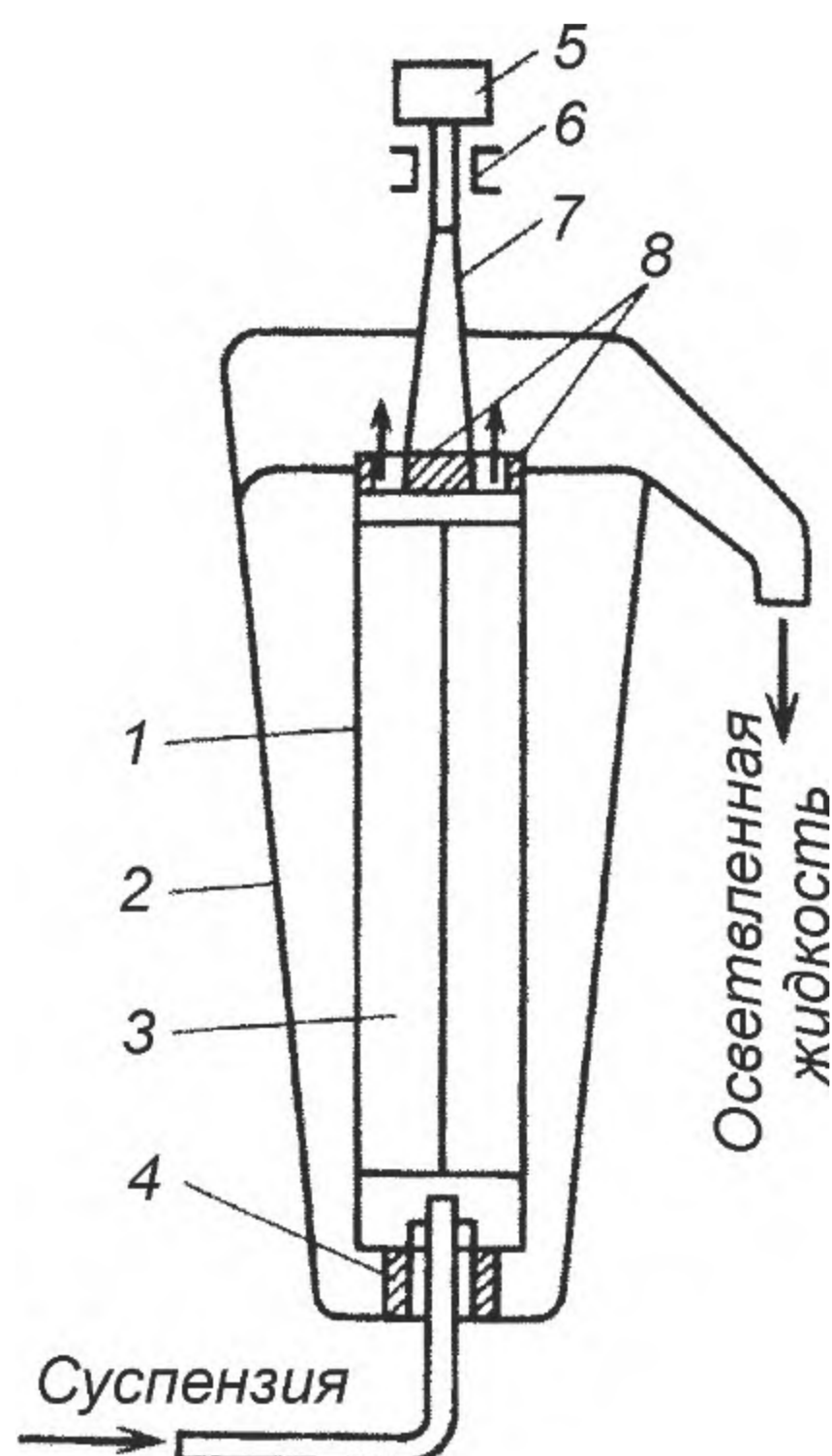


Рис. 1.9. Схема трубчатой сверхцентрифуги периодического действия:

1 – трубчатый барабан (ротор); 2 – кожух; 3 – радиальные лопасти; 4 – подпятник; 5 – шкив; 6 – опора; 7 – шпиндель; 8 – отверстия для вывода осветленной жидкости

1.10. ГИДРОЦИКЛОН

Для разделения суспензий и нестойких эмульсий под действием центробежных сил применяют гидроциклоны (рис. 1.10). Эти аппараты характеризуются простотой устройства и непрерывностью действия, обеспечивая сравнительно высокую степень разделения (более 80 %).

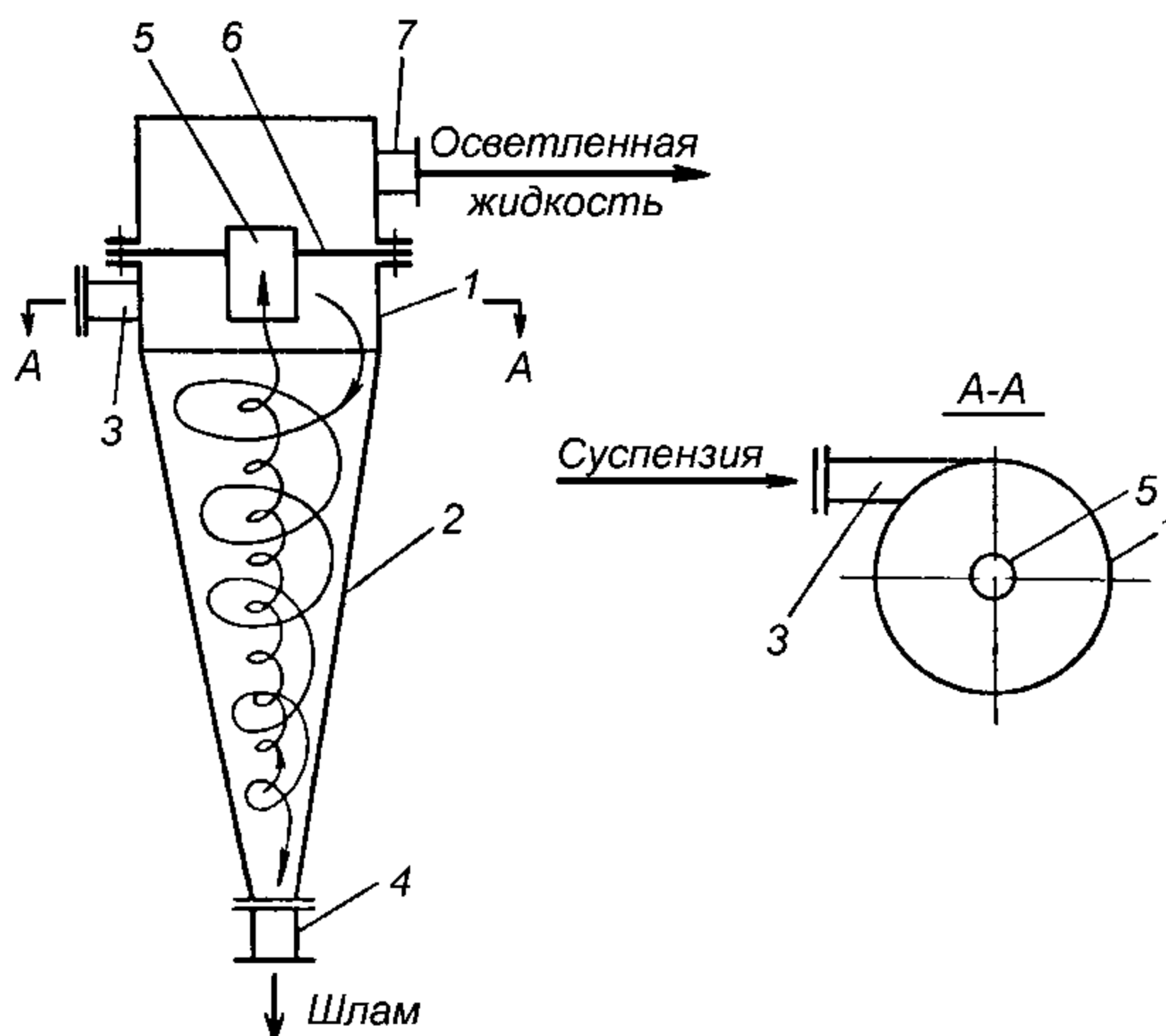


Рис. 1.10. Принципиальная схема гидроциклона:

1 — цилиндрическая часть корпуса; 2 — коническое днище; 3 — штуцер для подачи суспензии; 4 — штуцер для вывода шлама; 5 — патрубок; 6 — перегородка; 7 — штуцер для вывода слива

Корпус гидроциклона состоит из верхней короткой цилиндрической части 1 и удлиненного конического днища 2. Суспензия подается тангенциально через штуцер 3 в цилиндрическую часть 1 корпуса и приобретает интенсивное вращательное движение. Под действием центробежных сил наиболее крупные твердые частицы перемещаются к стенкам аппарата и концентрируются во внешних слоях вращающегося потока. Затем они движутся по спиральной траектории вдоль стенок гидроциклона вниз к штуцеру 4, через который отводятся в виде сгущенной суспензии (шлама). Большая часть жидкости с содержащимися в ней мелкими твердыми частицами (осветленная жидкость) движется во внутреннем спиральном потоке вверх вдоль оси аппарата. Осветленная жидкость, или слив, удаляется через патрубок 5, укрепленный на перегородке 6, и штуцер 7.

1.11. ЗАКРЫТЫЙ НУТЧ-ФИЛЬТР ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И РУЧНОЙ ВЫГРУЗКОЙ ОСАДКА

Нутч представляет собой простейший фильтр периодического действия, работающий под избыточным давлением (или вакуумом). Направления силы тяжести и движения жидкой фазы (фильтрата) в нем совпадают. На

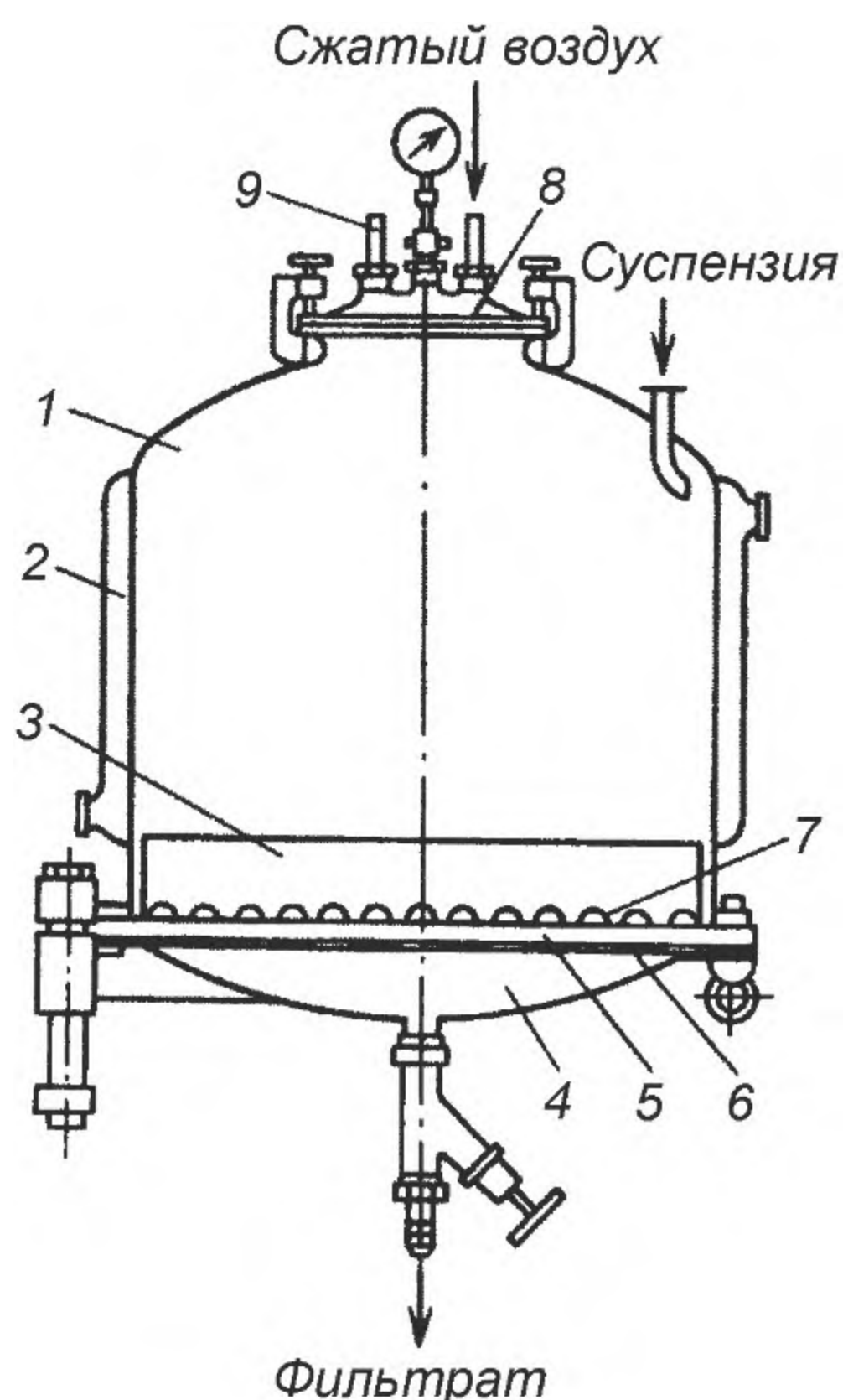


Рис. 1.11. Схема закрытого нутч-фильтра:

1 – корпус; 2 – обогревающая рубашка; 3 – кольцевая перегородка; 4 – откидывающееся дно; 5 – фильтровальная перегородка; 6 – опорная решетка; 7 – сетка; 8 – съемная крышка; 9 – предохранительный клапан

рис. 1.11 изображен закрытый нутч-фильтр, работающий под давлением (до 0,3 МПа).

Нутч состоит из корпуса 1 с рубашкой 2, съемной крышки 8 и перемещающегося дна 4. На опорной решетке 6 располагается фильтровальная перегородка 5. Иногда в качестве перегородки применяют слой волокон. В этом случае необходимо использовать защитную сетку 7. Над фильтровальной перегородкой располагают кольцевую перегородку 3, поддерживающую осадок во время его выгрузки. При этом дно 4 опускается и поворачивается на такой угол, чтобы осадок было удобно снимать вручную с фильтровальной перегородки. Для того чтобы давление в аппарате не превысило

допустимого, он снабжен предохранительным клапаном 9. В рубашку 2 обычно подают насыщенный водяной пар для повышения температуры фильтрации, что обеспечивает снижение вязкости фильтрата и соответствующее увеличение производительности.

1.12. БАРАБАННЫЙ ВАКУУМ-ФИЛЬТР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С НАРУЖНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И НОЖЕВЫМ СЪЕМОМ ОСАДКА

Среди фильтров непрерывного действия наиболее распространены барабанные вакуум-фильтры.

Схема такого фильтра представлена на рис. 1.12. Фильтр имеет вращающийся цилиндрический перфорированный барабан 1, покрытый металлической волнистой сеткой 2, на которой располагается тканевая фильтрующая перегородка 3. Барабан на 30–40 % своей поверхности погружен в суспензию. Поскольку в данном фильтре направление осаждения твердых частиц противоположно направлению движения фильтрата, в корыте 6 для суспензии установлена качающаяся мешалка 7, поддерживающая ее однородность.

Барабан разделен радиальными перегородками на ряд изолированных друг от друга ячеек (камер) 9. Каждая камера соединяется трубой 10 с различными полостями неподвижной части 12 распределительной головки. Трубы объединяются во вращающуюся часть 11 распределительной головки. Благодаря этому при вращении барабана 1 камеры 9 в определенной последовательности присоединяются к источникам вакуума и сжатого воздуха. В результате при полном обороте барабана каждая камера проходит несколько зон, в которых осуществляются процессы фильтрации, промывки осадка и другие.

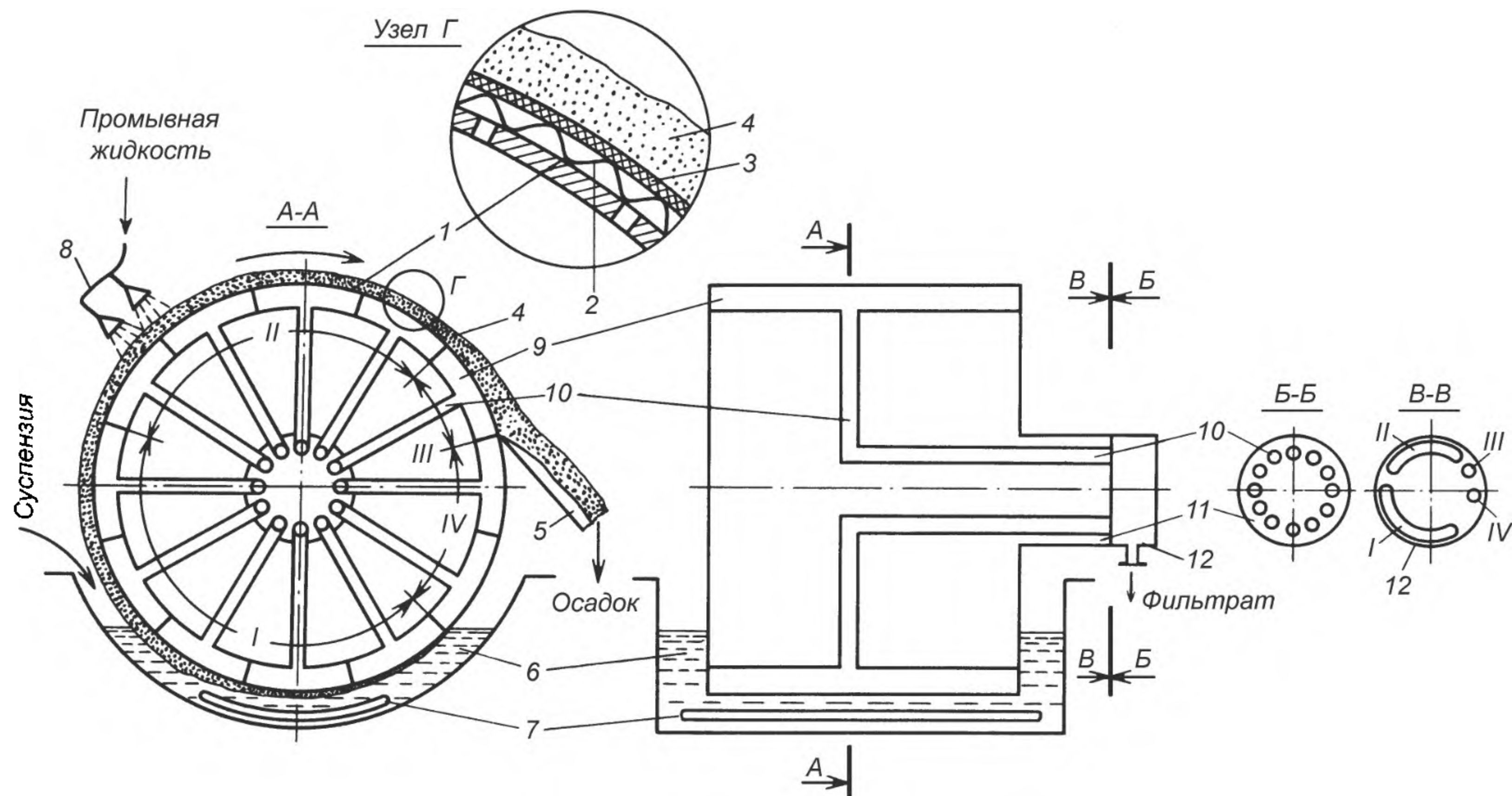


Рис. 1.12. Схема барабанного вакуум-фильтра:

1 – перфорированный барабан; 2 – волнистая сетка; 3 – фильтровальная перегородка; 4 – осадок; 5 – нож для съема осадка; 6 – корыто для суспензии; 7 – качающаяся мешалка; 8 – устройство для подвода промывной жидкости; 9 – камеры (ячейки) барабана; 10 – соединительные трубки; 11 – вращающаяся часть распределительной головки; 12 – неподвижная часть распределительной головки; I – зона фильтрации и отсоса фильтрата; II – зона промывки осадка и отсоса промывных вод; III – зона съема осадка; IV – зона очистки фильтровальной ткани

Зона *I* – фильтрация и отсоса фильтрата. Здесь суспензия поступает в камеру. В это время камера соединена с вакуумной линией. Под действием вакуума фильтрат проходит через фильтровальную ткань, сетку и перфорацию барабана внутрь камеры и через трубу выводится из аппарата. На наружной поверхности барабана, покрытой фильтровальной тканью, образуется осадок 4.

Зона *II* – промывки осадка и отсоса промывных вод. Здесь камера, вышедшая из корыта с суспензией, также сообщена с вакуумной линией, а на осадок с помощью устройства 8 подается промывная жидкость. Она проходит через осадок и по трубе выводится из аппарата.

Зона *III* – съема осадка. Попад в эту зону, осадок сначала подсушивается вакуумом, а затем камера соединяется с источником сжатого воздуха. Воздух не только сушит, но и разрыхляет осадок, что облегчает его последующее удаление. При подходе камеры с просушенным осадком к ножу 5 подача сжатого воздуха прекращается. Осадок падает с поверхности ткани под действием силы тяжести. Нож служит в основном направляющей плоскостью для слоя осадка, отделяющегося от ткани.

Зона *IV* – очистки фильтровальной перегородки. В этой зоне фильтровальная ткань продувается сжатым воздухом или водяным паром и освобождается от оставшихся на ней твердых частиц.

После этого ячейки с регенерированной тканью вновь входят в корыто с суспензией, и весь цикл операций повторяется.

1.13. ЛЕНТОЧНЫЙ ВАКУУМ-ФИЛЬТР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ленточный вакуум-фильтр (рис. 1.13) представляет собой работающий под вакуумом аппарат непрерывного действия, в котором направления силы тяжести и движения фильтрата совпадают.

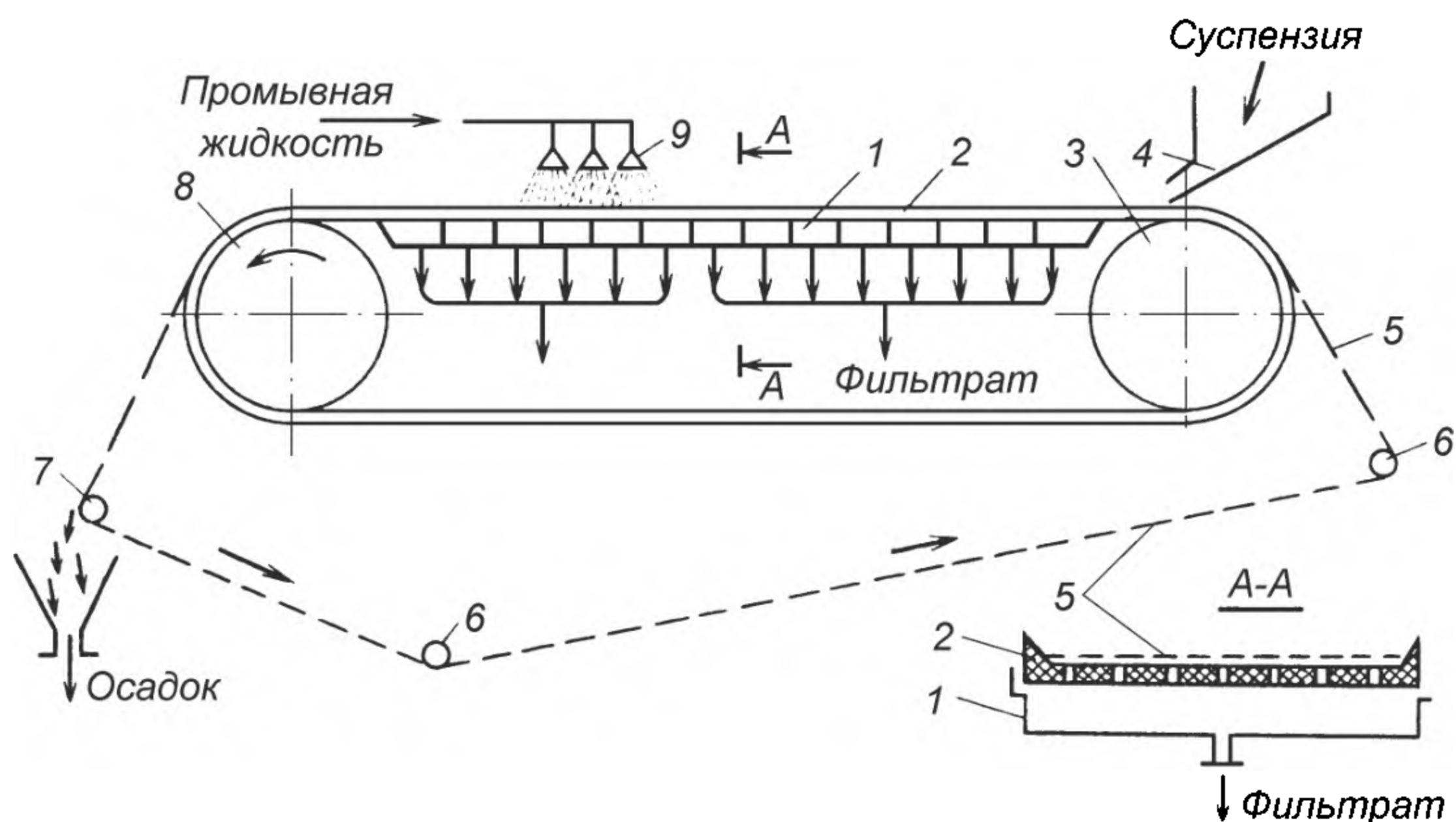


Рис. 1.13. Схема ленточного вакуум-фильтра непрерывного действия:

1 – вакуум-камеры; 2 – перфорированная лента; 3 – натяжной барабан; 4 – лоток для подачи суспензии; 5 – фильтровальная ткань; 6 – натяжные ролики; 7 – валик для перегиба ленты; 8 – приводной барабан; 9 – форсунки для подачи промывной жидкости

Перфорированная резиновая лента 2 перемещается по замкнутому пути с помощью приводного 8 и натяжного 3 барабанов. Фильтрующая ткань 5 прижимается к ленте при натяжении роликами 6. Из лотка 4 на фильтрующую ткань подается суспензия. Фильтрат отсасывается в вакуум-камеры 1, находящиеся под лентой, и выводится из аппарата. Отложившийся на ткани осадок промывается жидкостью, подаваемой из форсунок 9. Промывная жидкость отсасывается в другие вакуум-камеры и также отводится из аппарата.

Осадок благодаря вакууму подсушивается и при перегибе ленты через валик 7 отделяется от ткани и сбрасывается в бункер. На обратном пути между роликами 6 фильтровальная ткань обычно регенерируется: очищается с помощью механических щеток, пропаривается или промывается жидкостью.

1.14. ДИСКОВЫЙ ВАКУУМ-ФИЛЬТР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Фильтр представляет собой аналог барабанного фильтра (рис. 1.12), в котором для увеличения поверхности фильтрования вместо барабана установлены диски с фильтрующими боковыми поверхностями (рис. 1.14).

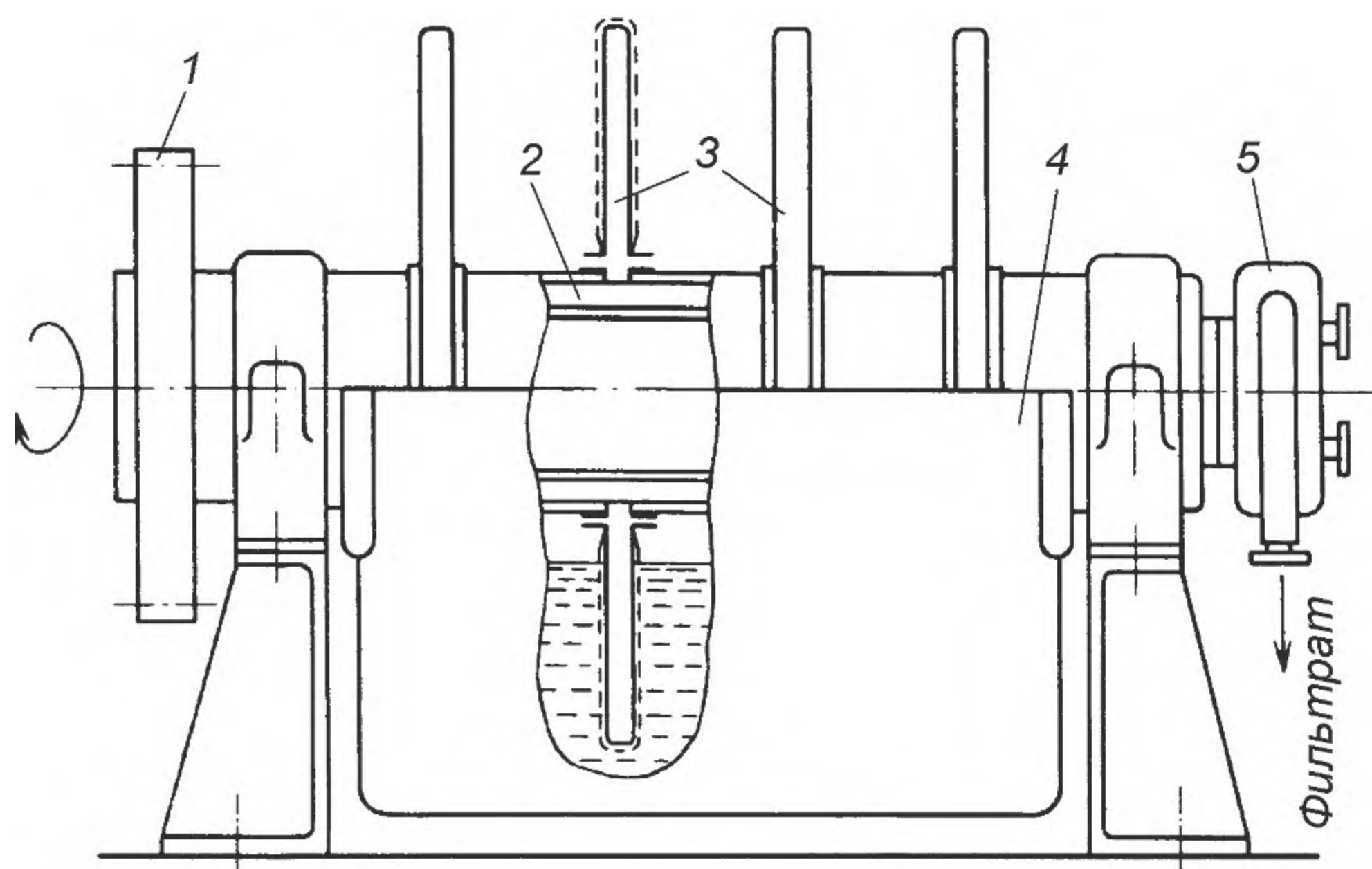


Рис. 1.14. Схема дискового вакуум-фильтра непрерывного действия:

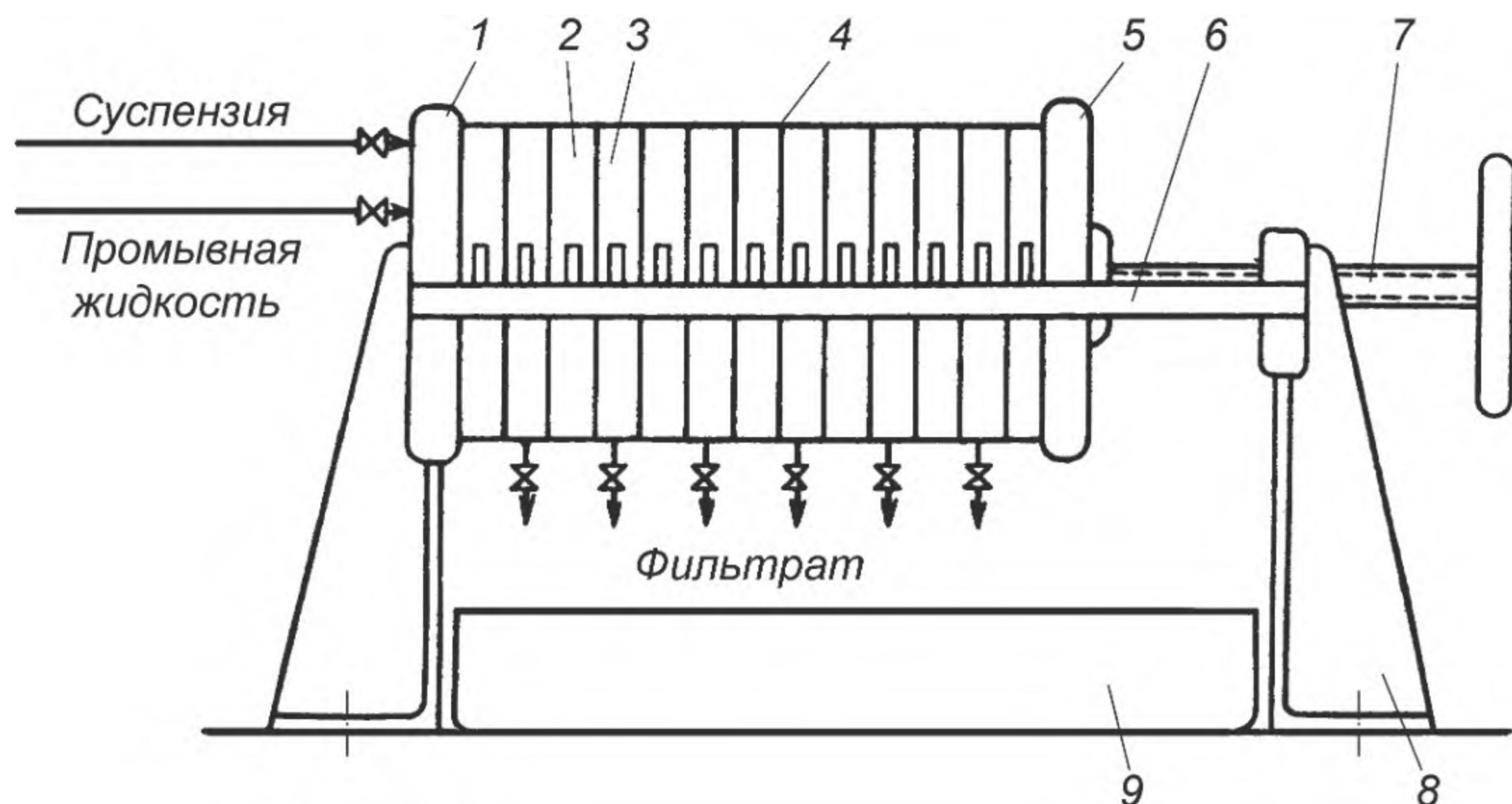
1 — привод; 2 — полый вал; 3 — диски с фильтрующими боковыми поверхностями; 4 — корыто для суспензии; 5 — распределительная головка

Вертикальные диски 3 насажены на полый горизонтальный вращающийся вал 2. Каждый диск имеет с обеих сторон рифленую поверхность, покрытую фильтровальной тканью. Диски примерно наполовину погружены в корыто с суспензией 4. Фильтрат под действием разрежения проходит внутрь дисков и по желобам их рифленой поверхности поступает в полость вала. На одном конце вала имеется распределительное устройство 5 (как и в барабанном вакуум-фильтре), на другом — привод 1. Осадок, образовавшийся по поверхности ткани, удаляется с помощью ножей (на рисунке не показаны).

1.15. РАМНЫЙ ФИЛЬТР-ПРЕСС ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И РУЧНОЙ ВЫГРУЗКОЙ ОСАДКА

Фильтр-прессы относятся к фильтрам периодического действия, работающим под давлением. Направления сил тяжести и движения фильтрата в них перпендикулярны.

Одна из распространенных конструкций фильтр-пресса изображена на рис. 1.15.1.



1.15.1. Схема рамного фильтр-пресса:

1 – упорная плита; 2 – рама; 3 – плита; 4 – фильтрующая ткань; 5 – подвижная концевая плита; 6 – горизонтальная направляющая; 7 – зажимной винт; 8 – станина; 9 – желоб для сбора фильтрата или промывающей жидкости

Блок этого фильтра состоит из рам и плит (рис. 1.15.2) с зажатой между ними фильтрующей тканью. Это существенно увеличивает рабочую поверхность фильтрующей перегородки. Плиты имеют вертикальные рифления 6, предотвращающие прилипание фильтровальной ткани к плитам и обеспечивающие дренаж фильтрата. Полая рама фильтр-пресса помещается между двумя плитами, образуя камеру 4 для осадка. Отверстия 1 и 2 в плитах и рамах совпадают, образуя каналы для прохода соответственно суспензии и промывной воды. Между плитами и рамами помещают фильтровальные перегородки («салфетки») 5. Отверстия в салфетках также совпадают с отверстиями в плитах. Сжатие плит и рам производится посредством винтового или гидравлического зажимов.

На стадии фильтрования суспензия по каналу 1 и отводам 3 поступает в полое пространство (камеру) 4 внутри рам. Жидкость проходит через фильтровальные перегородки 5, по желобкам рифлений 6 движется к каналам 7 и далее в каналы 8. Отсюда фильтрат выводится через краны 9, открытые на стадии фильтрования.

После заполнения пространства (камеры) 4 осадком подачу суспензии прекращают. Затем начинается стадия промывки осадка. Промывная жидкость проходит по каналам 2, оmyвает осадок и фильтровальные перегородки и выводится через краны 9. По окончании промывки осадок обычно продувают сжатым воздухом для удаления остатков промывной жидкости. После

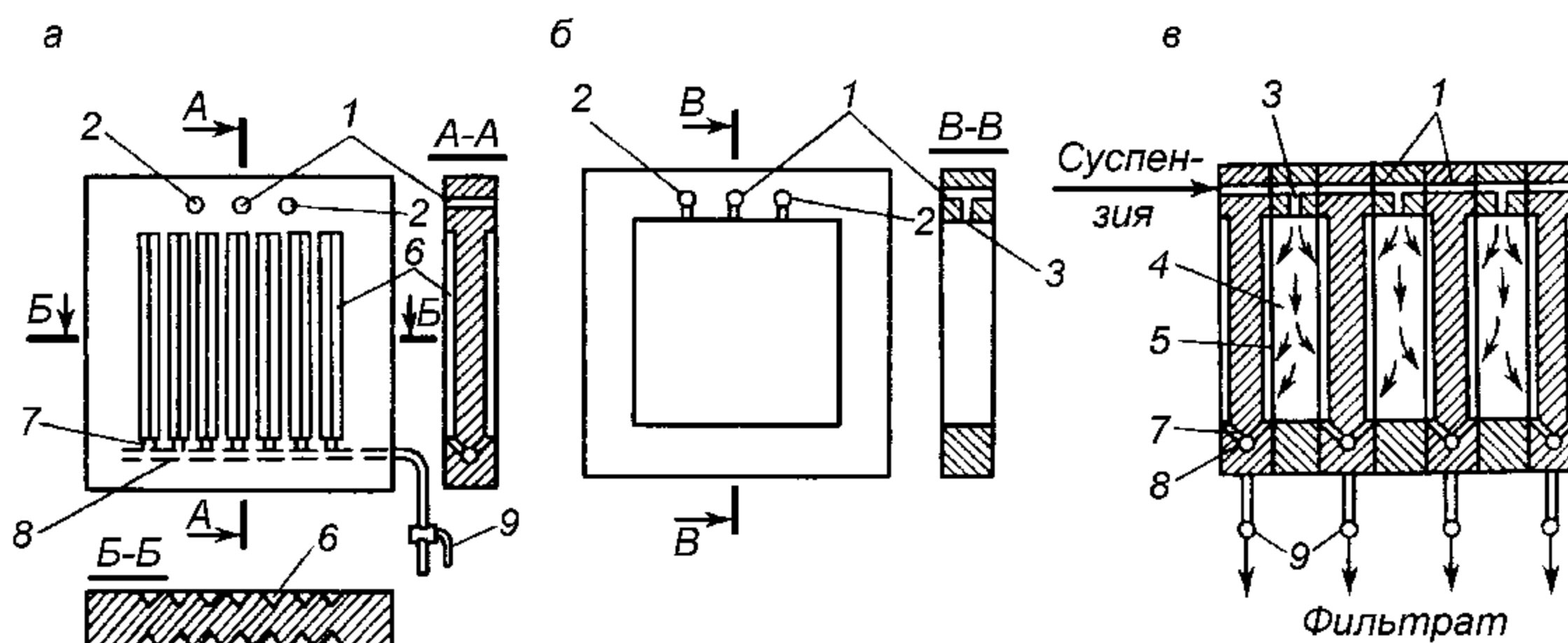


Рис. 1.15.2. Плита (а), рама (б) и сборка (в) рамного фильтр-пресса:

1 – отверстия в плитах и рамах, образующие при сборке канал для подачи суспензии; 2 – отверстия в плитах и рамах, образующие канал для подачи промывной жидкости; 3 – отводы для прохода суспензии внутрь рам; 4 – внутренние пространства рам; 5 – фильтровальные перегородки; 6 – рифления плит; 7 – каналы в плитах для выхода фильтрата на стадии фильтрования или промывной жидкости – на стадии промывки осадка; 8 – центральные каналы в плитах для сбора фильтрата или промывной жидкости; 9 – краны на линиях вывода фильтрата или промывной жидкости

этого плиты и рамы раздвигают, и осадок частично падает под действием силы тяжести в сборник, установленный под фильтром. Оставшуюся часть осадка выгружают вручную.

1.16. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ФИЛЬТР-ПРЕСС НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ

В автоматизированном фильтр-прессе с горизонтальными камерами обеспечены более благоприятные условия для стадии фильтрования, так как направления силы тяжести и движения фильтрата совпадают, что дает возможность оседания частиц суспензии в гравитационном поле.

Фильтровальные плиты этого фильтра показаны в разрезе на рис. 1.16.1. Верхняя часть 1 каждой плиты покрыта перфорированным листом 2, под которым находится пространство для приема фильтрата 3. Нижняя часть, выполненная в виде рамы 4, образует при сжатии плит камеру 5 для суспензии и осадка. Между верхней и нижней частями фильтровальных плит расположены эластичные водонепроницаемые диафрагмы 6. Фильтровальная ткань 7 размещается на перфорированном листе 2.

В периоды фильтрования, промывки осадка и его продувки в камеры 5 поступают из коллектора 8 по каналам 9 последовательно суспензия, свежая промывная жидкость и сжатый воздух (положение А). При этом фильтрат, отработавшая промывная жидкость и воздух при атмосферном давлении отводятся из фильтра по каналам 10 в коллектор 11. Затем осадок отжимается диафрагмой 6, для чего в пространство 12 по каналам 13 подается вода под давлением (положение Б). После отжатия осадка плиты раздвигаются, образуя щели, через которые осадок удаляется из фильтра (положение В).

Автоматизированный фильтр-пресс с горизонтальными камерами (рис. 1.16.2) состоит из горизонтально расположенных одна над другой описанных выше фильтровальных плит 1. Эти плиты находятся между двумя крайними опорными плитами 2, которые связаны одна с другой четырьмя

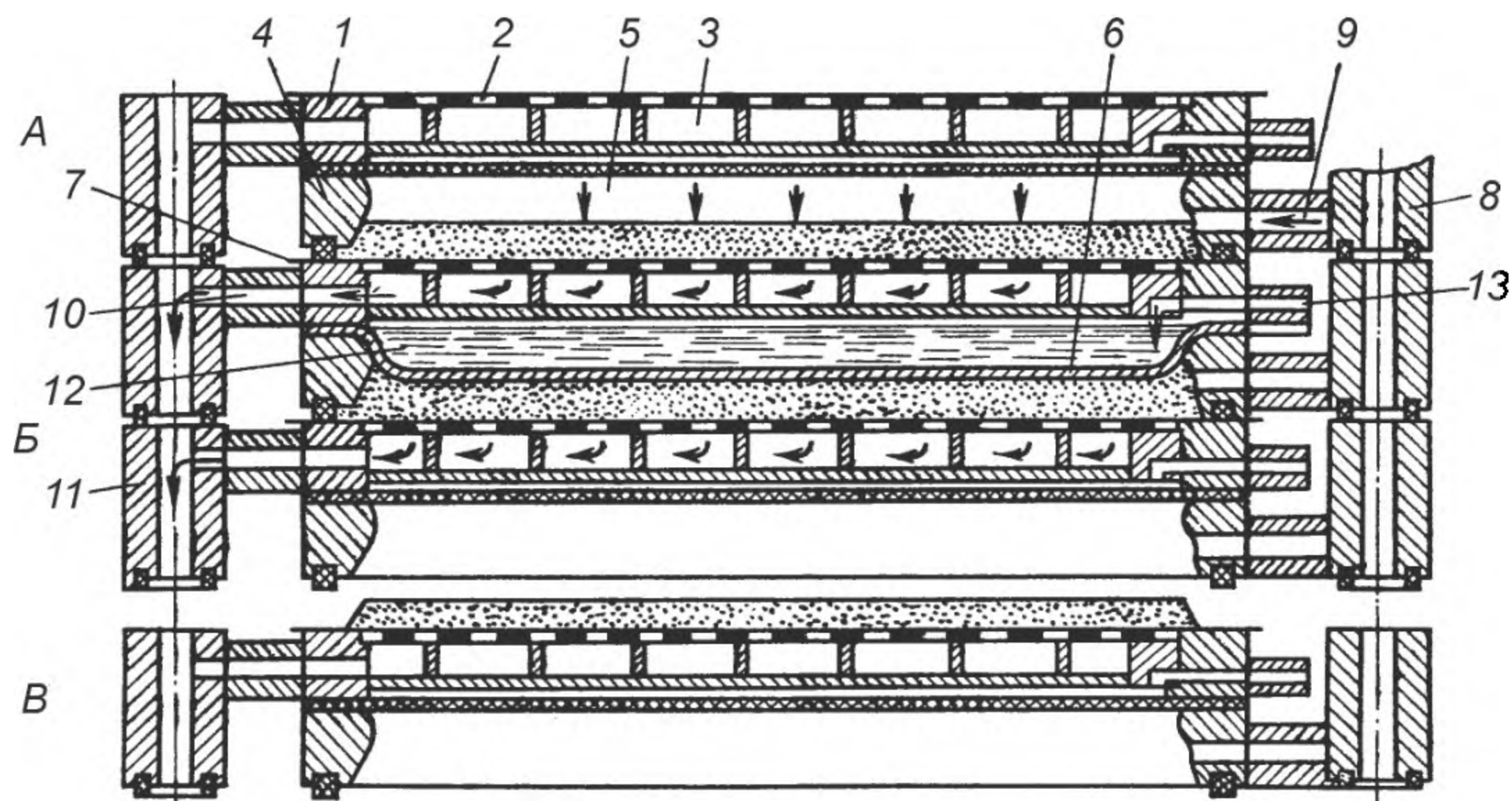


Рис. 1.16.1. Автоматизированный фильтр-пресс с горизонтальными камерами:

1 – верхняя часть плиты; 2 – перфорированный лист; 3 – пространство для приема фильтра-та; 4 – нижняя часть плиты в виде рамы; 5 – камера для суспензии и осадка; 6 – эластичная водонепроницаемая диафрагма; 7 – фильтровальная ткань; 8 – коллектор для подачи суспензии, промывной жидкости и сжатого воздуха; 9, 10, 13 – каналы; 11 – коллектор для отвода фильтрата, промывной жидкости и воздуха; 12 – пространство для воды

вертикальными стержнями, воспринимающими нагрузку при действии давления внутри камер. Между плитами 1 при помощи направляющих роликов 3 протянута фильтровальная ткань 4, которая имеет вид бесконечной ленты и поддерживается в натянутом состоянии гидравлическими устройствами (на рисунке не показаны). Свежая промывная жидкость и сжатый воздух поступают, а фильтрат, отработавшая промывная жидкость и воздух при атмосферном давлении отводятся посредством коллекторов, которые на рисунке показаны условно и обозначены соответственно 5 и 6. Осадок при периодическом перемещении фильтровальной

ткани снимается с нее ножами 7, расположенными около роликов, а ткань промывается и очищается в особом устройстве (на рисунке также не показано).

Основными преимуществами этих фильтров кроме автоматизации является развитая поверхность фильтрования, возможность при помощи диафрагмы регулировать толщину и влажность осадка.

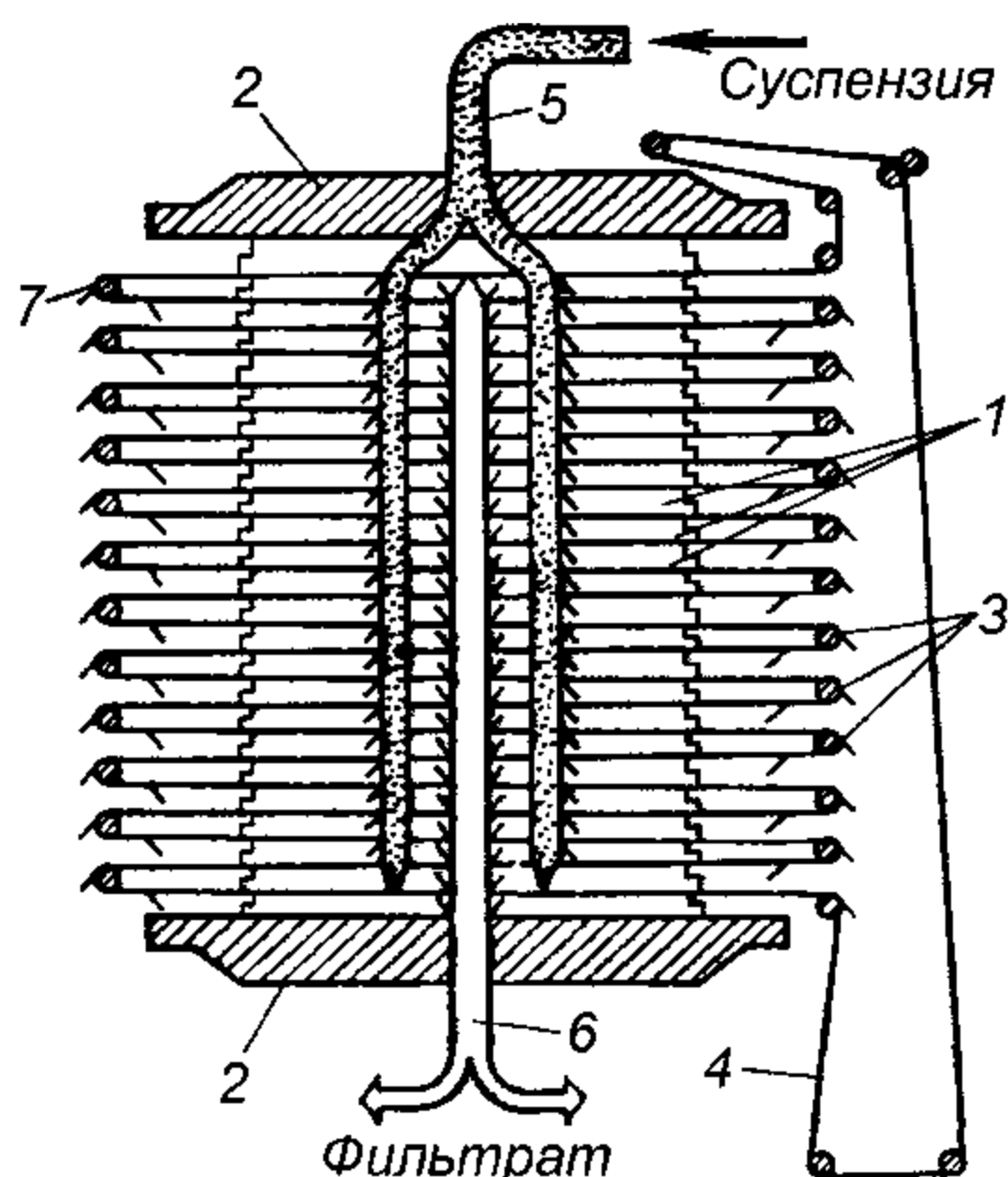


Рис. 1.16.2. Схема действия автоматизированного фильтр-пресса с горизонтальными камерами:

1 – фильтровальные плиты; 2 – опорные плиты; 3 – направляющие ролики; 4 – фильтровальная ткань; 5, 6 – коллекторы; 7 – ножи

1.17. РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР С МЕХАНИЧЕСКИМ ВСТРЯХИВАНИЕМ

Типичным аппаратом для очистки газов является рукавный фильтр, имеющий гибкие пористые перегородки (степень очистки до 99 %).

Рукавный фильтр (рис. 1.17) представляет собой корпус, в котором находятся тканевые мешки (рукава) 1. Нижние открытые концы рукавов закреплены на патрубках трубной решетки 2. Верхние закрытые концы рукавов подвешены на общей раме. Запыленный газ вводится в аппарат через штуцер и попадает внутрь рукавов. Проходя через ткань, из которой сделаны рукава, газ очищается от твердых частиц и выходит из аппарата через верхний штуцер. Твердые частицы осаждаются на внутренней поверхности и в порах ткани, при этом гидравлическое сопротивление возрастает. Когда оно достигает максимально допустимого значения, рукава очищают. Для этого их встряхивают с помощью устройства 5, твердые частицы падают в разгрузочный бункер 3 и удаляются из аппарата шнеком 4. Кроме того, рукава продувают воздухом, подаваемым с наружной их стороны, т. е. в направлении, обратном направлению движения очищаемого газа. Для того чтобы рукава при продувке не сплющивались, они снабжены кольцами жесткости.

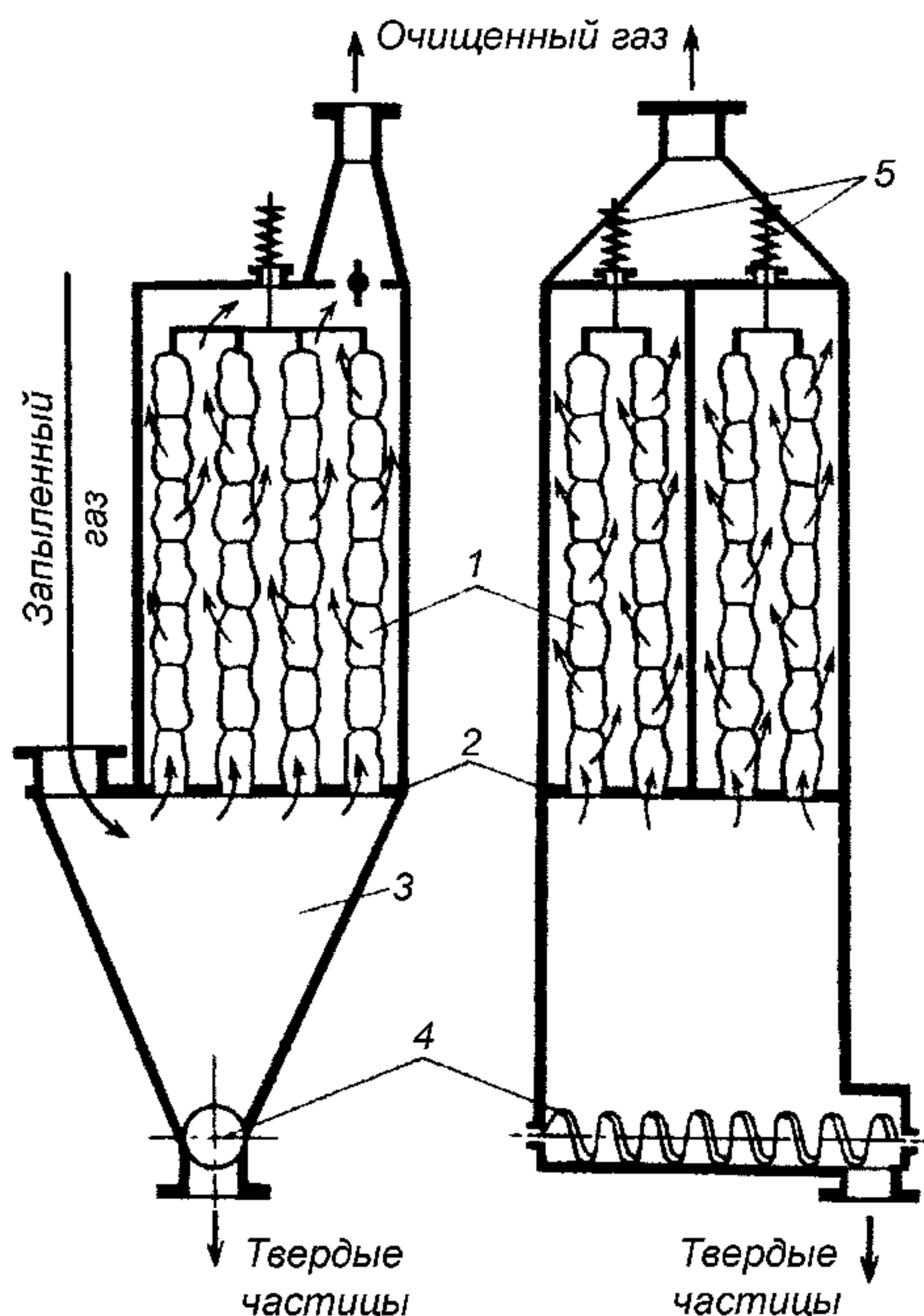


Рис. 1.17. Принципиальная схема рукавного фильтра:

1 – рукава с кольцами жесткости; 2 – трубная решетка; 3 – разгрузочный бункер; 4 – шнек;
5 – устройства для встряхивания рукавов

1.18. БАРБОТАЖНЫЙ (ПЕННЫЙ) ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Для очистки сильно запыленных газов используют барботажные пылеуловители (степень очистки 95–99 % при относительно низких капитальных затратах и эксплуатационных расходах). В этих аппаратах жидкость, взаимодействующая с газом, приводится в состояние динамической пены, что обеспечивает большую поверхность контакта между жидкостью и газом и соответственно высокую степень очистки газа от пыли.

Барботажный пылеуловитель (рис. 1.18) представляет собой цилиндрический или прямоугольный корпус 1, внутри которого находится перфорированная тарелка 2. Вода или другая промывная жидкость через штуцер поступает на тарелку, а запыленный газ подается в аппарат через патрубок. Проходя через отверстия тарелки 2, газ барботирует через жидкость, превращая ее в слой подвижной пены 4.

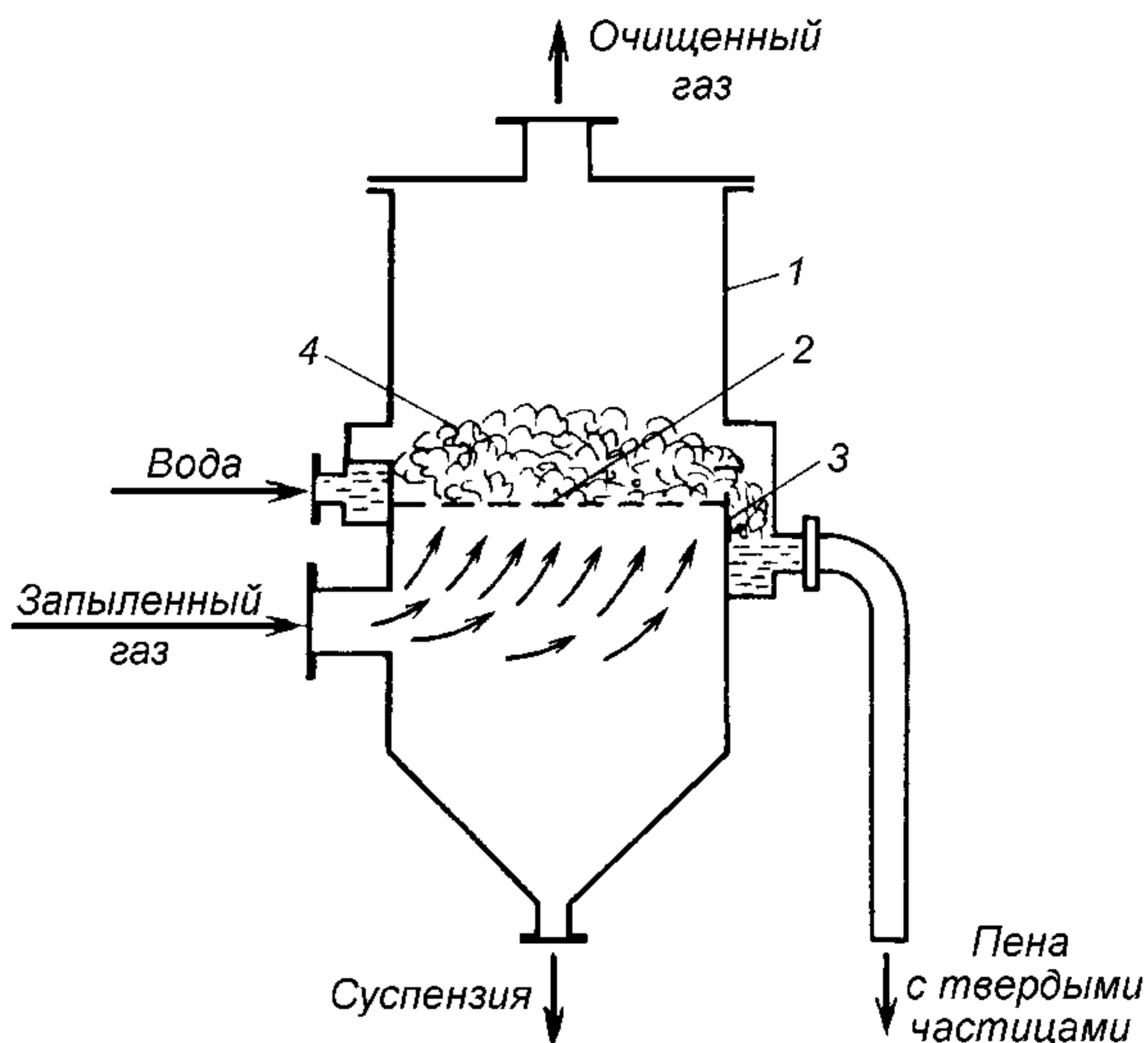


Рис. 1.18. Схема барботажного (пенного) пылеуловителя:

1 – корпус; 2 – тарелка с перфорацией; 3 – переточный порог; 4 – слой пены на тарелке

В слое пены твердые частицы пыли поглощаются жидкостью, основная часть которой (~80 %) удаляется вместе с пеной через регулируемый переточный порог 3. Оставшаяся часть жидкости (~20 %) сливается через отверстия в тарелке и улавливает в подтарелочном пространстве более крупные частицы. Образующаяся при этом суспензия выводится из нижней части аппарата через сливной штуцер.

При большом содержании пыли в газе и высоких требованиях к качеству очистки используют аппараты с двумя-тремя, иногда и с большим числом тарелок.

1.19. СКРУББЕР ВЕНТУРИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Эти аппараты применяют для очистки запыленных газов с преимущественным содержанием фракций мелких частиц.

На рис. 1.19 показана схема очистки газа, основным аппаратом которой является скруббер Вентури. Запыленный газ вводится через конфузور в трубу Вентури 1. Через отверстия в стенке конфузора туда же впрыскивается вода с помощью распределительного устройства 2. В горловине трубы скорость газа достигает порядка 100 м/с. Сталкиваясь с газовым потоком, вода распыляется на мелкие капли. Высокая степень турбулентности газового потока способствует коагуляции пылинок с каплями жидкости. Относительно крупные капли жидкости вместе с поглощенными частичками проходят через диффузор трубы Вентури, где их скорость снижается до 20–25 м/с, и попадают в циклонный сепаратор 3. Здесь капли под действием центробежной силы отделяются от газа и в виде суспензии удаляются из нижней конической части.

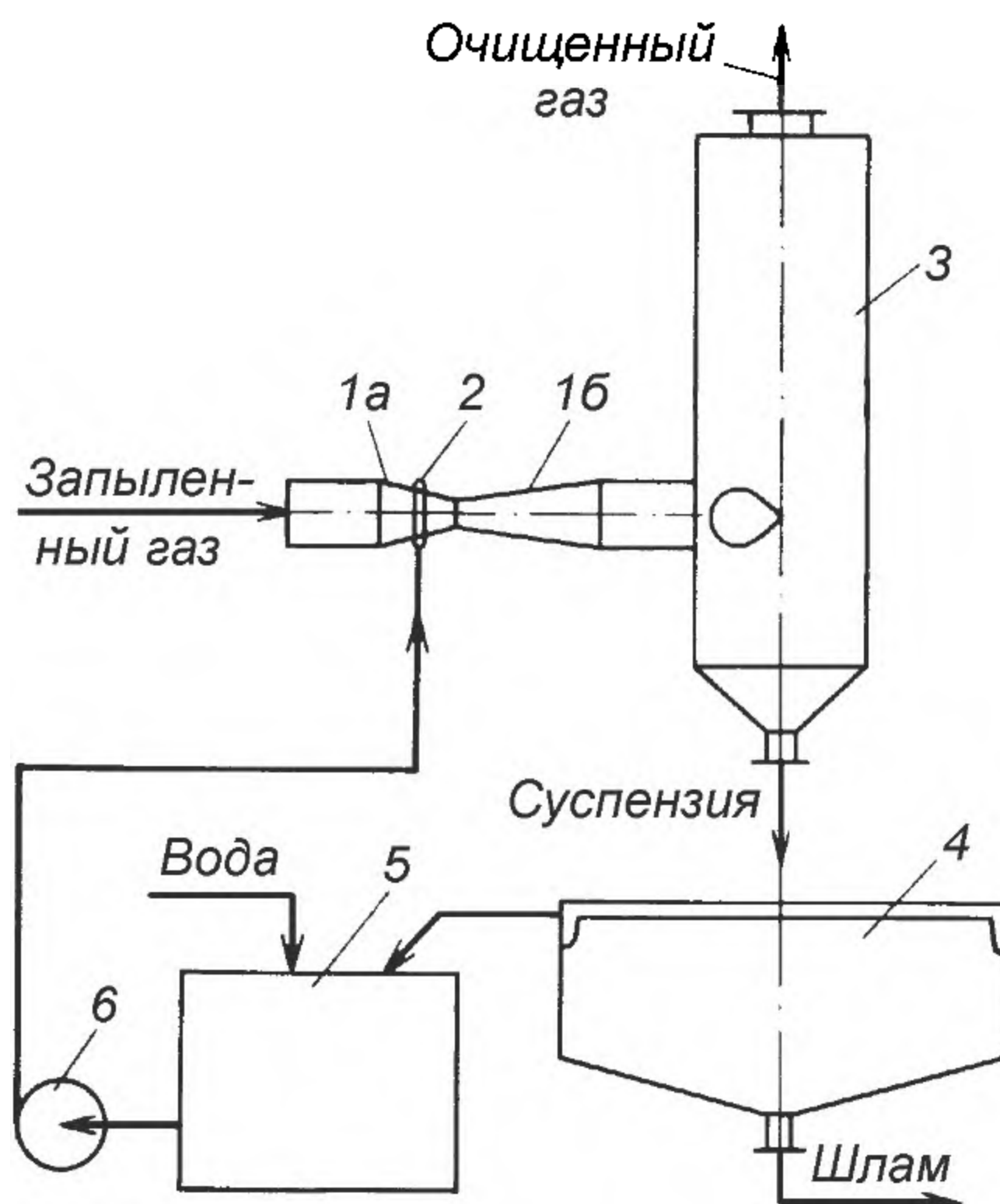


Рис. 1.19. Схема очистки газа с применением скруббера Вентури:

1 – труба Вентури (1а – конфузор, 1б – диффузор); 2 – распределительное устройство для подачи воды; 3 – циклонный сепаратор; 4 – отстойник для суспензии; 5 – промежуточная емкость; 6 – насос

Схема, приведенная на рис. 1.19, показывает также один из примеров экономии воды при мокрой очистке газов. Так, суспензия, выходящая из циклонного сепаратора, направляется в отстойник 4. Шлам выводится из нижней части отстойника, а осветленная вода из верхней части направляется в промежуточную емкость 5, куда добавляется свежая вода в небольшом количестве, необходимом для компенсации потерь воды со шламом. Далее вода из емкости 5 насосом 6 вновь направляется в распределительное устройство 2 на трубе Вентури.

1.20. ТРУБЧАТЫЙ ЭЛЕКТРОФИЛЬТР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

По форме электродов электрофилтры делятся на трубчатые и пластинчатые, а в зависимости от вида удаляемых из газа частиц – на сухие (где улавливается сухая пыль) и мокрые (для удаления влажной пыли).

Трубчатый электрофилтр (рис. 1.20) представляет собой аппарат, в котором расположены осадительные электроды 2, выполненные в виде труб диаметром 0,15–0,3 м и длиной 3–4 м. По оси труб проходят коронирующие электроды 1 из проволоки диаметром 1,5–2 мм, которые подвешены к раме 3, опирающейся на изоляторы 5. Запыленный газ входит в аппарат через штуцер внизу и далее движется внутри труб 2. Твердые частицы оседают на их стенках, а очищенный газ выходит из аппарата через штуцер вверху.

В сухих электрофилтрах твердые частицы удаляются периодически путем встряхивания электродов с помощью специального устройства 4. В мокрых электрофилтрах осевшие частицы удаляются периодически или непрерывно промывкой внутренней поверхности электродов водой.

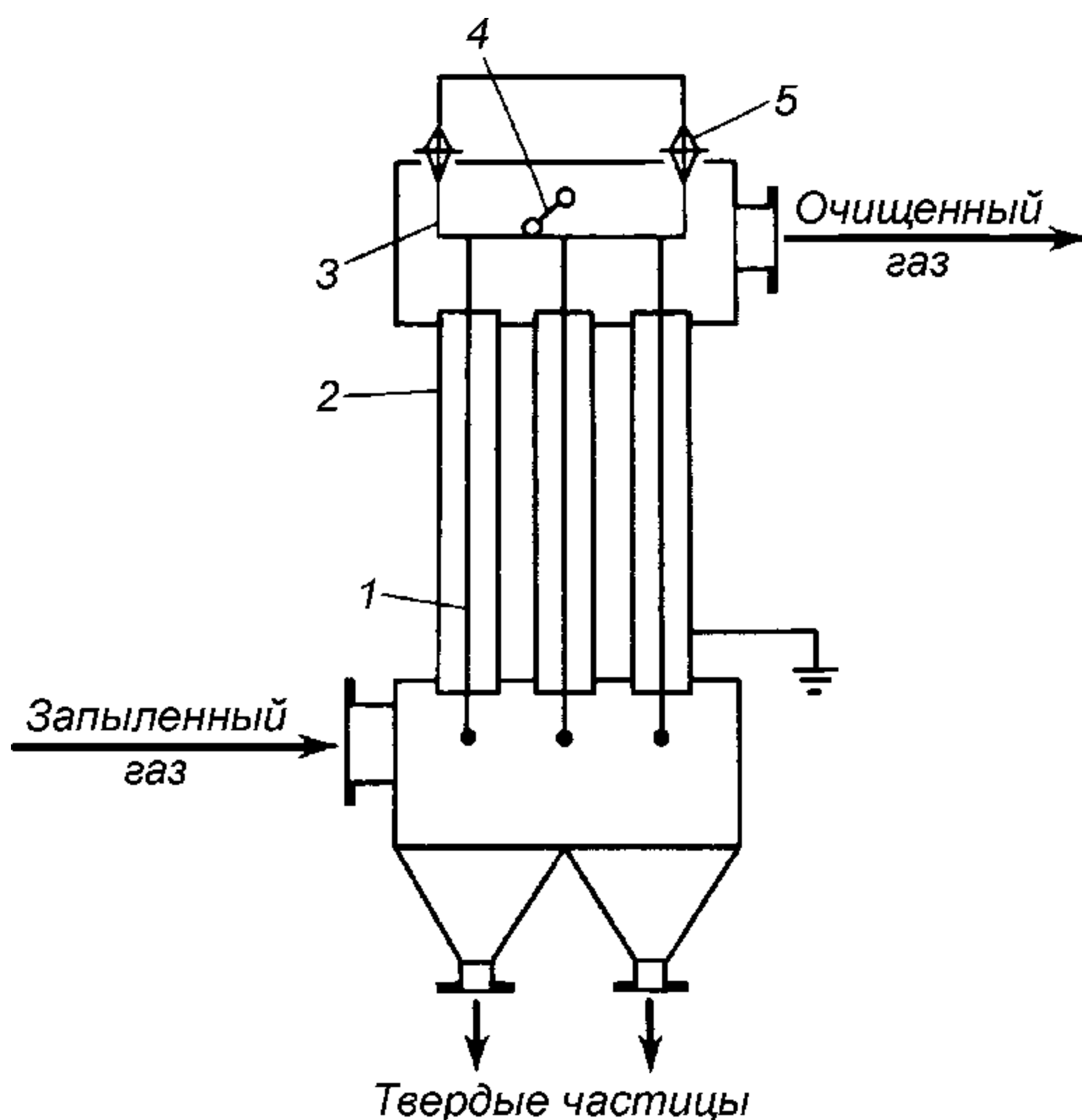


Рис. 1.20. Схема трубчатого электрофилтра:

1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды; 3 – рама; 4 – устройства для встряхивания электродов; 5 – изоляторы

1.21. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ТИПЫ МЕШАЛОК

Механическое перемешивание может осуществляться мешалками различных типов. Наибольшее распространение в промышленной практике получили вращающиеся мешалки различных конструкций (рис. 1.21). Из них чаще всего применяют: 1) лопастные; 2) пропеллерные; 3) турбинные; 4) рамные; 5) шнековые; 6) ленточные.

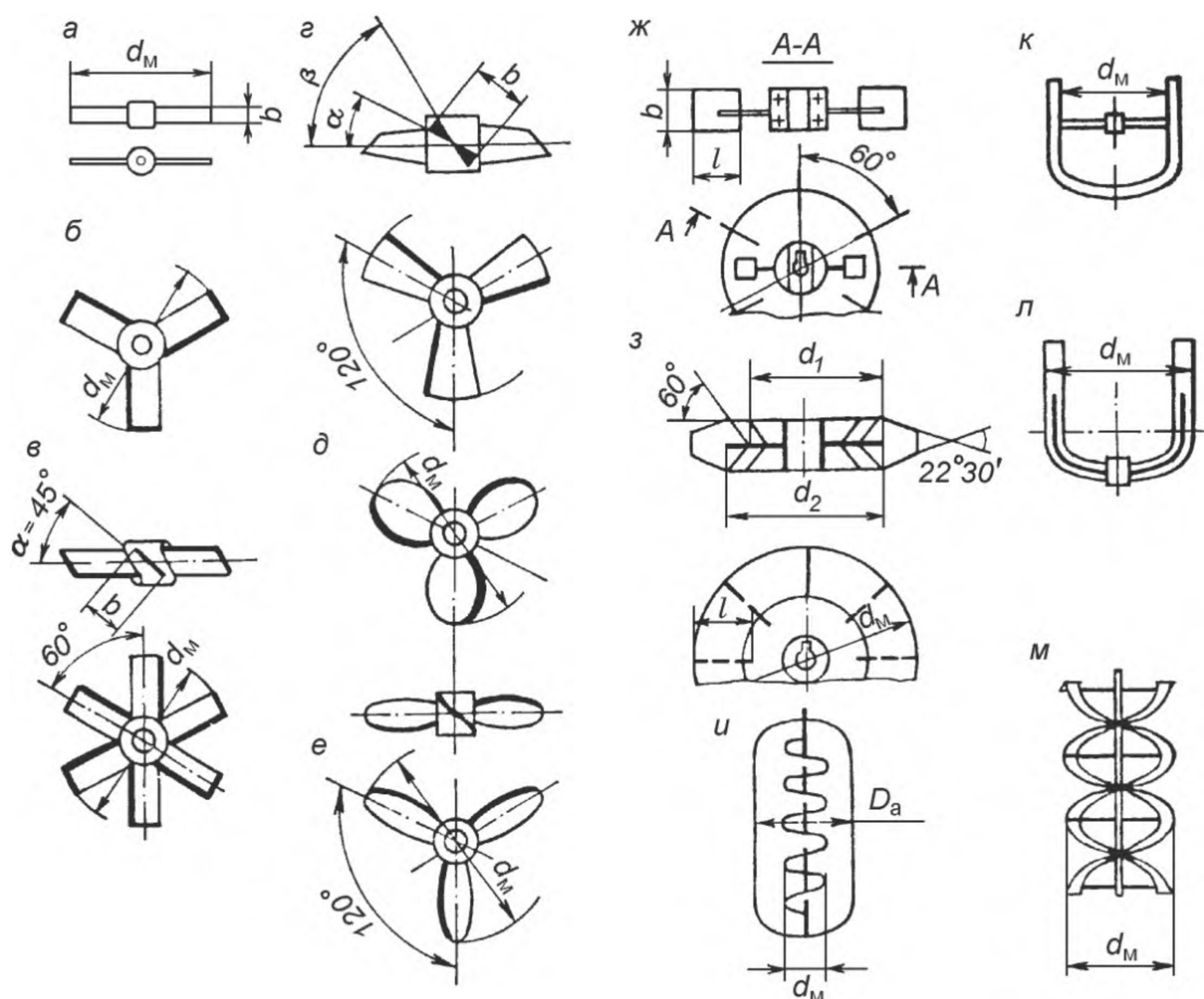


Рис. 1.21. Основные типы мешалок:

a – лопастная (неразъемная); *б* – трехлопастная; *в* – шестилопастная; *г* – пропеллерная с постоянным шагом винтовой линии; *д* – литая пропеллерная с профилем крыловидной формы; *е* – пропеллерная с постоянной толщиной лопасти; *ж* – турбинная открытая; *з* – турбинная закрытая; *и* – шнековая; *к* – якорная; *л* – рамная; *м* – ленточная

Лопастные мешалки (рис. 1.21, *a–в*) состоят из цилиндрической втулки, к которой приварены плоские лопасти. Ширина лопастей мешалки $b = 0,2d_M$. Лопастные мешалки могут быть неразъемными и разъемными. Их применяют для перемешивания жидкостей с низкой и повышенной вязкостью (до $5 \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Пропеллерные (винтовые) мешалки (рис. 1.21, *г–е*) представляют собой втулку, на которую приварены под углом 120° одна к другой три лопасти (плоские или со сложной пространственной крыловидной формой), литые или штампованные. В гидродинамическом отношении пропеллерные мешалки мало отличаются от трехлопастных. Их применяют для перемешивания однородных и гетерогенных систем с низкой и повышенной вязкостью (до $5 \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Турбинные мешалки (рис. 1.21, *ж, з*) бывают: 1) открытого и 2) закрытого типа. Открытая турбинная мешалка представляет собой конструкцию, состоящую из цилиндрической втулки с кольцевым диском, на окружности которого равномерно расположены, как правило, шесть плоских лопастей. Длина каждой лопасти $l = 0,25d_M$, высота $b = 0,2d_M$. Внутренний диаметр расположения лопастей $d_1 = 0,5d_M$. Закрытые турбинные мешалки имеют плос-

кие лопасти конической формы ($\angle 22^\circ 30'$), закрытые с обеих сторон коническими дисками. Турбинные мешалки закрытого типа используются преимущественно для перемешивания газожидкостных систем.

Мешалки шнекового (рис. 1.21, *и*), якорного (рис. 1.21, *к*), рамного (рис. 1.21, *л*) и ленточного (рис. 1.21, *м*) типов и их модификации используются, как правило, для перемешивания систем с вязкостью, превышающей 50–100 Па·с.

Все мешалки условно делят на тихоходные и быстроходные. Быстроходными принято считать те мешалки, у которых окружная скорость концов лопастей достигает порядка 10 м/с (лопастные, пропеллерные, турбинные и т. д.); они работают при турбулентном режиме и в переходной области. У тихоходных мешалок окружная скорость порядка 1 м/с; они работают при ламинарном режиме. К тихоходным относят якорные, рамные и другие мешалки.

1.22. АППАРАТ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МАЛОВЯЗКИХ СИСТЕМ

Аппараты с мешалками (рис. 1.22, 1.23) применяются для распределения смешиваемых компонентов и теплоты при перемешивании одно- или многофазных жидких сред, а также для интенсификации тепло- и массопереноса при проведении различных химико-технологических процессов. Аппараты с мешалкой проектируются для различных температур и давлений. Если в аппарате осуществляют тепловые процессы (нагревание или охлаждение), то он снабжается теплообменными устройствами – *рубашками* или *змеевиками*, встроенными в корпус, или различными электронагревательными элементами.

Обычно аппарат для перемешивания (рис. 1.22) представляет собой вертикальный сосуд с мешалкой, ось вращения которой совпадает с осью аппарата (однако возможно и эксцентричное расположение оси мешалки). В зависимости от условий проведения того или иного процесса объем аппарата с мешалкой может достигать несколько тысяч кубических метров.

Основными элементами аппаратов с мешалками (рис. 1.22) являются корпус и перемешивающее устройство, состоящее из привода, стойки, вала и мешалки. Для уплотнения места входа вала мешалки в корпус аппарата используются различные уплотнения (гидрозатвор, сальник, торцевые уплотнения и др.). Корпус аппарата обычно состоит из вертикальной цилиндрической обечайки 5, крышки 2, на которой установлен привод мешалки 1 (обычно электродвигатель), и днища 9.

Аппараты, рабочее давление в которых отличается от атмосферного, имеют, как правило, эллиптические днища и крышки, причем в аппаратах большого диаметра крышки и днища выполняют неразъемными (цельно-сварными), а для внутреннего осмотра и чистки таких аппаратов на крышке устанавливают люки. На крышках размещают также патрубки 4 и 11 для подвода и отвода веществ, подачи сжатого газа, установки контрольно-измерительных приборов и т. п. Для подвода и отвода теплоты корпус аппарата снабжают рубашкой 7 или другими теплообменными элементами.

1.23. АППАРАТ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ (НЕНЬЮТОНОВСКИХ) ЖИДКОСТЕЙ

Современные конструкции аппаратов с мешалками больших (100 м^3) и очень больших (1000 м^3 и более) объемов предназначены не только для ньютоновских (рис. 1.22), но и для неньютоновских жидкостей (рис. 1.23) с раз-

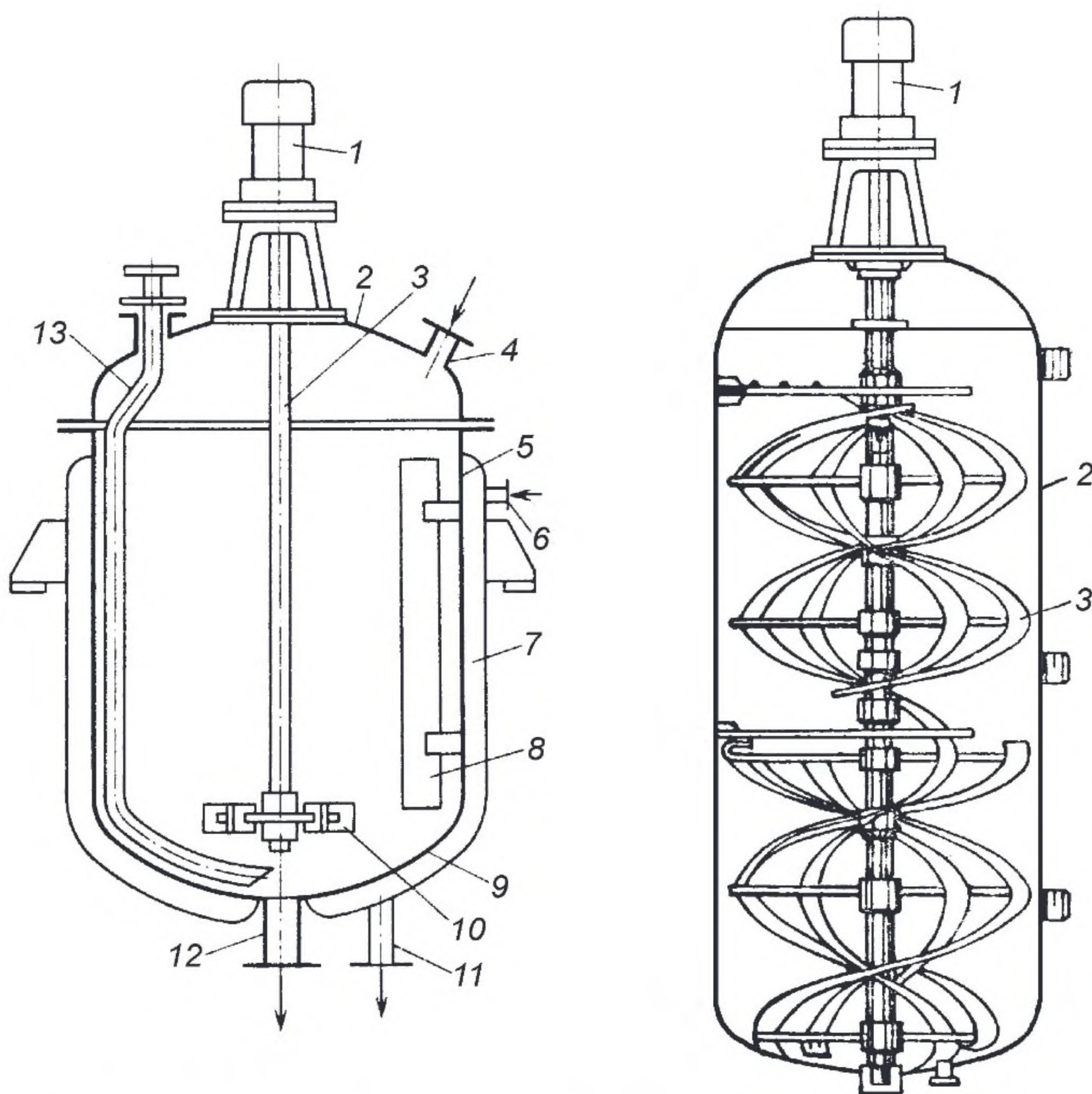


Рис. 1.22. Схема аппарата для перемешивания маловязких систем:

1 – двигатель с приводом; 2 – крышка; 3 – вал мешалки; 4 – штуцер для подачи сжатого газа; 5 – корпус; 6 и 11 – штуцеры входа и выхода теплоносителя; 7 – рубашка; 8 – отражательная перегородка; 9 – днище; 10 – мешалка; 12 – штуцер слива продукта; 13 – труба переувлажнения

Рис. 1.23. Аппарат для перемешивания высоковязких жидкостей:

1 – двигатель с приводом; 2 – корпус; 3 – ленточная мешалка

личной вязкостью (до 100 Па·с и более). При перемешивании рабочих систем с вязкостью, превышающей 30–100 Па·с, в качестве перемешивающих устройств, как правило, используются мешалки ленточного и шнекового типов.

1.24. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ (БАРБОТАЖНЫЕ) ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

При пропускании через жидкость потока газа (воздуха) или пара наблюдается интенсивное перемешивание, которое называется *пневматическим*. Причем при использовании пара также происходит нагрев жидкости. Пневматическое перемешивание позволяет проводить технологические процессы при отсутствии в аппарате движущихся частей и с относительно низкими

эксплуатационными характеристиками. Особенно рекомендуется применение этого метода в том случае, когда необходимо, чтобы газ (например, кислород, находящийся в воздухе) вступал в химическую реакцию с жидкостью.

Для интенсификации процесса аппараты оборудуют: 1) газораспределительными перфорированными решетками; 2) пористыми плитками; 3) барботерами; 4) эрлифтами.

Схемы пневматических (барботажных) перемешивающих устройств представлены на рис. 1.24.

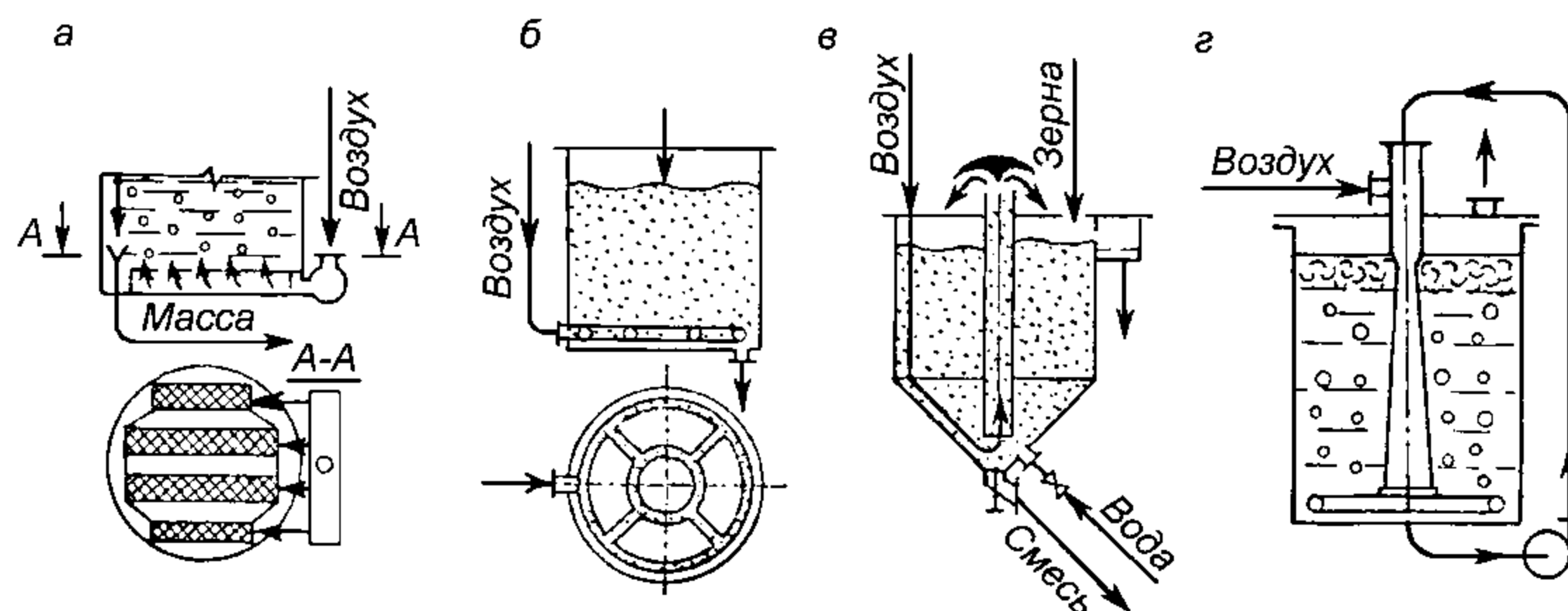


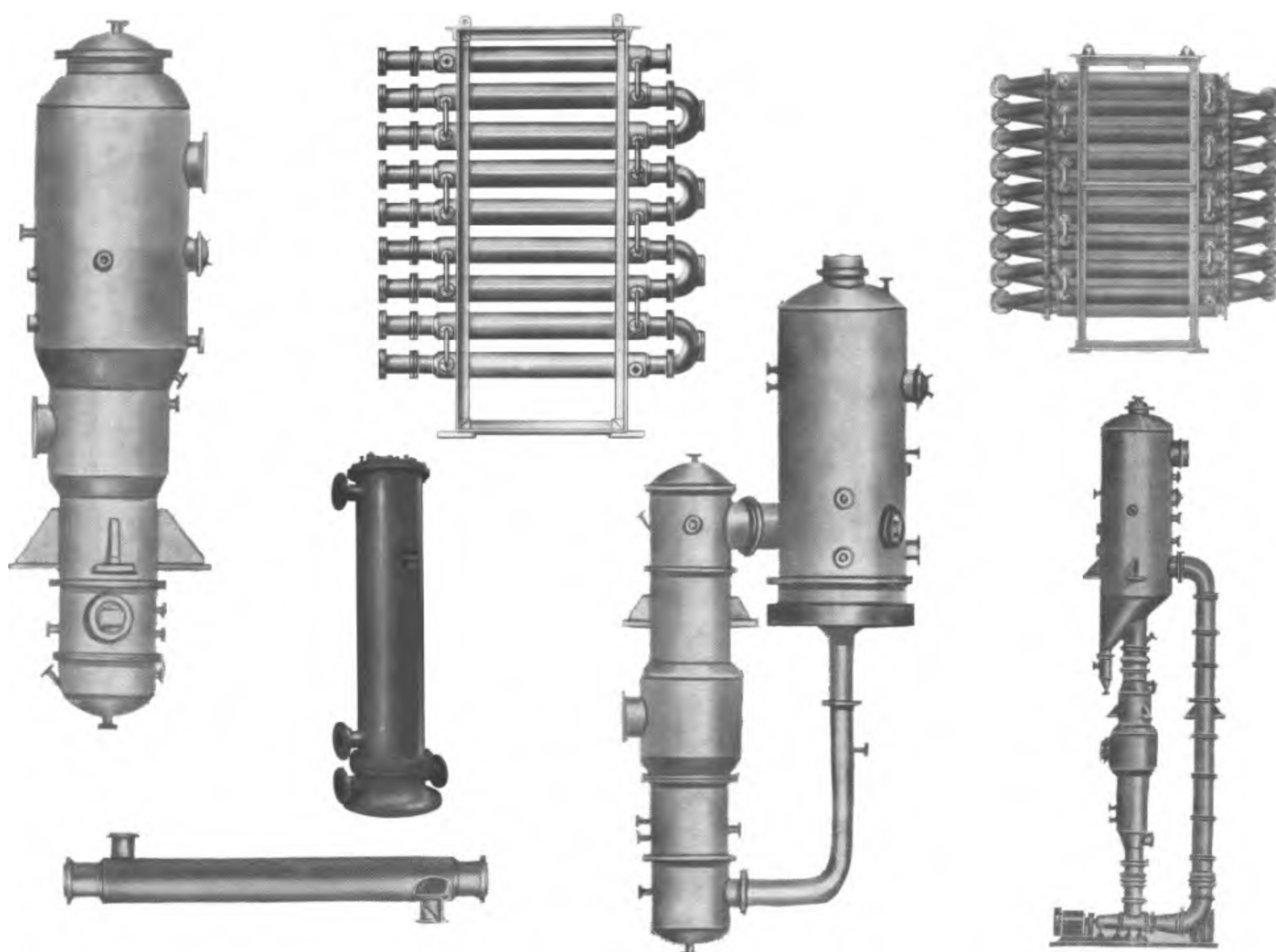
Рис. 1.24. Схемы пневматических (барботажных) перемешивающих устройств:

а – с газораспределительной сеткой; б – с барботером; в – с эрлифтом; г – с сочетанием барботера с лопастной мешалкой

Барботер представляет собой трубу (либо систему труб) с отверстиями, свернутую в кольцо или спираль, по которой пропускается сжатый воздух. Пузырьки сжатого воздуха, равномерно поднимаясь вверх через слой жидкости, перемешивают ее.

Эрлифт (*воздушный подъемник*) действует за счет сжатого воздуха, который, поступая в нижнюю часть устройства, образует в ней воздушно-водяную смесь, плотность которой меньше плотности воды. Пузырьки воздуха, двигаясь по центральной трубе, расширяются вследствие уменьшения давления, и скорость воздушно-водяной смеси увеличивается, при этом смесь сыпучего материала с водой поднимается на нужную высоту и выводится из аппарата. В случае необходимости смесь возвращается в аппарат и цикл движения повторяется.

2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ



Процесс переноса теплоты, происходящий между средами (телами), имеющими различную температуру, называется *теплообменом*. Движущей силой любого процесса теплообмена является разность температур между более нагретым и менее нагретым телами, при наличии которой тепло самопроизвольно, в соответствии со вторым законом термодинамики, переходит от более нагретого к менее нагретому телу.

Технологические процессы, скорость протекания которых определяется скоростью подвода или отвода тепла, называются *теплообменными* (*тепловыми*), а аппараты, предназначенные для проведения этих процессов, – *теплообменными* (или *теплообменниками*). К тепловым процессам относятся нагревание, охлаждение, испарение и конденсация.

Нагревание – повышение температуры перерабатываемых материалов путем подвода к ним тепла.

Охлаждение – понижение температуры перерабатываемых материалов путем отвода от них тепла.

Конденсация – сжижение паров какого-либо вещества путем отвода от них тепла.

Испарение – перевод в парообразное состояние какой-либо жидкости путем подвода к ней тепла.

Частным случаем испарения является весьма широко распространенный в химической промышленности процесс *выпаривания* – концентрирования при кипении растворов твердых нелетучих веществ путем удаления жидкого летучего растворителя в виде паров.

В зависимости от типа теплового процесса теплообменные аппараты называют подогревателями, холодильниками, конденсаторами, испарителями (кипятильниками), выпарными аппаратами.

Теплообмен также имеет важное значение для проведения массообменных процессов: сушки, перегонки, кристаллизации и др.

Тела, участвующие в теплообмене, называются *теплоносителями*. Одноименное наименование имеет также среда с более высокой температурой, отдающая тепло при теплообмене. Среда с более низкой температурой, воспринимающая тепло при теплообмене, называется *хладагентом*.

Различают стационарные и нестационарные теплообменные процессы. В периодически действующих аппаратах при нагревании или охлаждении, где температуры меняются во времени, осуществляются *нестационарные процессы*.

В непрерывно действующих аппаратах, где температуры в различных точках аппарата не изменяются во времени, имеют место *стационарные процессы*.

К теплообменным аппаратам предъявляют ряд основных требований: высокое значение величины удельного теплового потока; создание интенсивного гидродинамического режима движения теплоносителей; создание противоточного движения теплоносителей; малая металлоемкость, т. е. масса аппарата, приходящаяся на единицу поверхности теплообмена в нем.

Наиболее значительную и важную группу теплообменных аппаратов составляют теплообменники, в которых передача теплоты происходит через неподвижную поверхность, разделяющую теплоносители. Это так называемые *рекуперативные теплообменники*, которые очень разнообразны в конструктивном отношении и имеют разные геометрические формы и компоновку теплообменной поверхности. В зависимости от этого аппараты называют трубчатыми, с рубашкой, с оребренной поверхностью, пластинчатыми, спиральными и т. д.

2.1. ДВУХТРУБНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Двухтрубные теплообменники часто называют теплообменниками типа «труба в трубе»; они применяются для процессов со сравнительно небольшими тепловыми нагрузками и малыми поверхностями теплообмена. Аппарат состоит из элементов концентрически расположенных труб, соединенных последовательно (рис. 2.1).

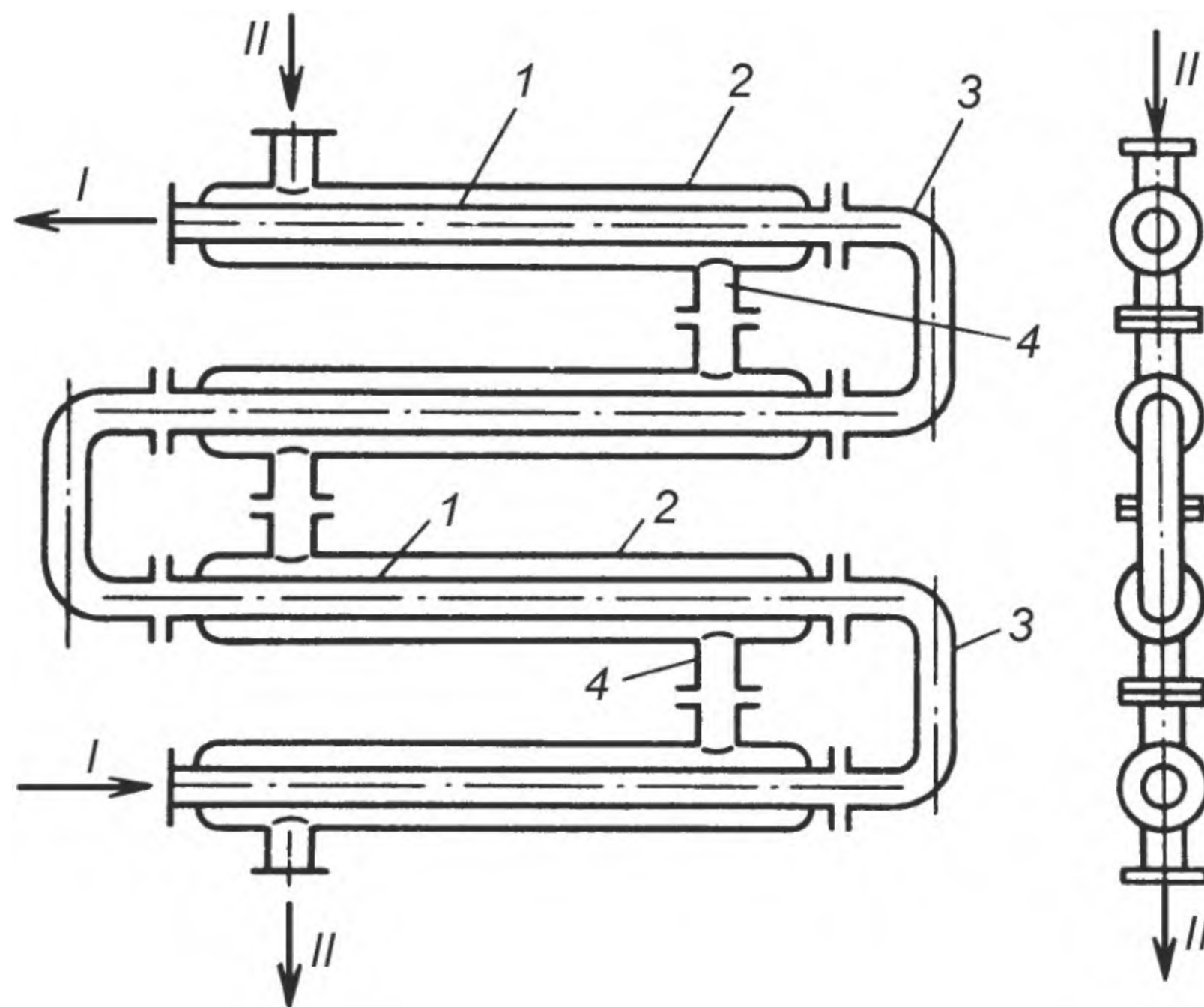


Рис. 2.1. Двухтрубный теплообменник типа «труба в трубе»:

1 — внутренние трубы; 2 — наружные трубы; 3 — соединительные колена (калачи); 4 — соединительные патрубки; I и II — теплоносители

Один теплоноситель I движется по внутренним трубам 1, другой II — по кольцевому зазору между внутренними и наружными 2 трубами. Внутренние трубы 1 соединяются с помощью калачей 3, а наружные — с помощью соединительных патрубков 4. Длина элемента теплообменника типа «труба в трубе» обычно составляет 3–6 м, диаметр наружной трубы — 76–159 мм, внутренней — 57–108 мм.

2.2. АППАРАТ С ГРЕЮЩЕЙ РУБАШКОЙ

Теплообменные аппараты с рубашками (рис. 2.2) используют в химической промышленности как обогреваемые (охлаждаемые) сосуды для проведения химических реакций. Как правило, они работают под избыточным давлением и в зависимости от характера технологического процесса носят название автоклавов, нитраторов, полимеризаторов и др. Для обеспечения более интенсивной теплоотдачи от стенки аппарата к перемешиваемой среде используют механическую мешалку (см. подраздел 1.22) или барботаж паром или сжатым газом (см. подраздел 1.24).

Корпус 1 аппарата снабжен с наружной стороны рубашкой 2, в которую подают греющий агент или охлаждающий теплоноситель (хладагент). К корпусу аппарата рубашку крепят, как правило, с помощью сварки.

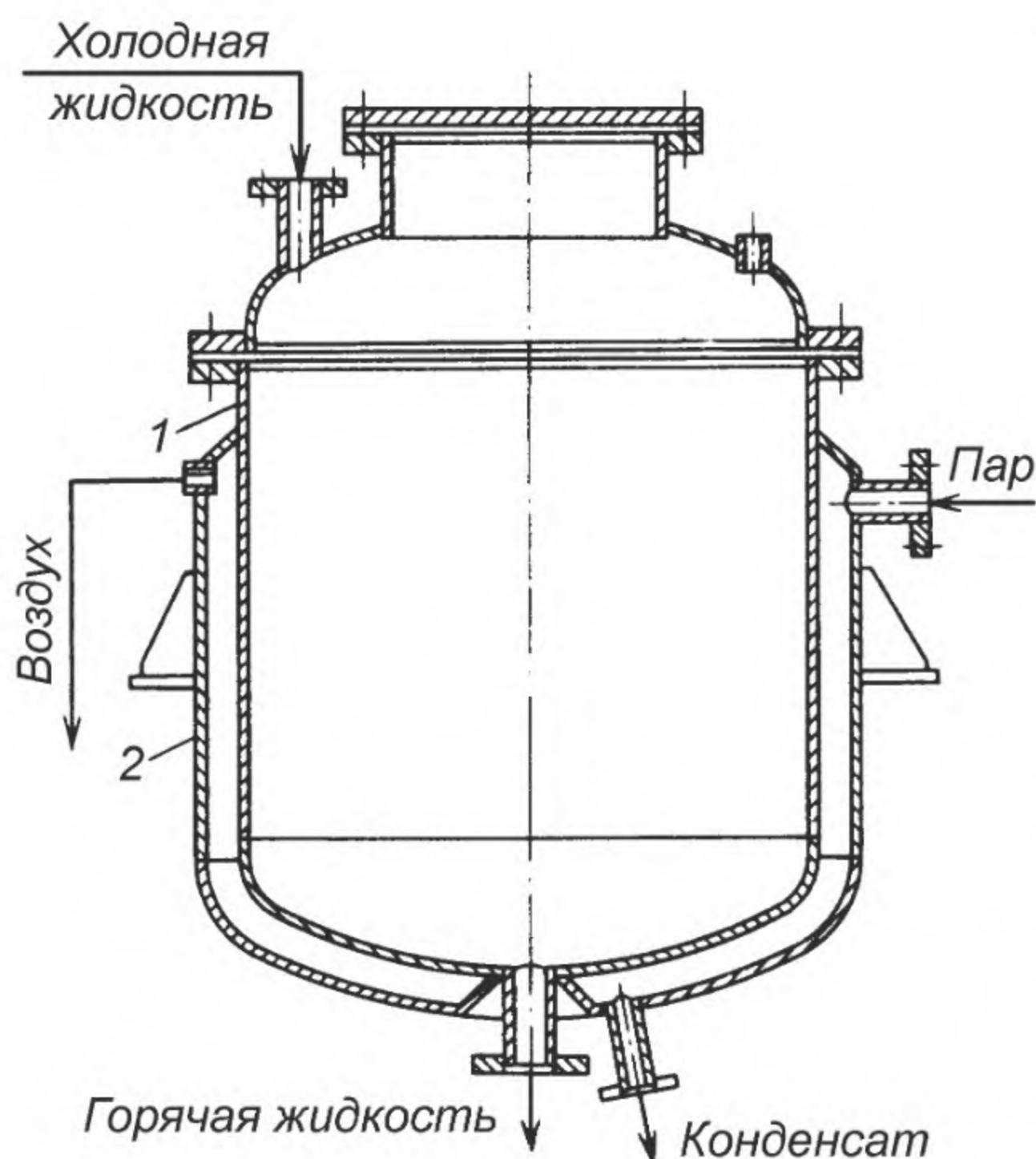


Рис. 2.2. Схема аппарата с греющей рубашкой:

1 – корпус аппарата; 2 – греющая рубашка

2.3. ПЛАСТИНЧАТЫЙ КАЛОРИФЕР ДЛЯ НАГРЕВА (ОХЛАЖДЕНИЯ) ВОЗДУХА

Конструкции таких теплообменников весьма разнообразны, причем разработаны конструкции как с оребренными трубами, так и с плоскими поверхностями теплообмена.

Поперечные ребра (эффективные средства для повышения компактности аппарата) широко применяются в распространенных теплообменниках для нагрева (охлаждения) воздуха (газов) – пластинчатых

калориферах. Схема этого аппарата представлена на рис. 2.3. Греющий пар проходит по оребренным трубам. Нагреваемый воздух проходит между ними, интенсивно омывая каждый пластинчатый элемент поверхности.

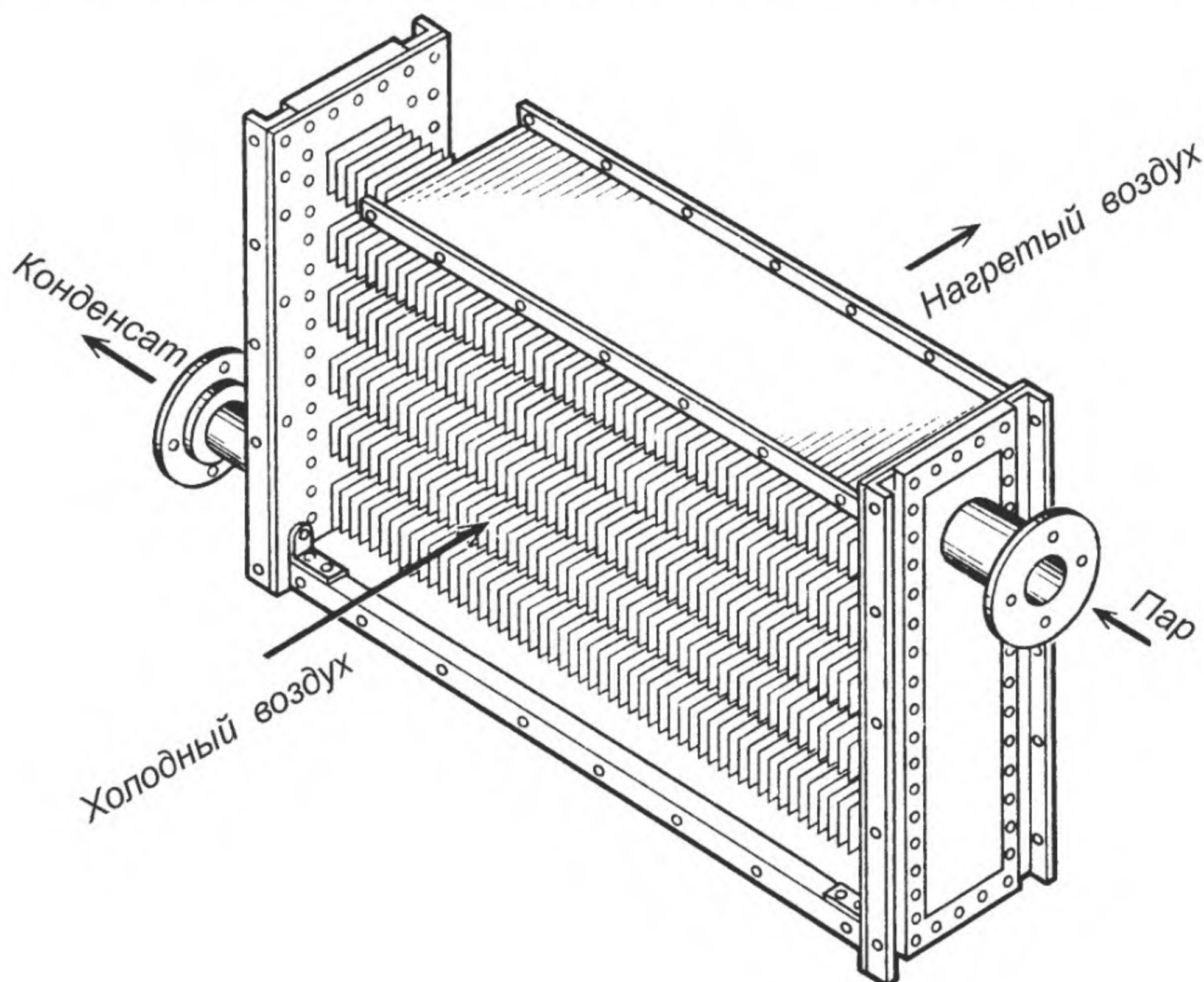


Рис. 2.3. Схема пластинчатого калорифера для подогрева воздуха

2.4. ПЛАСТИНЧАТЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК «ФИЛЬТР-ПРЕССНОГО» ТИПА

Поверхностью теплообмена в пластинчатых теплообменниках являются гофрированные параллельные пластины (рис. 2.4, а), с помощью которых

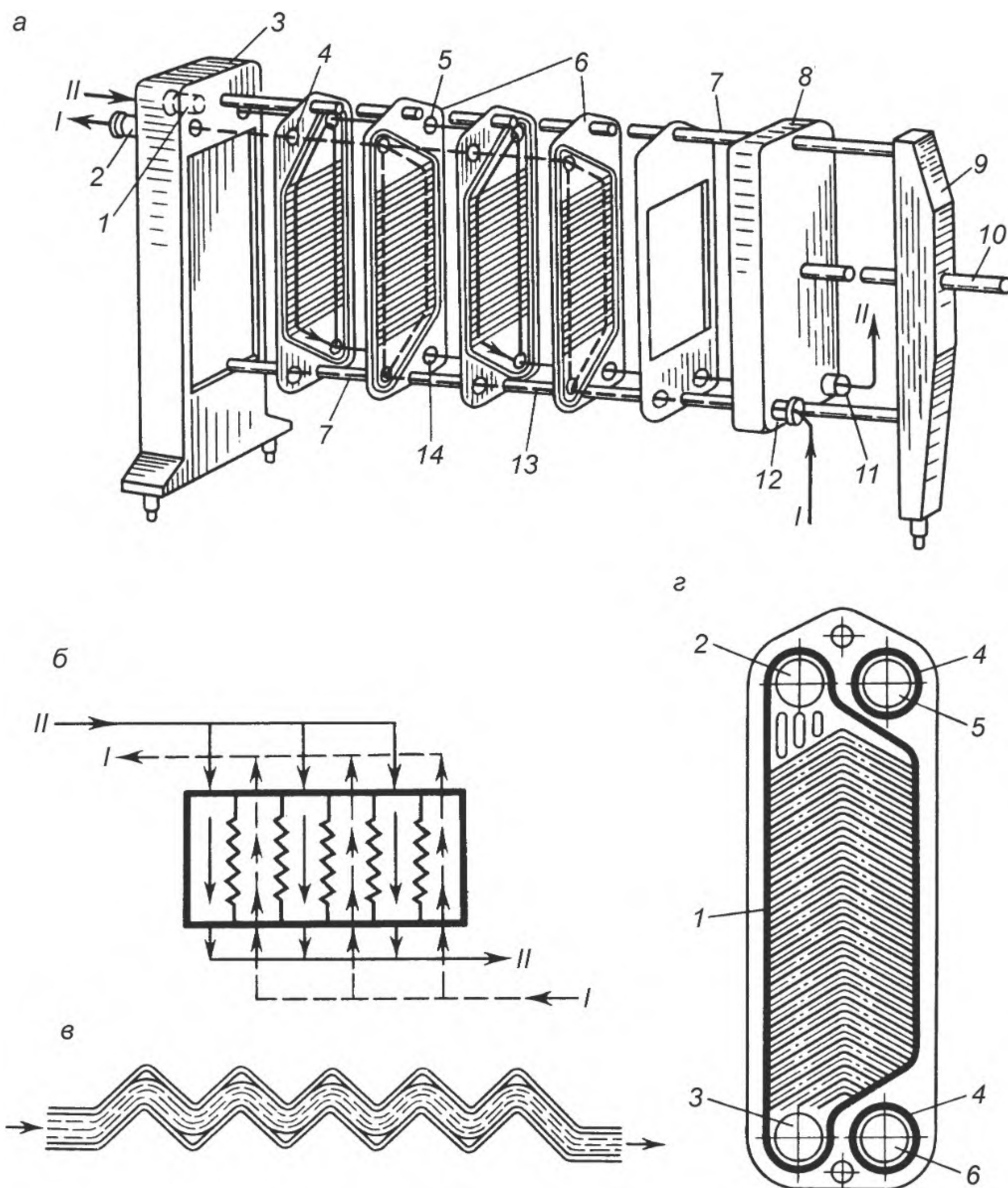


Рис. 2.4. Схемы пластинчатого теплообменника и его элементов:

а – монтажная схема однопоточного аппарата: 1, 11 – штуцера ввода и вывода теплоносителя I; 2, 12 – штуцера вывода и ввода теплоносителя II; 3 – неподвижная плита; 4, 13 – каналы для движения теплоносителя I (пунктирные линии); 5, 14 – каналы для движения теплоносителя II; 6 – четные пластины, считая слева направо (остальные пластины – нечетные), обтекаемые теплоносителем I справа и теплоносителем II слева; 7 – направляющие стержни; 8 – подвижная плита; 9 – неподвижная стойка; 10 – стяжное винтовое устройство; б – схема движения теплоносителей I и II в однопоточном (одноходовом) теплообменнике; в – характер потока жидкости в пространстве между двумя соседними гофрированными пластинами; г – устройство одного из типов пластин: 1 – прокладка, ограничивающая пространство между пластинами, по которому движется теплоноситель I (снизу вверх); 2, 3 – отверстия для прохода этого теплоносителя; 4 – две малые кольцевые прокладки, уплотняющие отверстия 5 и 6, через которые проходит теплоноситель II

создается система узких каналов (рис. 2.4, в) шириной 3–6 мм, с волнистыми стенками. Эти теплообменники применяются для нагрева (охлаждения) высоковязких жидких сред.

На рис. 2.4, а схематично показано движение теплоносителя *I* пунктирными линиями, а теплоносителя *II* – сплошными. Теплоноситель *I* поступает через штуцер 12, движется по нечетным каналам (считая справа налево) и уходит через штуцер 2. Теплоноситель *II* поступает в аппарат через штуцер 1, протекает по четным каналам и выходит через штуцер 2. Пакет пластин зажимается между неподвижной головной плитой 3 и подвижной головной плитой 8. На рис. 2.4, б также схематично показано взаимное движение теплоносителей *I* и *II* между пластинами.

Пластинчатые теплообменники достаточно просты в изготовлении, их легко разбирать и ремонтировать. Однако герметизация пластин представляет серьезную проблему. По этой же причине их применение при высоких давлениях затруднительно.

2.5. СПИРАЛЬНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

Такой теплообменник (рис. 2.5) состоит из двух спиралей, входящих одна в другую и образующих таким образом каналы четырехугольного сечения, боковые стенки которых образуют две торцевые крышки. Перегородка в центре теплообменника разделяет полости входа и выхода теплоносителей.

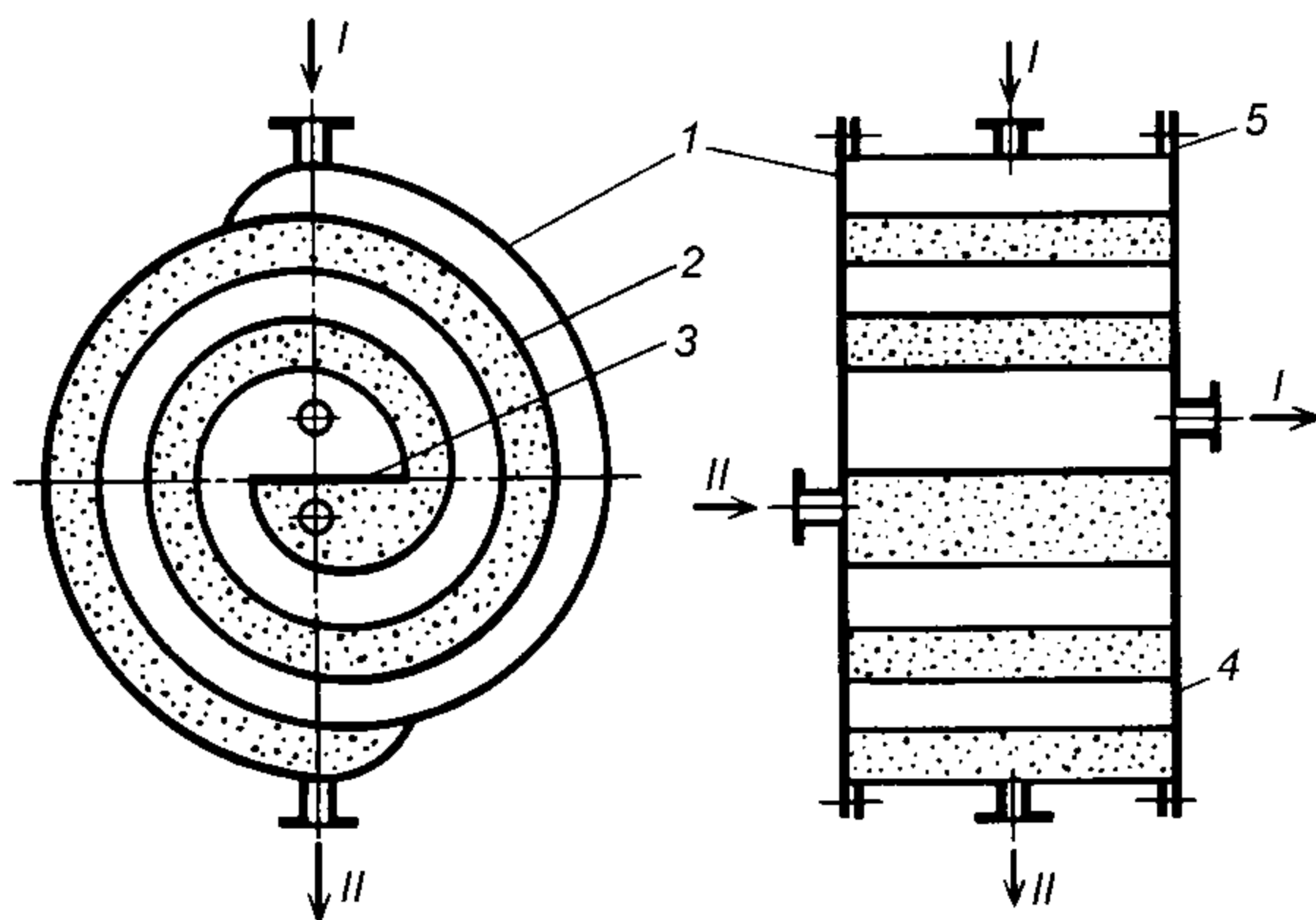


Рис. 2.5. Схема спирального теплообменника:

1, 2 – металлические листы; 3 – пластина-перегородка; 4 – крышки; 5 – фланцы; *I* и *II* – теплоносители

В этих теплообменниках поверхность теплообмена образуется двумя длинными металлическими листами 1 и 2, свернутыми по спирали. Внутренние концы листов приварены к глухой перегородке 3. Между листами образованы два изолированных друг от друга канала прямоугольного сечения (высотой 2–8 мм), по которым обычно противоток движутся теплоносители *I* и *II*. Иногда высоту канала фиксируют дистанционной полосой, которая

также способствует упрочнению всей конструкции аппарата. С торцов каналы закрыты плоскими крышками 4 и уплотнены прокладкой. Крышки крепят болтами к фланцам 5. Для ввода и вывода теплоносителей у центра крышек и наружных концов спирали приваривают штуцеры.

Спиральные теплообменники компактны, позволяют создавать высокие скорости движения теплоносителей при достаточно низких гидравлических сопротивлениях, однако эти аппараты сложны в изготовлении.

2.6. КОЖУХОТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ С КОМПЕНСАЦИЕЙ НЕОДНОРОДНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УДЛИНЕНИЙ ТРУБ И КОЖУХА

На рис. 2.6 представлены некоторые конструкции кожухотрубчатых теплообменников (в старых изданиях учебников – кожухотрубных) с компенсацией неодинаковости температурных удлинений труб и кожуха.

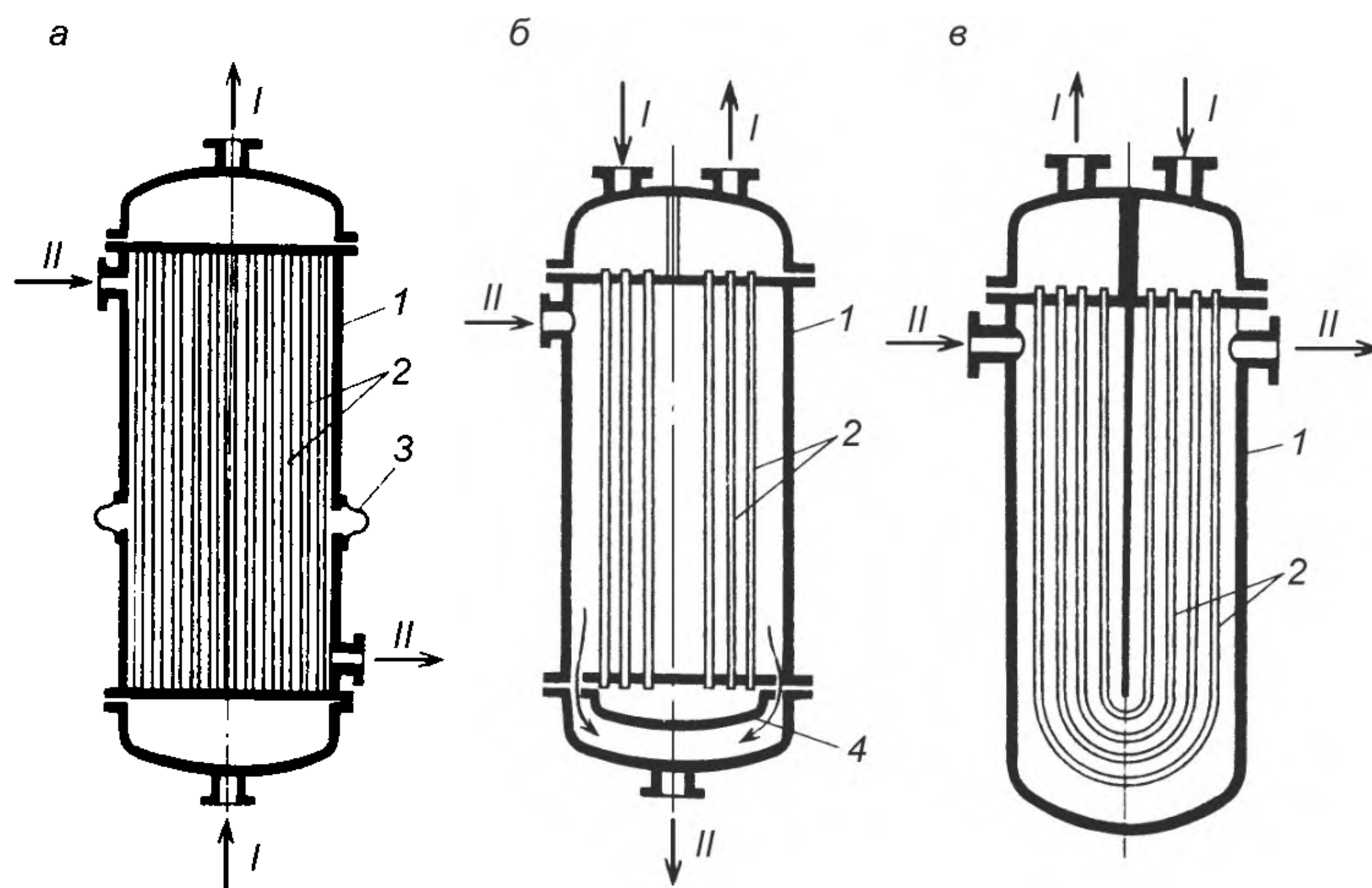


Рис. 2.6. Кожухотрубчатые теплообменники с компенсирующими устройствами:

а – теплообменник с линзовым компенсатором (полужесткая конструкция); *б* – аппарат с плавающей головкой; *в* – аппарат с U-образными трубами; 1 – кожухи; 2 – трубы; 3 – линзовый компенсатор; 4 – плавающая головка; I и II – теплоносители

Теплообменник с линзовым компенсатором 3 (рис. 2.6, *а*) на корпусе применяют при небольших температурных деформациях (не более 10–15 мм) и невысоких давлениях в межтрубном пространстве (не более 0,5 МПа). В этом аппарате температурные деформации компенсируются осевым сжатием или расширением компенсатора.

Теплообменник с плавающей головкой (рис. 2.6, *б*) применяют при значительных относительных перемещениях труб и кожуха, поскольку в нем одна из трубных решеток не соединена с кожухом и может свободно перемещаться вдоль оси при температурных удлинениях.

Теплообменник с U-образными трубами (рис. 2.6, в) представляет собой аппарат, в котором оба конца труб закреплены в одной трубной решетке, что позволяет трубам свободно удлиняться. В теплообменниках этого типа, так же как и в аппарате с плавающей головкой, наружные стенки труб довольно легко очищать от накипи и загрязнений при выемке всей трубчатки из кожуха. Однако в этом аппарате усложняется монтаж труб, затруднена очистка их внутренних стенок.

2.7. МНОГОХОДОВЫЕ (ПО ТРУБНОМУ ПРОСТРАНСТВУ) КОЖУХОТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ ЖЕСТКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотренный в подразделе 2.6 теплообменник (рис. 2.6, а) является *одноходовым*, т. е. в этом теплообменнике оба теплоносителя, не изменяя направления, движутся по всему сечению (один по трубному, другой — по межтрубному). В тех случаях, когда скорость движения теплоносителя невелика и, следовательно, низки коэффициенты теплоотдачи, целесообразно использовать *многоходовые теплообменники* (рис. 2.6, б и в, 2.7, 2.8).

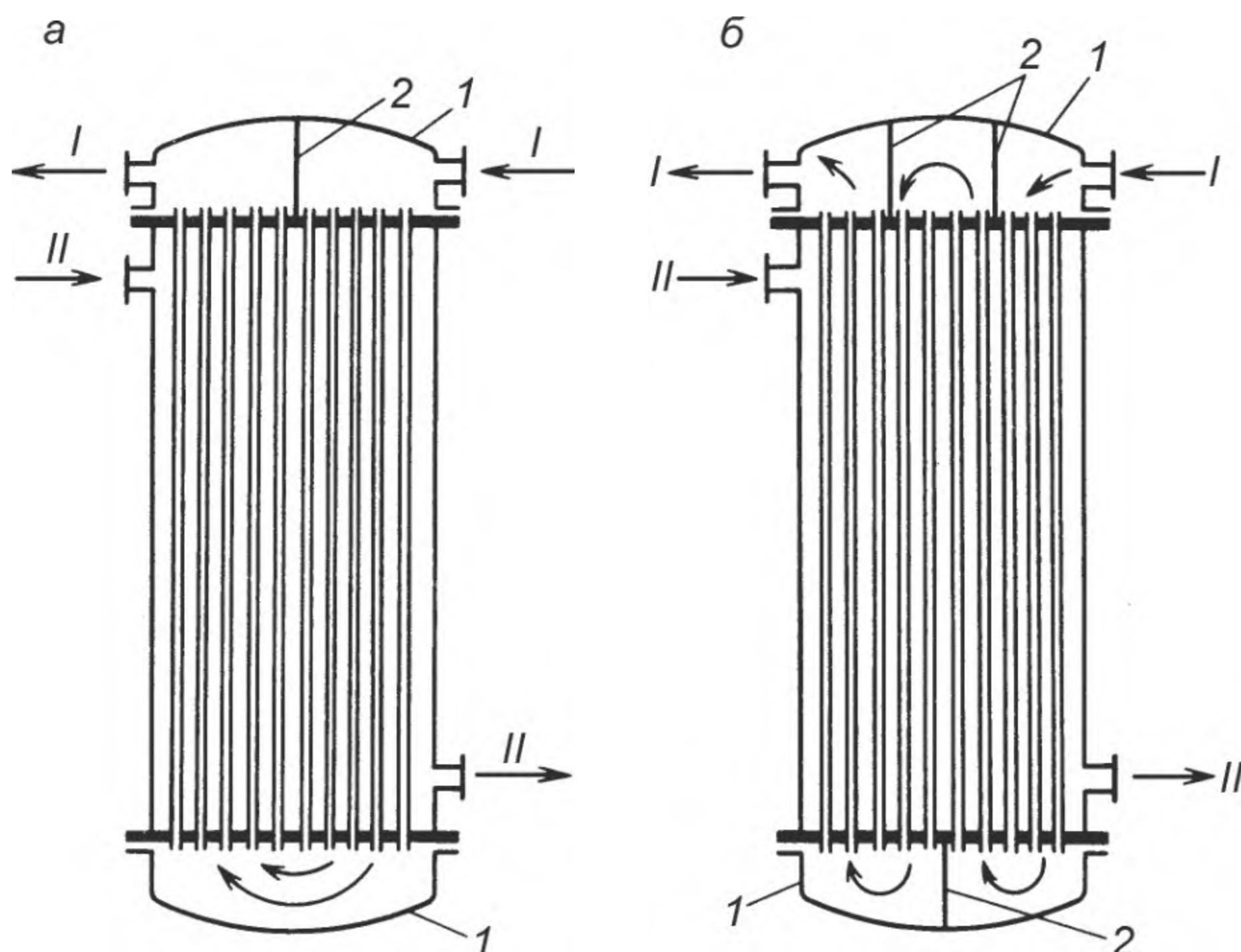


Рис. 2.7. Схемы многоходовых (по трубному пространству) кожухотрубчатых теплообменников:

а — двухходовый теплообменник; б — четырехходовый теплообменник; 1 — крышки; 2 — перегородки в крышках; I и II — теплоносители

В многоходовом по трубному пространству теплообменнике (рис. 2.7) с помощью поперечных перегородок 2, установленных в крышках теплообменников, трубный пучок разделен на секции, или ходы, по которым последовательно движется теплоноситель. При этом число труб в каждой секции обычно примерно одинаковое.

Очевидно, что в таких теплообменниках при одном и том же расходе теплоносителя скорость его движения по трубам возрастает с увеличением числа ходов.

2.8. МНОГОХОДОВЫЙ (ПО МЕЖТРУБНОМУ ПРОСТРАНСТВУ) КОЖУХОТРУБЧАТЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

Для увеличения скорости в межтрубном пространстве в этом теплообменнике (рис. 2.8) устанавливают ряд сегментных перегородок 2, которые в горизонтальных теплообменниках одновременно являются промежуточными опорами для труб.

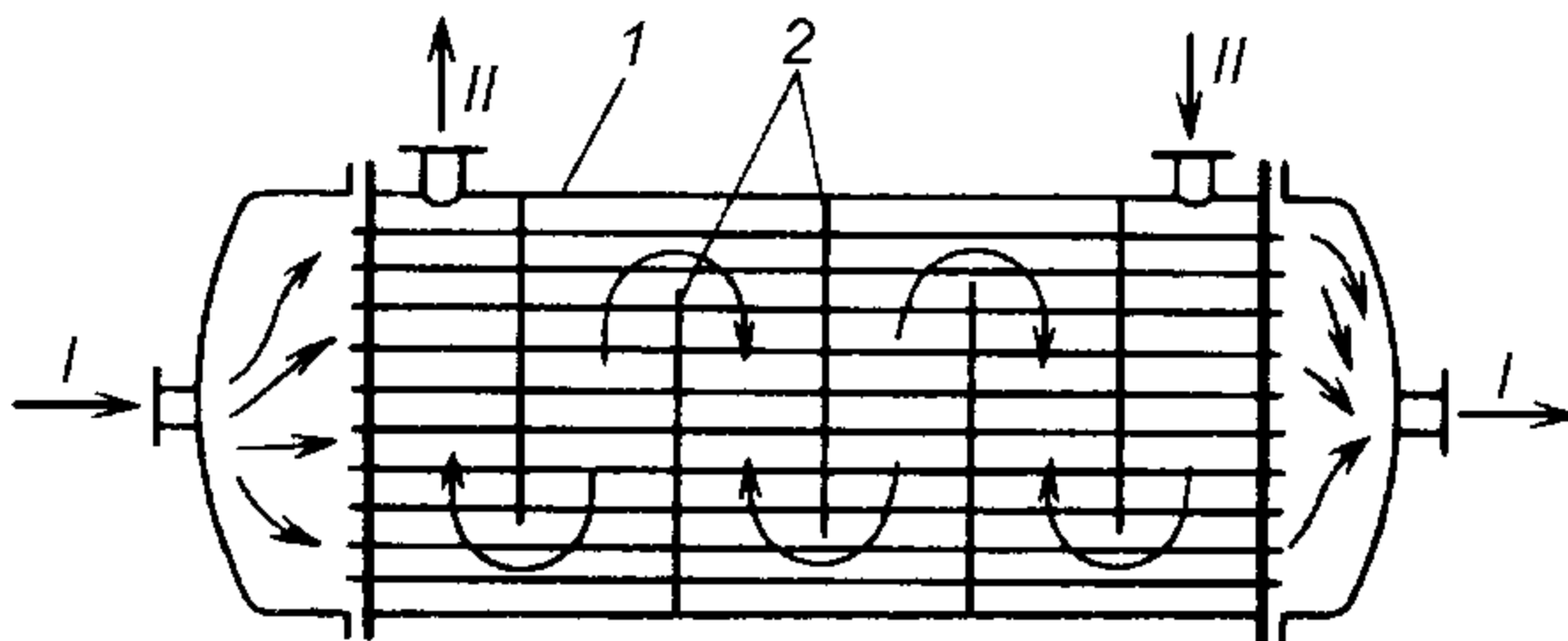


Рис. 2.8. Схема многоходового (по межтрубному пространству) кожухотрубчатого теплообменника:

1 – кожух; 2 – перегородки; I и II – теплоносители

Увеличение скорости движения теплоносителей в трубном и межтрубном пространствах теплообменника приводит к увеличению его гидравлического сопротивления и усложнению конструкции теплообменника. В таких случаях необходимо определить наиболее целесообразную с точки зрения экономики скорость движения теплоносителя. Следует отметить, что в многоходовых теплообменниках по сравнению с противоточными движущая сила процесса несколько снижается в результате того, что они работают по принципу смешанного тока.

2.9. КОЖУХОТРУБЧАТЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ЖЕСТКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Эти теплообменники достаточно просты в изготовлении и могут иметь большую поверхность теплообмена в одном аппарате; кроме того, они надежны в работе. На рис. 2.9, а показан вертикальный кожухотрубчатый теплообменник с неподвижными трубными решетками 2, в которых закрепляются трубы 3. К кожуху 1 с помощью болтов и прокладок крепятся крышка 4 и днище 5.

Один из теплоносителей I протекает по трубам, другой II – по межтрубному пространству. Теплота между теплоносителями передается через поверхность стенок труб. Обычно нагреваемый теплоноситель подается снизу, а охлаждаемый теплоноситель – сверху вниз. Это способствует более эффективному переносу теплоты, так как каждый теплоноситель и сам стремится двигаться именно в этих направлениях под влиянием изменения его плотности при нагревании или охлаждении.

Трубы в трубных решетках могут располагаться различными способами (рис. 2.9, б–г). Наиболее распространенным из них является размещение труб по вершинам правильных шестиугольников (рис. 2.9, б). На практике следует выбрать тот способ, который обеспечит максимально возможную компактность поверхности теплообмена в аппарате.

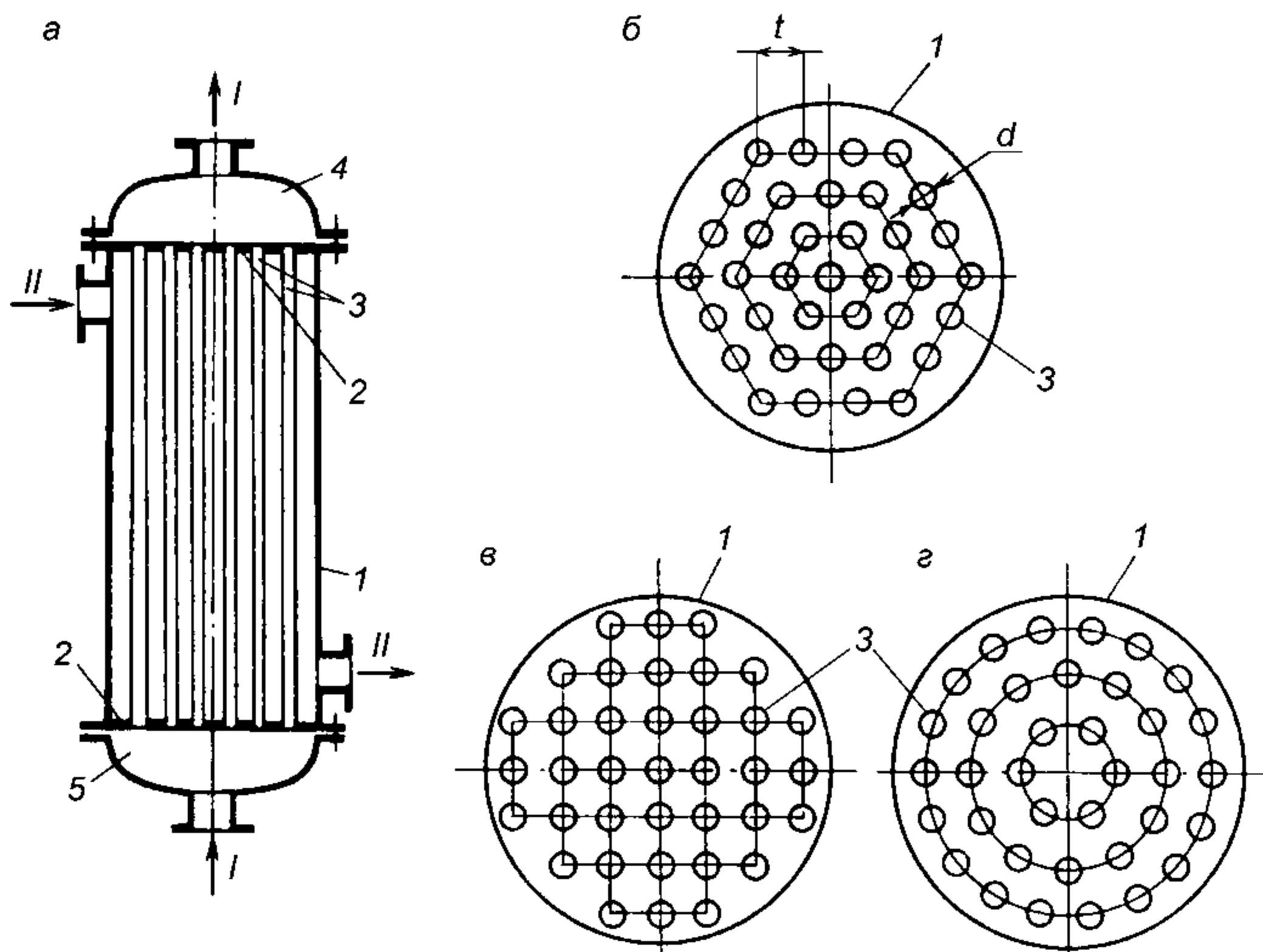
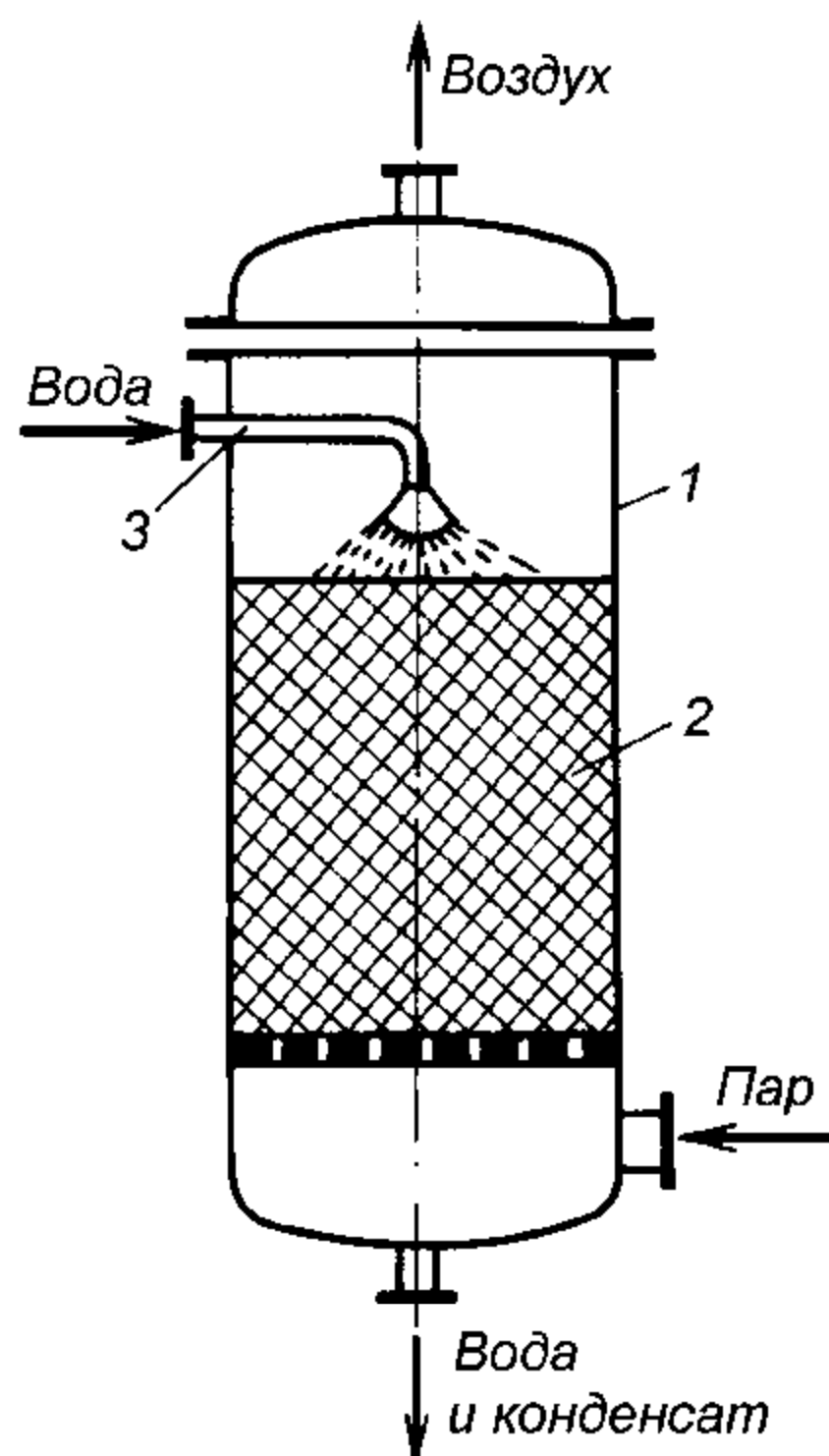


Рис. 2.9. Кожухотрубчатый теплообменник (а) и способы размещения труб в трубных решетках (б-г):

б - по вершинам правильных шестиугольников; в - по вершинам квадратов; г - по concentрическим окружностям (t - шаг труб; d - диаметр трубы); 1 - кожух; 2 - трубные решетки; 3 - трубы; 4 - крышка; 5 - днище; I и II - теплоносители



2.10. НАСАДОЧНЫЙ ТЕПЛОБМЕННИК-КОНДЕНСАТОР

Насадочные смешительные теплообменники (рис. 2.10) представляют собой цилиндр, заполненный различными по конфигурации телами - *насадкой* (см. подраздел 3.1), которая служит для развития поверхности контакта. Поскольку эти аппараты применяют для конденсации паров и охлаждения газов какой-либо жидкостью, обычно водой, то эту жидкость через распределительное устройство 3 подают на насадку; под действием силы тяжести жидкость растекается по поверхности насадки 2, увеличивая поверхность контакта с поднимающимся снизу паром или газом.

Рис. 2.10. Схема насадочного смешительного теплообменника:

1 - корпус; 2 - насадка; 3 - распределительное устройство

В полых аппаратах-цилиндрах устанавливают специальные, весьма разнообразные разбрызгиватели для увеличения поверхности контакта между водой и паром или газом. В этих аппаратах контакт между фазами происходит на поверхности капель.

2.11. ПОЛОЧНЫЕ БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

На рис. 2.11, *а* и *б* показаны полочные барометрические противоточные конденсаторы смешения, предназначенные для создания вакуума в аппаратах с паровой фазой, в частности в выпарных установках.

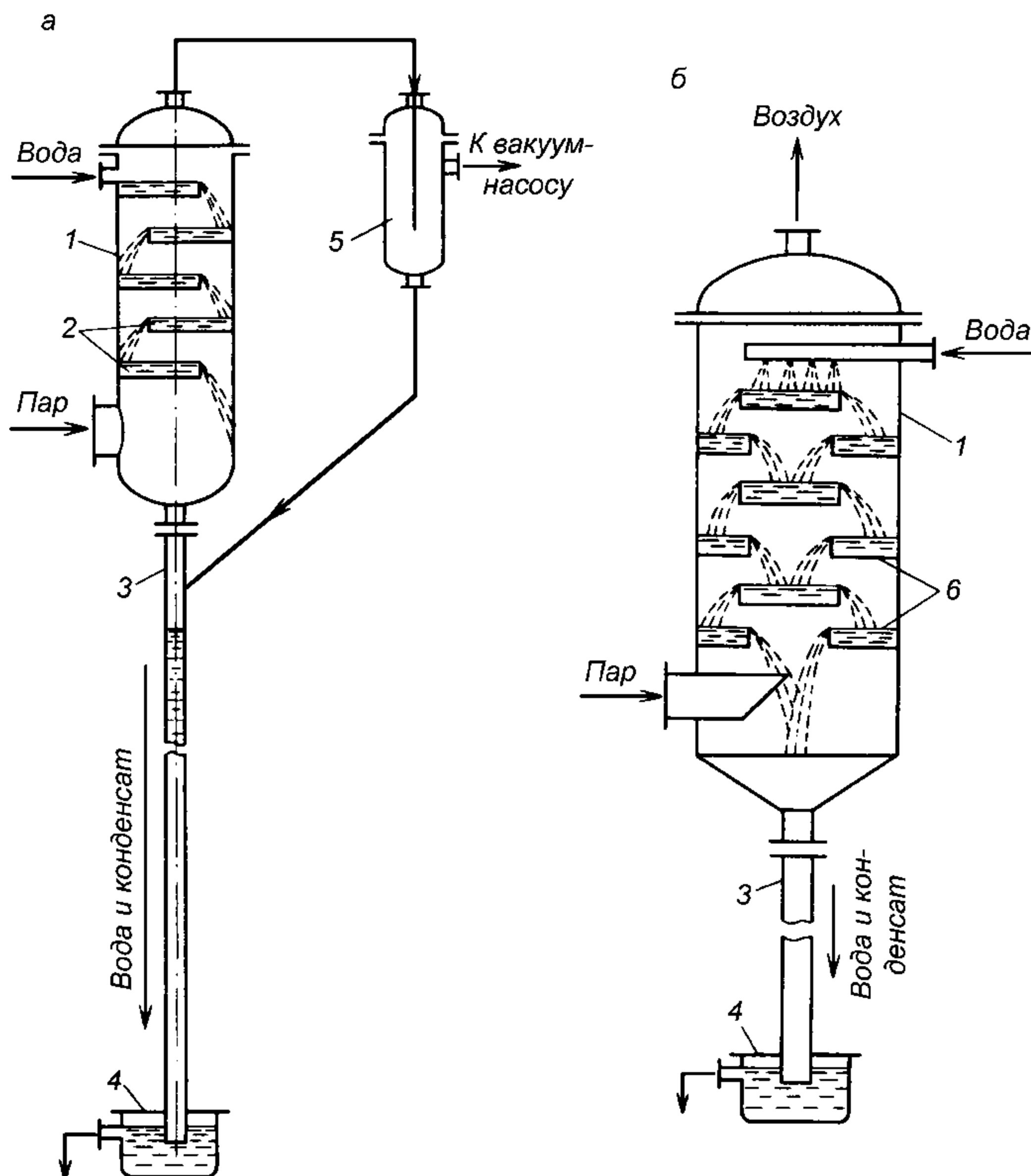


Рис. 2.11. Полочные барометрические конденсаторы:

а – противоточный полочный барометрический конденсатор; *б* – противоточный барометрический конденсатор с кольцевыми полками; 1 – корпуса; 2 – перфорированные полки; 3 – барометрические трубы; 4 – емкости; 5 – ловушка; 6 – кольцевые полки

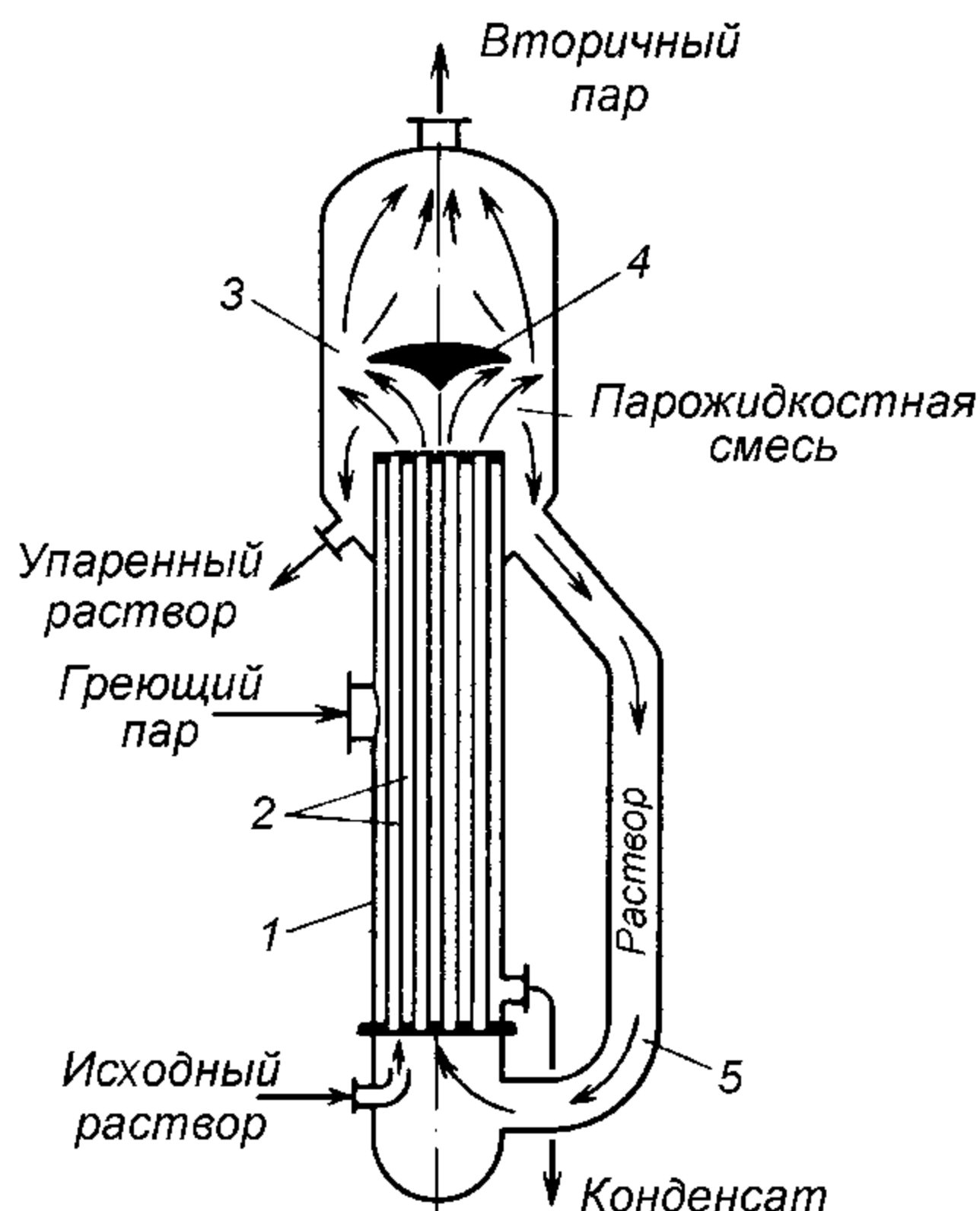
В этом аппарате пар вводят в корпус 1 конденсатора с сегментными перфорированными полками 2. Воду подают на верхнюю полку, откуда она каскадно перетекает по полкам 2, имеющим небольшие борта. Основная часть воды вытекает тонкими струйками через отверстия в полках, а оставшаяся перетекает через борт на нижерасположенную полку. При контакте с водой пар конденсируется, вследствие чего в конденсаторе и аппарате создается разрежение. Образовавшаяся смесь конденсата и воды самотеком сливается в барометрическую трубу 3 высотой около 10 м и затем в емкость 4. Барометрическая труба 3 и емкость 4 образуют гидрозатвор, который препятствует проникновению наружного воздуха в аппарат.

Из емкости 4 воду удаляют в линию оборотной воды или канализацию. Несконденсировавшийся воздух, находившийся в паре и охлаждающей воде, проходит через ловушку 5 и отсасывается вакуум-насосом для предотвращения резкого снижения разрежения в конденсаторе.

2.12. ВЫПАРНОЙ АППАРАТ С ВЫНЕСЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ТРУБОЙ И ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ РАСТВОРА

На рис. 2.12 показан выпарной аппарат с вынесенной циркуляционной трубой 5. Циркуляция раствора в таких аппаратах вызывается различием плотностей парожидкостной смеси и жидкости в кипятильных трубах и циркуляционной трубе. Скорость (кратность) циркуляции здесь невелика (скорость движения парожидкостной смеси составляет 0,3–0,8 м/с). Поэтому коэффициенты теплопередачи также относительно низкие. Аппараты с естественной циркуляцией раствора применяют для упаривания растворов не образующих осадка на греющей поверхности и пенящихся.

В этом аппарате циркуляционная труба не обогревается, следовательно раствор в ней не кипит и парожидкостная смесь не образуется. Разность



плотностей парожидкостной смеси в кипятильных трубах 2 и раствора в циркуляционной трубе больше, чем в аппаратах с центральной циркуляционной трубой, поэтому кратность циркуляции и коэффициенты теплопередачи несколько выше. Повышение скорости движения парожидкостной смеси в кипятильных трубах уменьшает возможность отложения солей, которые могут выделяться при концентрировании растворов.

Рис. 2.12. Выпарной аппарат с вынесенной циркуляционной трубой:

1 — нагревательная камера; 2 — кипятильные трубки; 3 — сепаратор; 4 — брызгоотбойник; 5 — циркуляционная труба

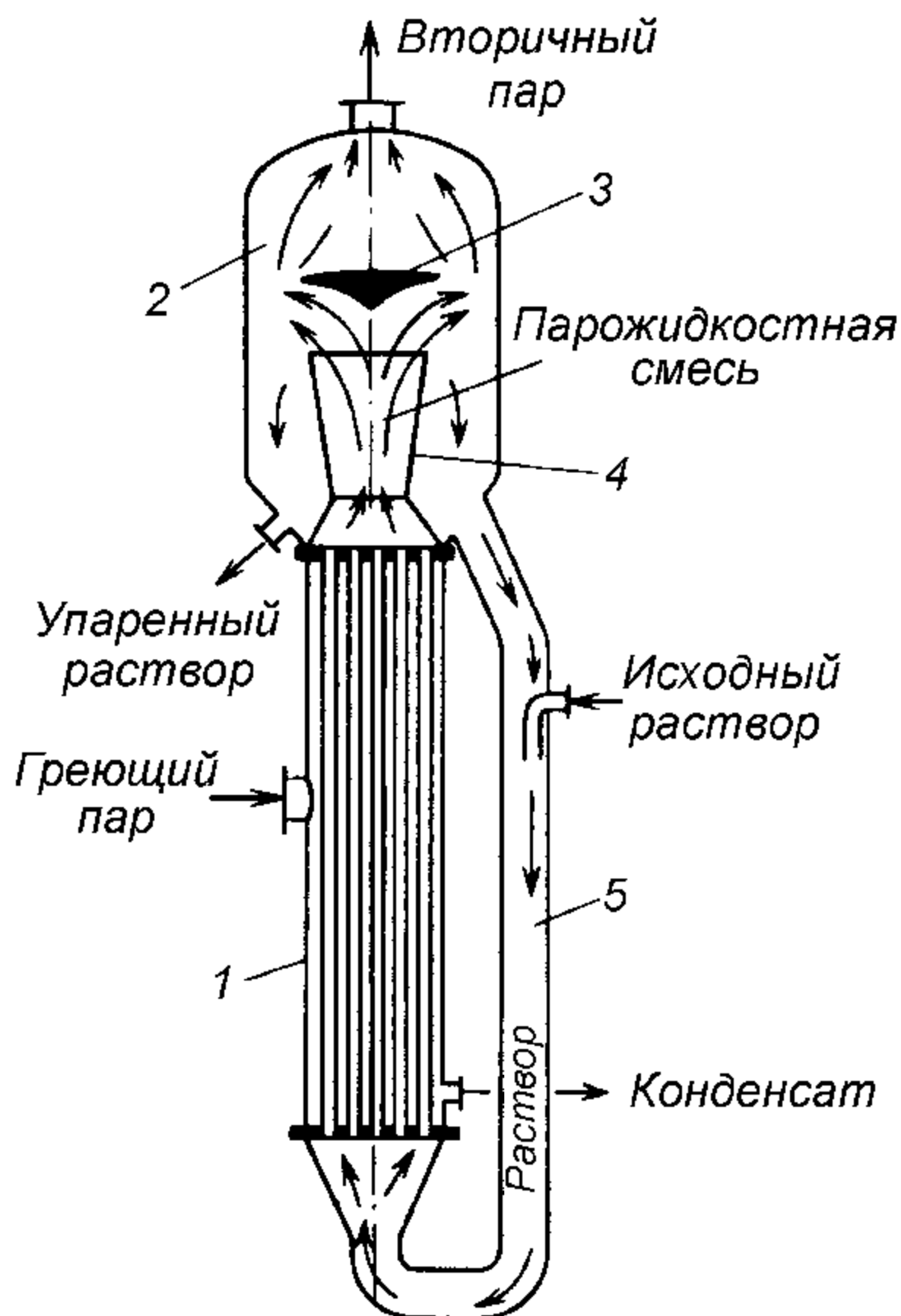
Рис. 2.13. Выпарной аппарат с вынесенной зоной кипения:

1 – нагревательная камера; 2 – сепаратор;
3 – брызгоотбойник; 4 – труба вскипания;
5 – циркуляционная труба

2.13. ВЫПАРНОЙ АППАРАТ С ВЫНЕСЕННОЙ ЗОНОЙ КИПЕНИЯ

Существенного снижения отложения солей можно достичь при использовании аппаратов с вынесенной зоной кипения (рис. 2.13). В таких аппаратах вследствие увеличенного гидростатического давления столба жидкости кипения в трубах нагревательной камеры 1 не происходит, упариваемый раствор только перегревается. При выходе перегретого раствора из этих труб в трубу вскипания 4 он попадает в зону пониженного гидростатического давления, где происходит его интенсивное закипание.

Таким образом, предотвращается возможность отложения накипи на теплообменной поверхности труб и, следовательно, увеличиваются коэффициент теплопередачи и время эксплуатации аппарата между профилактическими ремонтами.



2.14. ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ И ВЫНЕСЕННЫМИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ТРУБОЙ

Более высокие кратности циркуляции, соответствующие скоростям движения парожидкостной смеси более 2–2,5 м/с, достигаются в выпарных аппаратах с принудительной циркуляцией (рис. 2.14). Повышение кратности циркуляции обеспечивается установкой в циркуляционной трубе осевых насосов 5, обладающих высокой производительностью. В связи с более высокими скоростями движения жидкости в этих аппаратах достаточно высоки коэффициенты теплопередачи, поэтому такие аппараты могут эффективно работать при меньших полезных разностях температур (равных 3–5 °С). В аппаратах с принудительной циркуляцией можно с успехом концентрировать высоковязкие или кристаллизующиеся растворы.

В ряде случаев выпарные аппараты с принудительной циркуляцией выполняют с вынесенной нагревательной камерой (рис. 2.14, а). В этом случае появляется возможность производить замену нагревательной камеры при ее загрязнении, а иногда к одному сепаратору подсоединять две или три нагревательные камеры. Роль зоны вскипания выполняет труба, соединяющая нагревательную камеру и сепаратор. Достоинством выпарного аппарата с соосными греющей камерой и сепаратором (рис. 2.14, б) является меньшая производственная площадь, необходимая для его размещения.

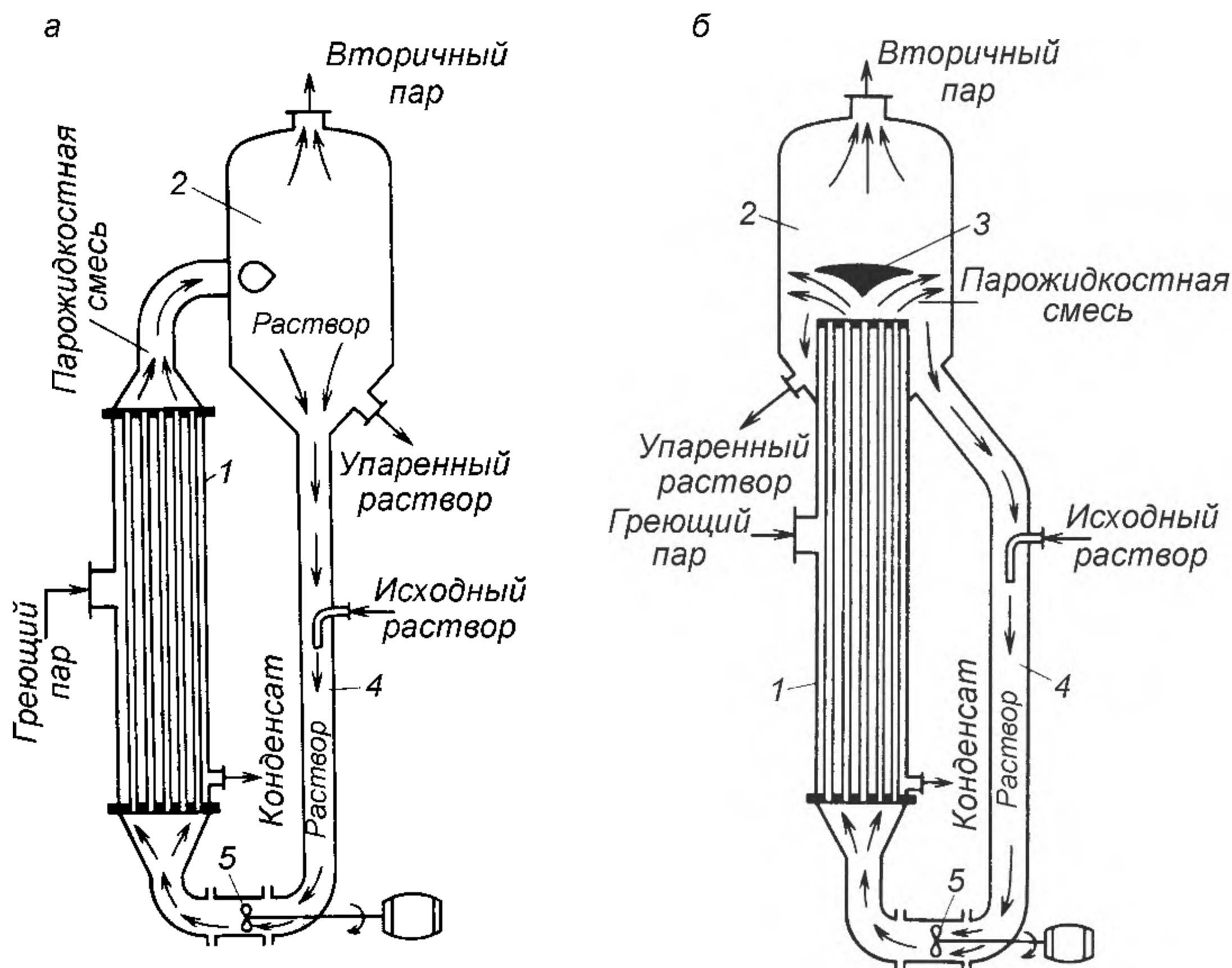


Рис. 2.14. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией и вынесенными нагревательной камерой (а) и циркуляционной трубой (б):

1 – нагревательные камеры; 2 – сепараторы; 3 – брызгоуловитель; 4 – циркуляционные трубы; 5 – насосы

2.15. ВЫПАРНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ АППАРАТЫ С ВОСХОДЯЩЕЙ И НИСХОДЯЩЕЙ ПЛЕНКОЙ

Пленочные выпарные аппараты работают без циркуляции; процесс выпаривания осуществляется за один проход жидкости по кипяtilьным трубам, причем раствор движется в них в виде восходящей или нисходящей пленки жидкости (рис. 2.15, а и б).

Как правило, эти аппараты работают при прямоточном движении раствора и образующегося вторичного пара, который занимает центральную часть труб. В связи с этим здесь отсутствует гидростатический столб парожидкостной смеси. Эти аппараты применяют для упаривания растворов, чувствительных к высоким температурам, а также склонных к интенсивному пенообразованию, так как процесс, как правило, проводят под вакуумом и при малом времени контакта с поверхностью теплообмена.

Выпарной аппарат с восходящей пленкой жидкости (рис. 2.15, а) работает следующим образом. Снизу заполняют раствором трубы на $\frac{1}{4}-\frac{1}{5}$ их высоты, подают греющий пар, который вызывает интенсивное кипение. Выделяющийся вторичный пар, поднимаясь по трубам, за счет сил поверхностного трения увлекает за собой раствор. В сепараторе пар и раствор отделяются друг от друга.

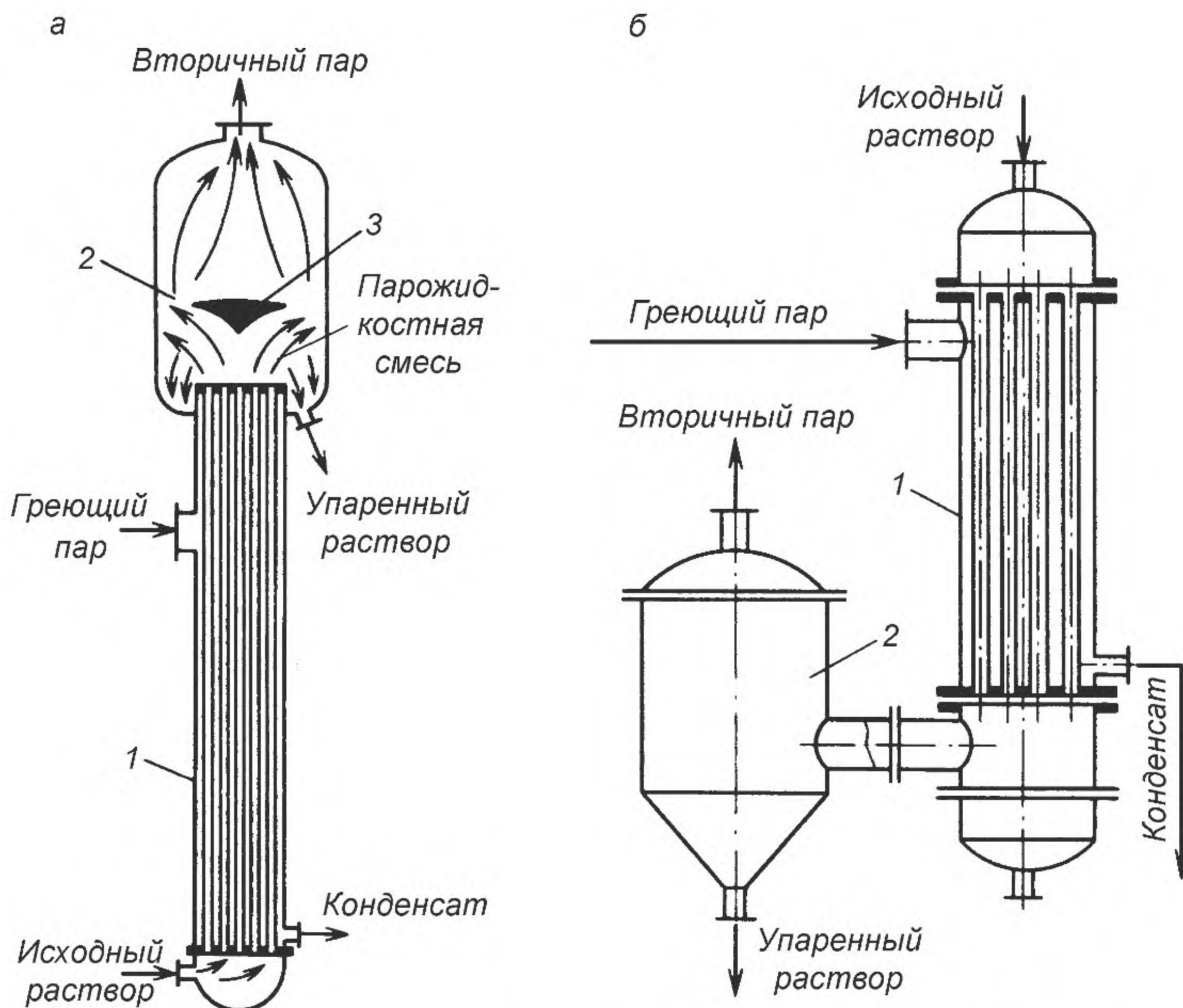


Рис. 2.15. Выпарные пленочные аппараты с восходящей (а) и нисходящей (б) пленкой жидкости:

а – аппарат с восходящей пленкой жидкости; б – аппарат с нисходящей пленкой жидкости;
1 – нагревательные камеры; 2 – сепараторы; 3 – брызгоотбойник

В выпарном аппарате с нисходящей пленкой жидкости (рис. 2.15, б) исходный раствор подают в верхнюю часть нагревательной камеры 1, где обычно расположен распределитель жидкости, из которого последняя по трубам стекает вниз. Образующийся вторичный пар также движется в нижнюю часть нагревательной камеры, откуда вместе с жидкостью попадает в сепаратор 2 для отделения от раствора.

2.16. РОТОРНЫЙ ПЛЕНОЧНЫЙ АППАРАТ

Для выпаривания и дистилляции нестойких к повышенным температурам (термолабильных) вязких и пастообразных жидких сред применяют роторные прямоточные пленочные аппараты (рис. 2.16). В роторных испарителях пленка образуется либо при вращении ротора испарителя, либо при вращении испаряемой жидкости.

Внутри цилиндрического корпуса 1 аппарата, снабженного паровыми рубашками 2, вращается ротор 3, состоящий из вертикального вала (расположенного по оси аппарата) и шарнирно закрепленных на нем скребков (лопаток) 4. Под действием центробежной силы (окружная скорость на конце

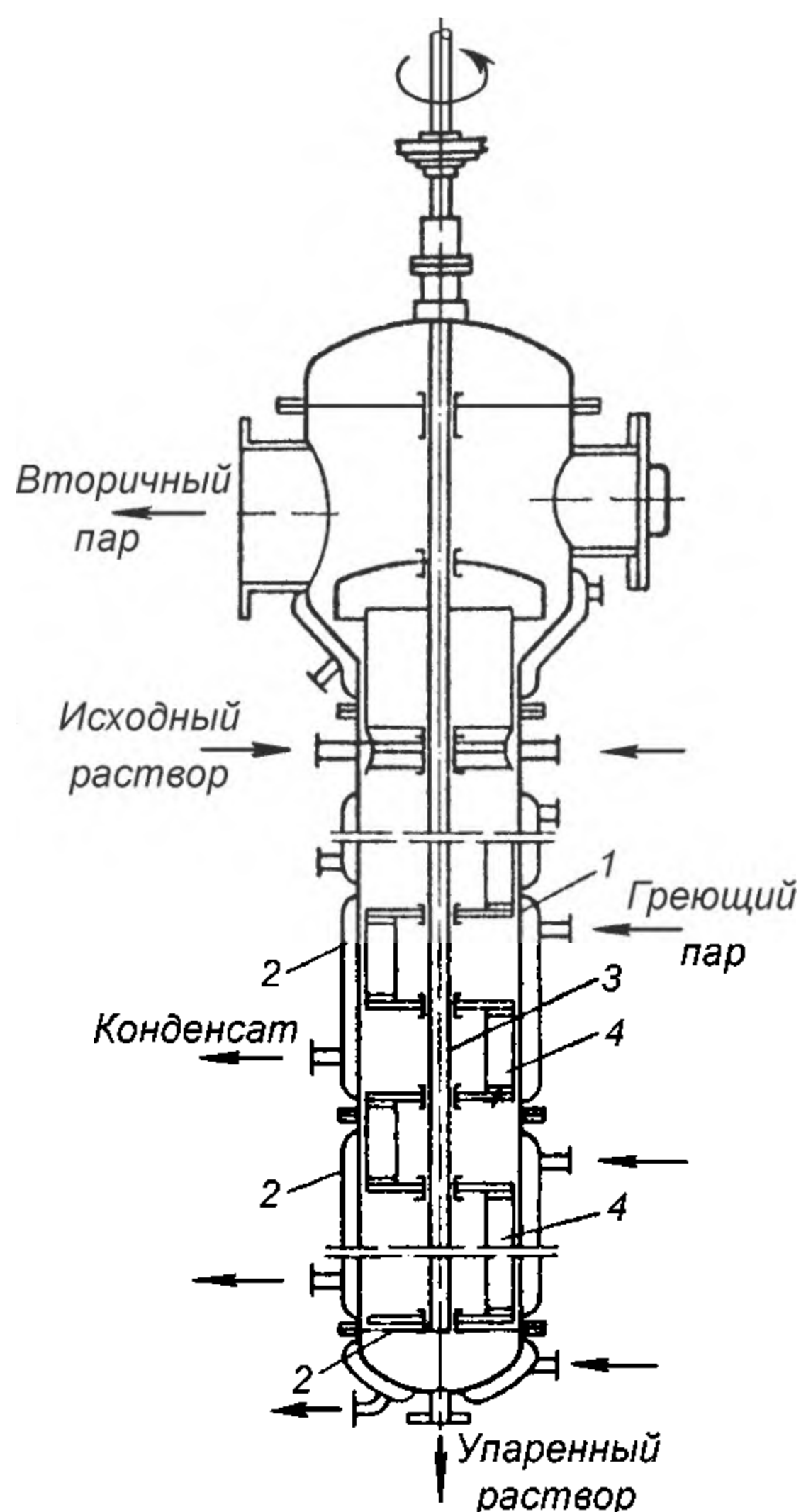


Рис. 2.16. Роторный пленочный аппарат:

1 – корпус; 2 – паровая рубашка; 3 – ротор;
4 – скребки

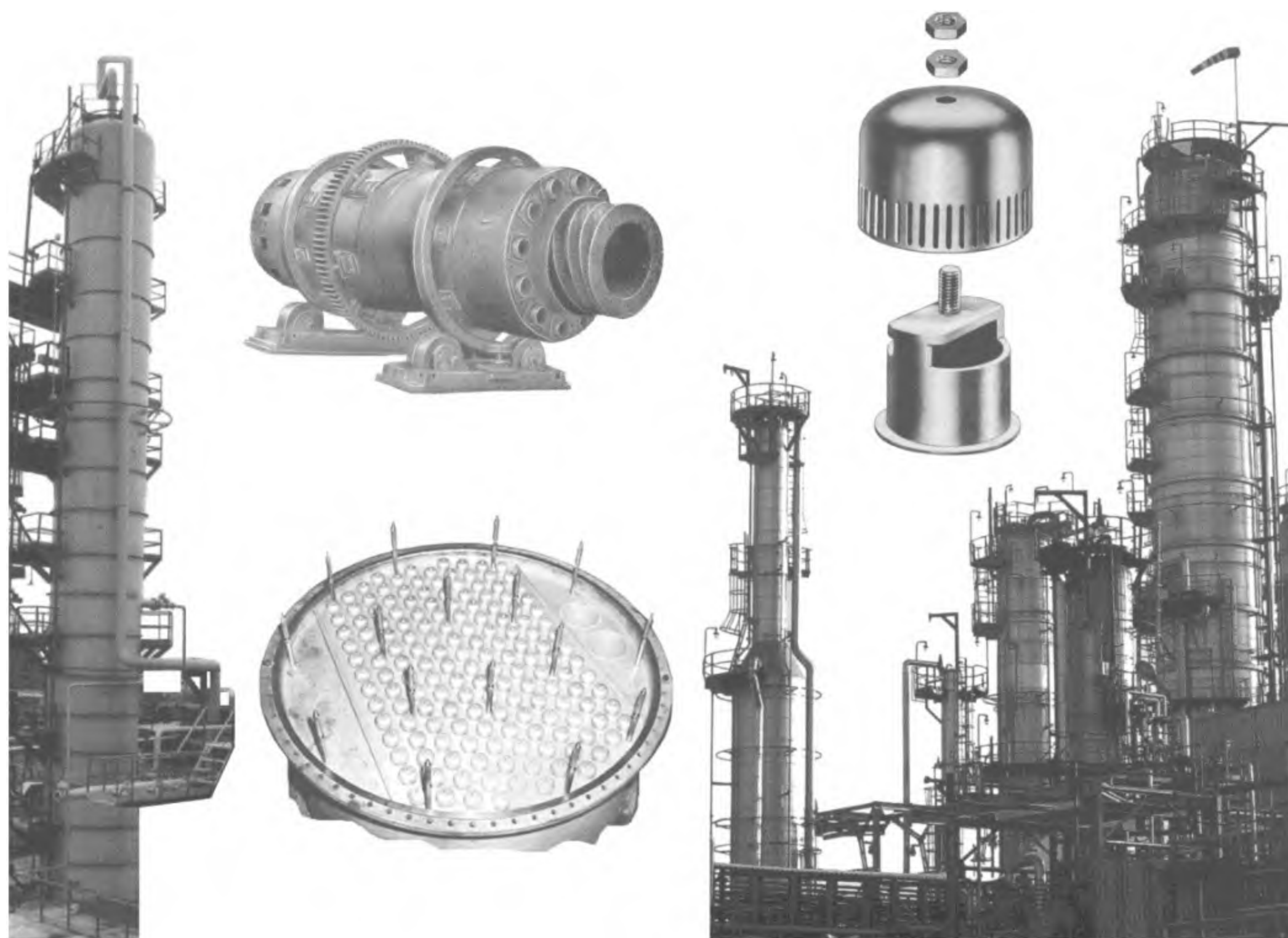
скребка ~ 3 м/с) скребки прижимаются к поверхности теплообмена и распределяют по ней жидкость в виде турбулентно движущейся тонкой пленки.

При упаривании пленки за счет парового обогрева на поверхности теплообмена аппарата образуется тонкий слой отложений, который непрерывно снимается с помощью лопаток. Обогрев аппарата осуществляется насыщенным водяным паром или органическим теплоносителем.

Благодаря малому времени пребывания в зоне нагрева, незначительности количества продукта в этой зоне и снижению температуры кипения, обработка продукта происходит без его разложения и снижения качества.

Роторные испарители – непрерывно действующие аппараты. Их применяют как в виде отдельных установок, так и в виде последней ступени многокорпусной выпарной установки.

3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ



Технологические процессы, скорость протекания которых определяется скоростью переноса вещества (массы) из одной фазы в другую, называются *массообменными (диффузионными) процессами*, а аппаратура, предназначенная для проведения этих процессов, – *массообменной аппаратурой*. Движущая сила массообменного процесса характеризуется степенью его отклонения от состояния динамического равновесия и может определяться как разность равновесной и рабочей концентраций активного (целевого) компонента. Необходимыми и достаточными условиями протекания этих процессов являются: наличие минимум двух фаз, имеющих межфазную поверхность; активный компонент, переносимый из одной фазы в другую; неравномерность его концентраций во взаимодействующих фазах.

Массообменные процессы широко используются в промышленности для решения задач разделения жидких и газовых гомогенных смесей, их концентрирования, а также для защиты окружающей природной среды (прежде всего очистки сточных вод и отходящих газов). Наибольшее распространение получили рассмотренные ниже массообменные процессы:

Абсорбция – избирательное поглощение газов (паров) из газовой смеси жидким поглотителем (*абсорбентом*). Наиболее широко используется для разделения технологических газов и очистки газовых выбросов.

Перегонка и ректификация – разделение жидких гомогенных смесей на компоненты при противоточном взаимодействии потоков жидкости и пара, полученного испарением разделяемой смеси.

Экстракция (жидкостная) – извлечение вещества, растворенного в одной жидкости, другой жидкостью (*экстрагентом*), практически не смешивающейся или частично смешивающейся с первой. Применяют для извлечения растворенного вещества (или веществ) сравнительно невысоких концентраций.

Адсорбция – избирательное поглощение газов, паров или растворенных в жидкости веществ поверхностью твердого поглотителя (*адсорбента*). Применяется для извлечения вещества (или веществ) достаточно низкой концентрации из их смеси.

Кристаллизация – выделение твердой фазы в виде кристаллов из пересыщенных растворов или расплавов. Применяется, в частности, для получения веществ повышенной чистоты.

Сушка – удаление влаги из твердых влажных материалов, в основном путем ее испарения. Применяется для предварительного обезвоживания компонентов сырья или обезвоживания готового продукта.

Ионный обмен – избирательное извлечение ионов из растворов электролитов (где извлекаемые вещества содержатся в низких концентрациях). Он заключается в обмене ионов между раствором электролита и твердыми веществами – *ионитами*.

Мембранные процессы – избирательное извлечение компонентов смеси или их концентрирование с помощью полупроницаемой перегородки – *мембраны*. Применяются для разделения газовых и жидких смесей, очистки сточных вод и газовых выбросов.

Массообменный процесс сопровождается тепловым эффектом, особенно значительным при изменении агрегатного состояния взаимодействующих фаз.

Необходимым условием работы массообменного аппарата является создание в нем развитой межфазной поверхности, турбулизация потоков взаимодействующих фаз. Из всех физических процессов химической технологии массообменные процессы имеют наиболее разнообразное и сложное аппаратное оформление. Все его многообразие связано, прежде всего, с состоянием межфазной поверхности, а именно: аппараты с геометрически фиксированной поверхностью взаимодействующих фаз; аппараты с гидродинамически подвижной, свободной поверхностью. На конструктивный тип аппарата оказывает влияние физическое состояние дисперсионной среды, агрегатное состояние и структура дисперсной фазы.

3.1. ВИДЫ НАСАДОК

В промышленности при проведении процессов массопереноса для развития поверхности контакта взаимодействующих фаз используют насадку – твердые тела, разнообразные по форме и размерам (рис. 3.1). Они изготавливаются из различных материалов (металла, керамики, пластических масс и др.), которые удовлетворяют основным требованиям при проведении того или иного процесса.

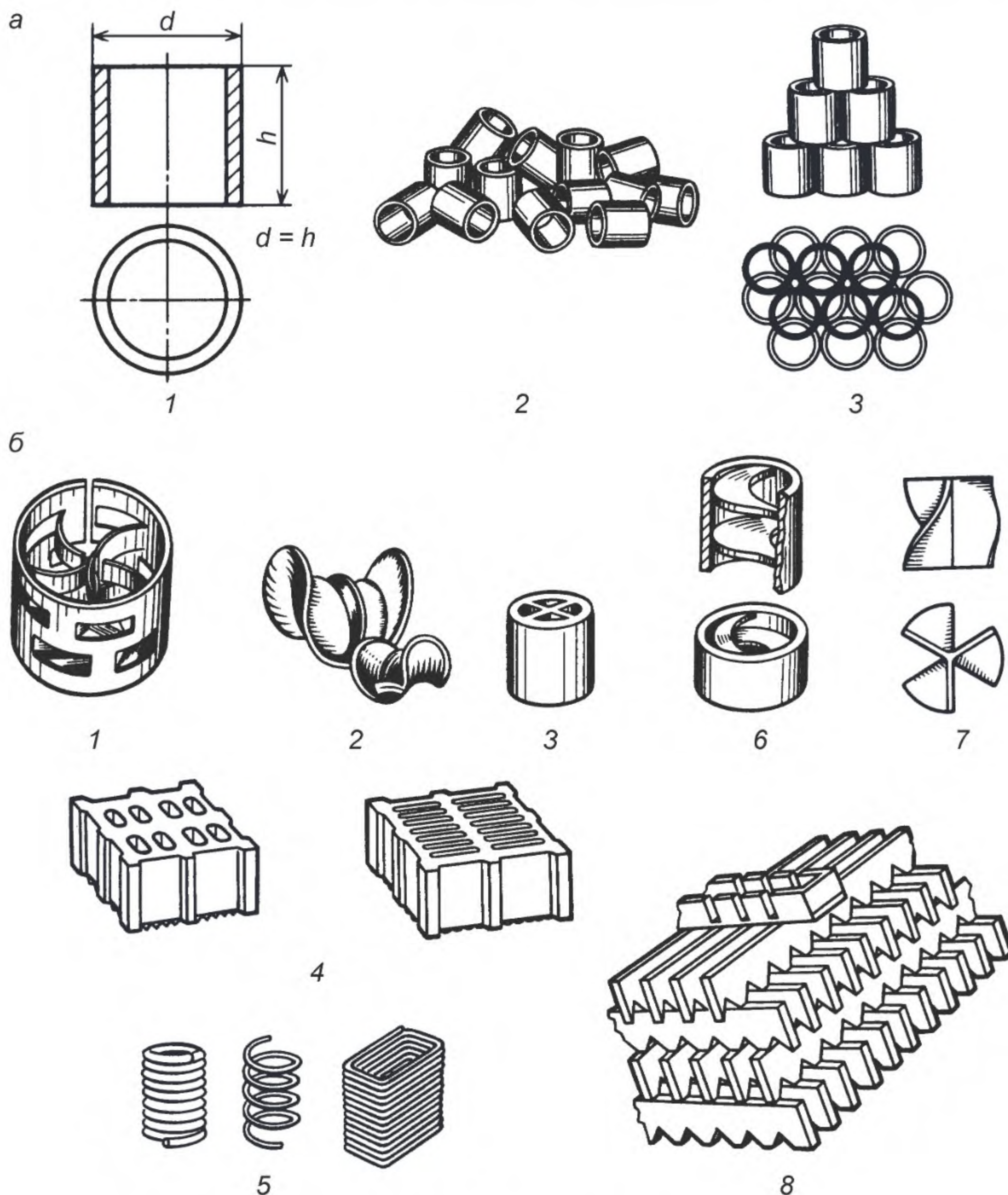


Рис. 3.1. Виды насадок:

a – насадка из колец Рашига: 1 – отдельное кольцо; 2 – кольца навалом; 3 – регулярная насадка; *б* – фасонная насадка: 1 – кольца Палля; 2 – седлообразная насадка; 3 – кольца с крестообразными перегородками; 4 – керамические блоки; 5 – насадки витые из проволоки; 6 – кольца с внутренними спиралями; 7 – пропеллерная насадка; 8 – деревянная хордовая насадка

Насадка из колец Рашига (рис. 3.1, а) имеет наиболее широкое применение. Тонкостенные кольца Рашига имеют высоту, равную диаметру, который изменяется в пределах 15–150 мм. Кольца малых размеров засыпают в колонну навалом. Большие кольца (от 50×50 мм и выше) укладывают правильными рядами, сдвинутыми друг относительно друга. Такой способ заполнения аппарата насадкой называют загрузкой в укладку, а загруженную таким способом насадку – *регулярной*.

Хордовая насадка (рис. 3.1, б) обычно применяется в колоннах большого диаметра. Несмотря на простоту ее изготовления, хордовая насадка вследствие небольших удельной поверхности и свободного сечения вытесняется более сложными и дорогостоящими видами фасонных насадок, часть из которых представлена на рис. 3.1, в.

В насадочных колоннах поверхностью контакта фаз является смоченная поверхность насадки, поэтому насадка должна иметь возможно бóльшую поверхность в единице объема. Вместе с тем, для эффективной работы она должна удовлетворять следующим требованиям: 1) хорошо смачиваться орошающей жидкостью; 2) оказывать малое гидравлическое сопротивление газовому (паровому) потоку; 3) создавать возможность для высоких нагрузок аппарата по жидкости и газу (пару); 4) иметь малую плотность; 5) равномерно распределять орошающую жидкость; 6) быть стойкой к агрессивным средам; 7) обладать высокой механической прочностью; 8) иметь невысокую стоимость.

3.2. КОЛПАЧКОВАЯ ТАРЕЛКА С КАПСУЛЬНЫМИ КОЛПАЧКАМИ

Кроме насадок в качестве контактных устройств широкое применение находят тарелки (рис. 3.2–3.7). Тарелки бывают со сливными устройствами и без них. К первой группе относятся колпачковые, ситчатые, клапанные и другие тарелки; ко второй группе – провальные.

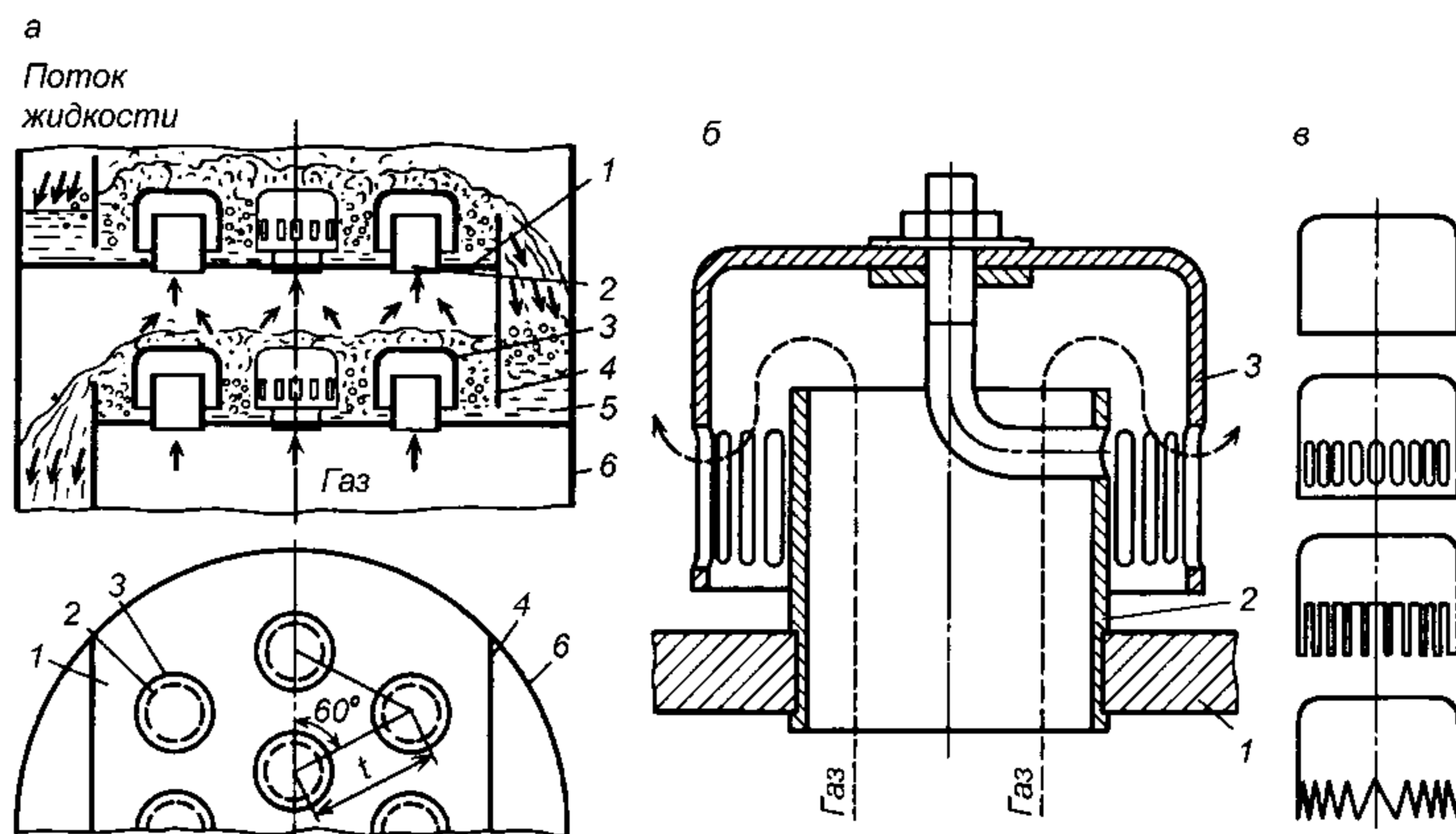


Рис. 3.2. Устройство колпачковой тарелки с капсульными колпачками:

а – две соседние тарелки; б – капсульный колпачок; в – формы капсульных колпачков; 1 – тарелки; 2 – газовые (паровые) патрубки; 3 – круглые колпачки; 4 – переточные перегородки (или трубы) с порогами; 5 – гидравлические затворы; 6 – корпус колонны

Сливные устройства это специальные приспособления для перетока жидкости – *сливные трубки, карманы* и др. Их нижние концы погружены в жидкость на нижерасположенных тарелках для создания гидрозатвора, предотвращающего прохождение газа (пара) через сливное устройство.

Принцип действия тарелок со сливными устройствами рассмотрим на примере колпачковой тарелки (рис. 3.2, а). Жидкость подается сверху вниз, движется вдоль тарелки от одного сливного устройства к другому. Газ (пар) проходит снизу через прорези колпачков (рис. 3.2, б и в) и затем попадает в слой жидкости на тарелке, высота которого регулируется в основном высотой сливного порога.

При этом газ (пар) распределяется в жидкости в виде пузырьков и струй, образуя слой пены, в которой происходят основные процессы массо- и теплопереноса. Эта пена нестабильна, и при подходе ее к сливному устройству жидкость осветляется.

3.3. СИТЧАТАЯ ПЕРЕТОЧНАЯ ТАРЕЛКА

Ситчатые тарелки (рис. 3.3) представляют собой перфорированные диски с большим числом отверстий диаметром 2–8 мм, которые равномерно просверлены по всей поверхности.

Уровень жидкости на тарелке 1 поддерживается переливным устройством 2. Газ (пар) проходит через отверстия тарелки и барботирует через слой жидкости (распределяется в слое жидкости в виде мелких струек и пузырьков).

При слишком малой скорости газа (пара) его давление не может удержать слой жидкости, соответствующий высоте перелива, и жидкость может просачиваться (или «проваливаться») через отверстия тарелки на нижерасположенную тарелку, что приводит к существенному снижению движущей силы процесса. Поэтому газ (пар) должен двигаться с определенной скоростью и иметь давление, достаточное для того, чтобы преодолеть давление слоя жидкости на тарелке и предотвратить стекание жидкости через отверстия тарелки. Однако при слишком больших нагрузках жидкость будет уноситься потоком газа (пара) на вышележащие тарелки.

Ситчатые тарелки обладают более узким диапазоном работы по сравнению с колпачковыми, но отличаются простотой устройства, низким гидравлическим сопротивлением, легкостью монтажа, осмотра и ремонта.

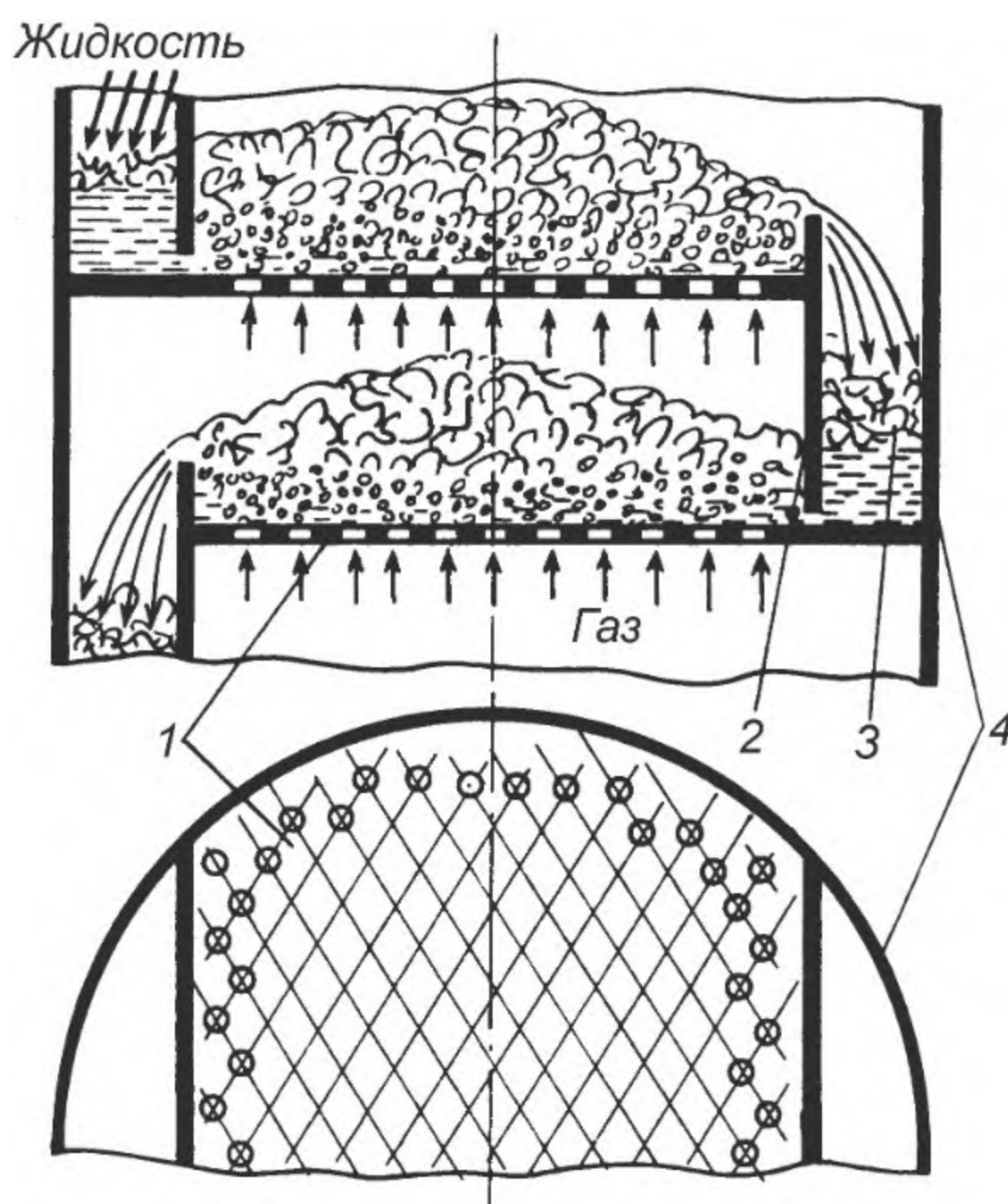


Рис. 3.3. Устройство ситчатых переточных тарелок:

1 – тарелки; 2 – переливные устройства; 3 – гидрозатворы; 4 – корпус колонны

3.4. КЛАПАННАЯ ТАРЕЛКА

Клапанные тарелки (рис. 3.4) эффективны в широком интервале нагрузок по газу (пару). Принцип действия клапанных тарелок (рис. 3.4, а) состоит в том, что клапан 2, свободно лежащий над отверстием в тарелке 1, с изменением расхода газа (пара) увеличивает подъем и соответственно площадь зазора между клапаном и плоскостью тарелки для прохода газа (пара). Поэтому скорость газа (пара) в этом зазоре, а значит и во входе в слой жидкости на тарелке, остается приблизительно постоянной, что обеспечивает неизменно эффективную работу тарелки. Гидравлическое сопротивление тарелки при этом увеличивается незначительно. Высота подъема клапана определяется высотой ограничителя 7 (рис. 3.4, б) и обычно не превышает 6–8 мм. Диаметр отверстий под клапаном составляет 35–40 мм, а диаметр самого клапана 45–50 мм.

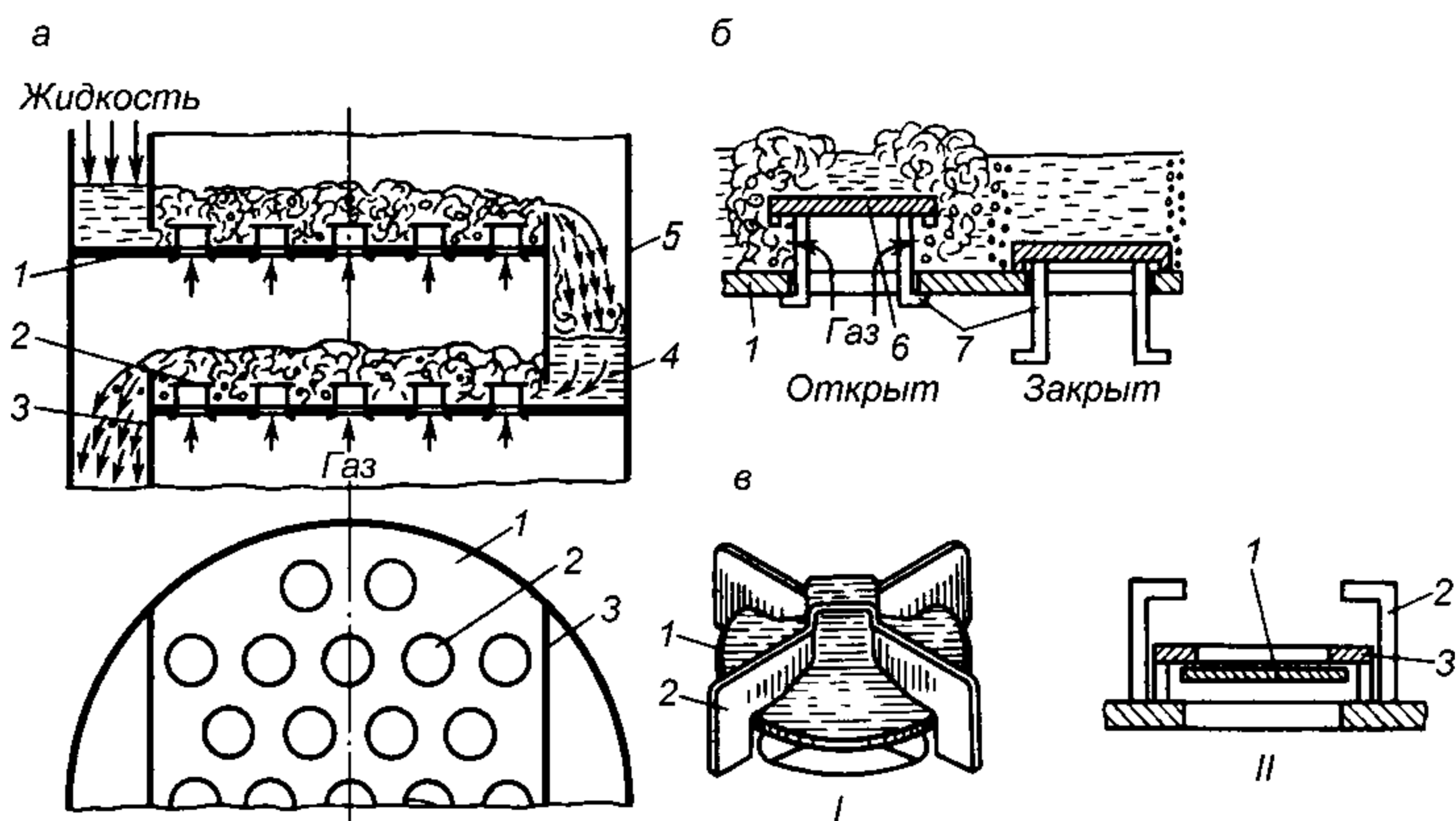


Рис. 3.4. Устройство клапанных тарелок:

а — две соседние тарелки с круглыми клапанами; б — принцип работы клапана; 1 — тарелка; 2 — клапан; 3 — переточная перегородка с порогом; 4 — гидравлический затвор; 5 — корпус колонны; 6 — диск клапана; 7 — ограничители подъема клапана; в — круглые клапаны с верхним ограничителем (I) и с балластом (II): 1 — дисковый клапан; 2 — ограничитель; 3 — балласт

Клапанные тарелки по сравнению с рассмотренными выше типами тарелок имеют повышенное гидравлическое сопротивление, обусловленное весом клапана, и усложненную конструкцию. Они применяются для работы в условиях значительно меняющихся скоростей газа (пара).

3.5. ПЛАСТИНЧАТАЯ ТАРЕЛКА

В отличие от тарелок, рассмотренных выше, пластинчатые тарелки (рис. 3.5) работают при однонаправленном движении фаз.

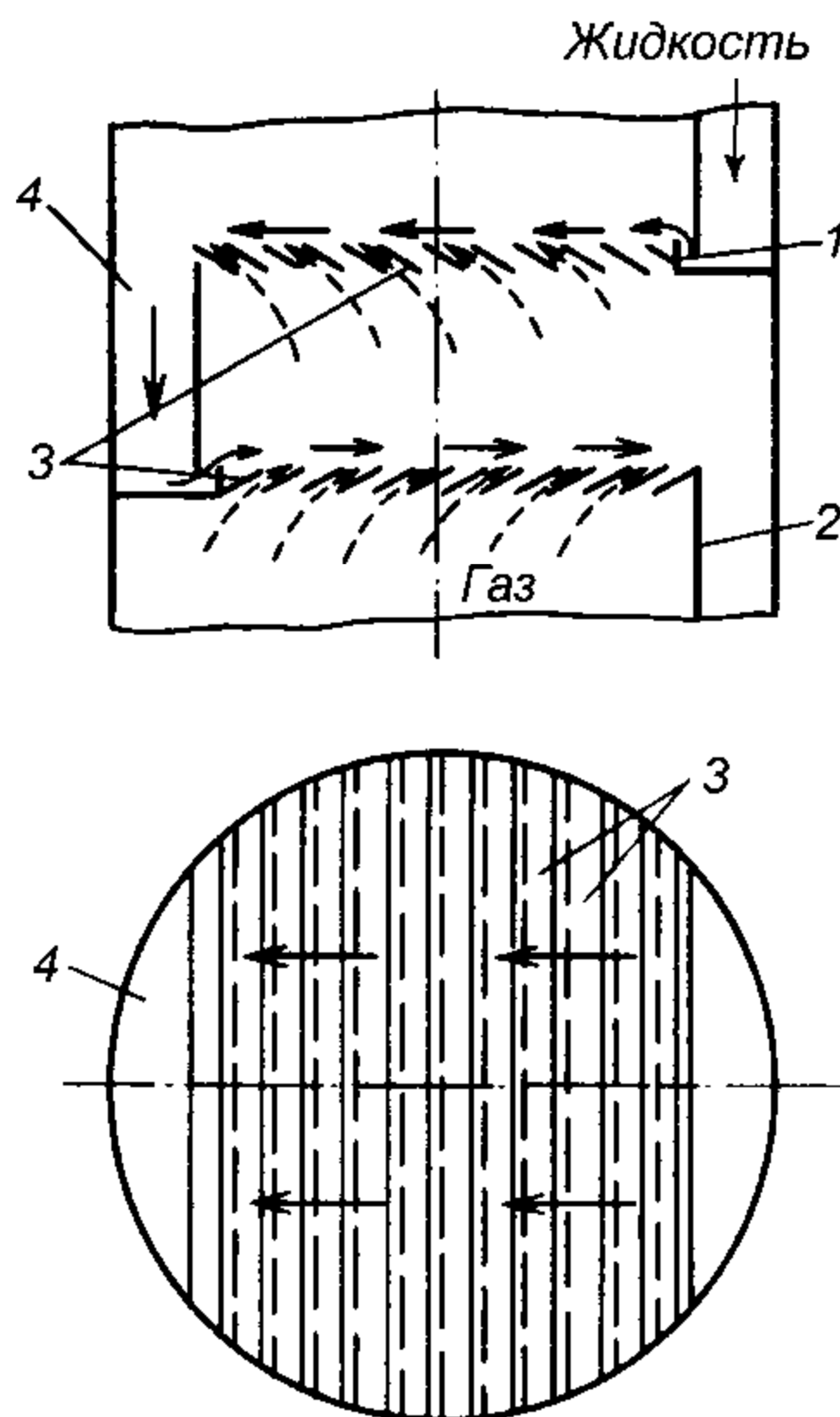
На пластинчатой тарелке жидкость, движение которой показано на рисунке сплошными стрелками, поступает с вышележащей тарелки в гидравлический затвор 1 и через переливную перегородку 2 попадает на тарелку,

Рис. 3.5. Устройство пластинчатых тарелок:

1 – гидравлический затвор; 2 – переливная перегородка; 3 – пластины; 4 – сливной карман

состоящую из ряда наклонных пластин 3. Дойдя до первой щели, образованной наклонными пластинами, жидкость встречается с газом или паром (пунктирные стрелки), который с большой скоростью (20–30 м/с) проходит сквозь щели. При этом происходит частичное диспергирование жидкости газовым (паровым) потоком и отбрасывание ее к следующей щели, где процесс взаимодействия фаз повторяется.

Поэтому на такой тарелке жидкость с большой скоростью в основном в виде капли движется от переливной перегородки 2 к сливному карману 4. На пластинчатых тарелках нет необходимости в установке переливного порога у кармана 4, что уменьшает их гидравлическое сопротивление.



3.6. ПРОВАЛЬНАЯ ТАРЕЛКА

В тарелках без сливных устройств газ (пар) и жидкость проходят через одни и те же отверстия или щели. При этом одновременно с взаимодействием фаз на тарелке происходит сток жидкости на нижерасположенную тарелку – «проваливание» жидкости. Поэтому тарелки такого типа часто называют *провальными*. На рис. 3.6 изображены две соседние дырчатые провальные тарелки.

Гидродинамические режимы работы провальных тарелок специфичны тем, что нормальная их работа возможна только после достижения определенной скорости газа (пара).

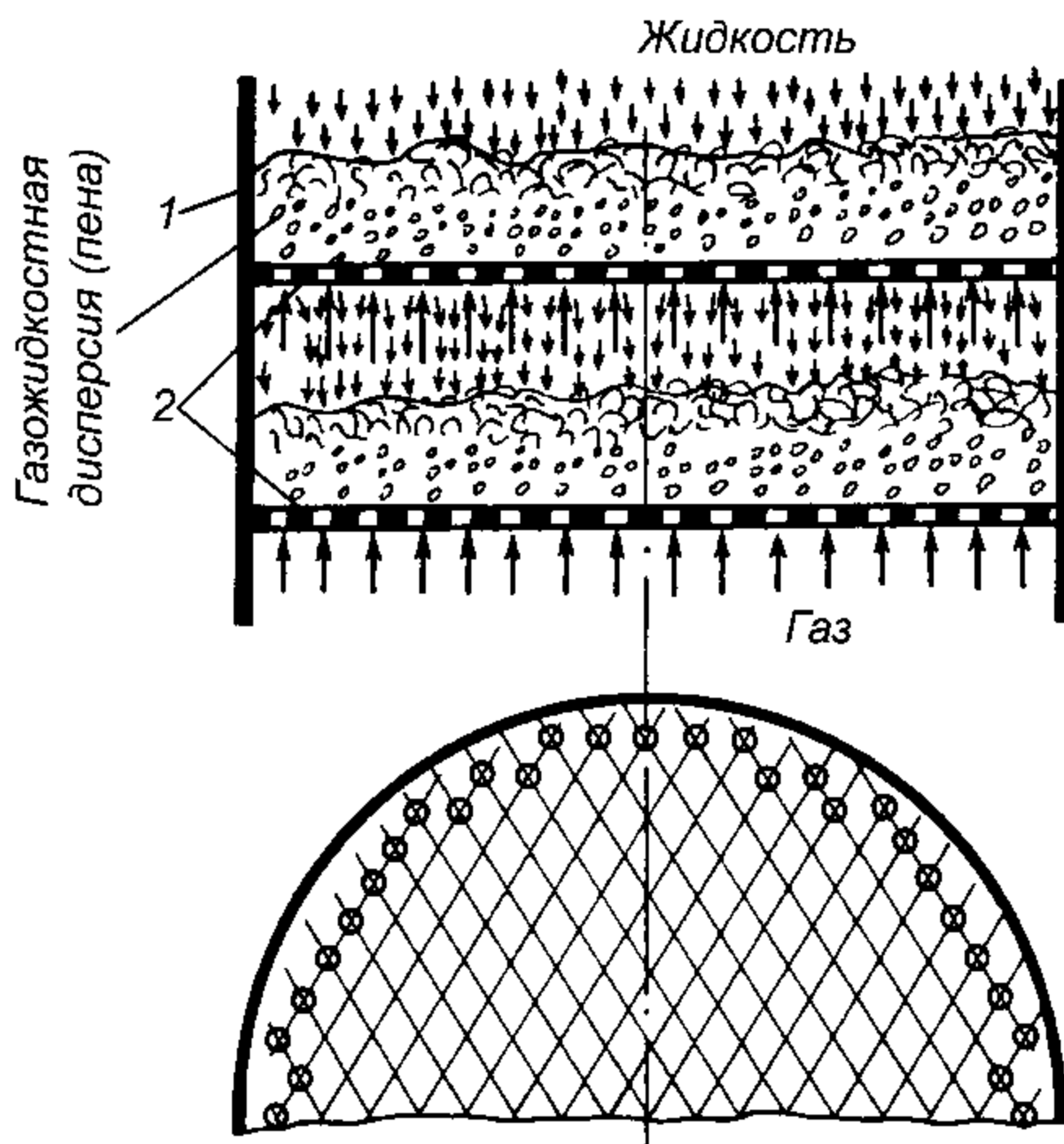


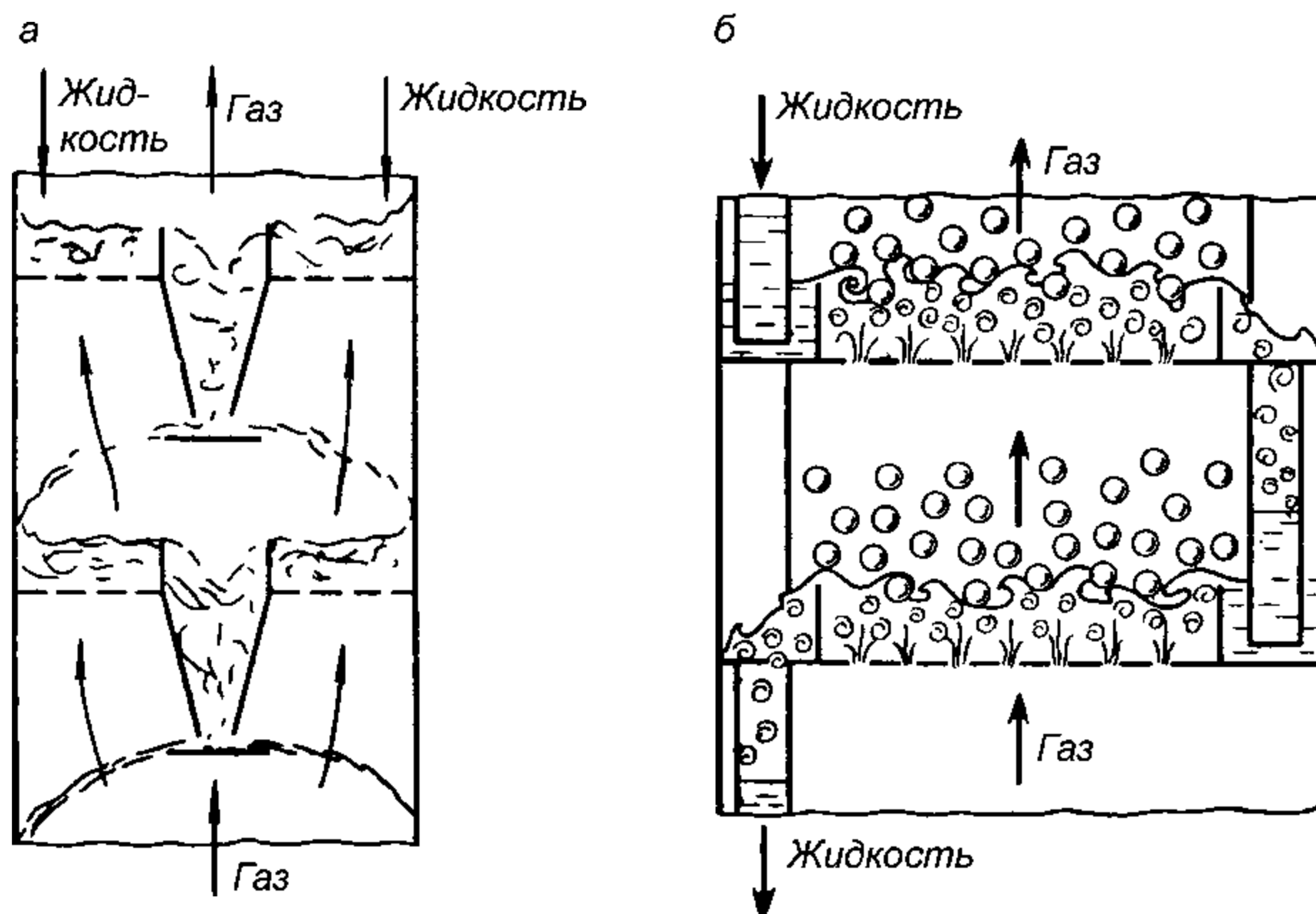
Рис. 3.6. Устройство провальных тарелок:

1 – колонна; 2 – тарелки

3.7. ТИПЫ ИНТЕНСИВНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

На рис. 3.7, *а* и *б* приведены типы тарелок, на которых осуществляются интенсивные режимы взаимодействия газовой (паровой) и жидкой фаз.

Тарелки с двумя зонами контакта фаз (рис. 3.7, *а*) имеют дополнительную зону контакта фаз за счет специально организованного слива жидкости с одной тарелки на другую. Газ (пар) проходит через пленку жидкости (дополнительная зона контакта фаз) и барботирует через жидкость на тарелке. Как показывают исследования, сепарирующее действие пленки позволяет повысить скорость газа (пара) в колонне по сравнению с ситчатыми и колпачковыми тарелками.



3.7. Типы интенсивных контактных устройств:

а – тарелки с двумя зонами контакта фаз; *б* – тарелки с подвижной шаровой насадкой

Тарелки с шаровой насадкой (рис. 3.7, *б*) являются разновидностью устройств, в которых поверхность контакта фаз развивается потоком газа (пара). Слой шаров, помещенных на тарелку ситчатого или провального типа, образует плотную сепарирующую завесу между тарелками при определенном расходе газа (пара).

3.8. НАСАДОЧНЫЕ АБСОРБЕРЫ

Насадочные абсорберы получили наибольшее применение по сравнению с абсорбционными аппаратами других типов. Они представляют собой колонны, заполненные насадкой – твердыми телами различной формы (см. подраздел 3.1). В насадочной колонне 1 (рис. 3.8, *а*, *б*) насадка 3 укладывается на опорные решетки 4, имеющие отверстия или щели для прохождения газа и стока жидкости, которая достаточно равномерно орошает насадку 3 с помощью распределителя 2 и стекает по поверхности насадочных тел в виде тонкой пленки вниз.

Часто насадку в колонну загружают секциями высотой в четыре-пять диаметров (но не более 3–4 метров в каждой секции), а между секциями (слоями насадки) устанавливают перераспределители жидкости 5 (рис. 3.8, *б*),

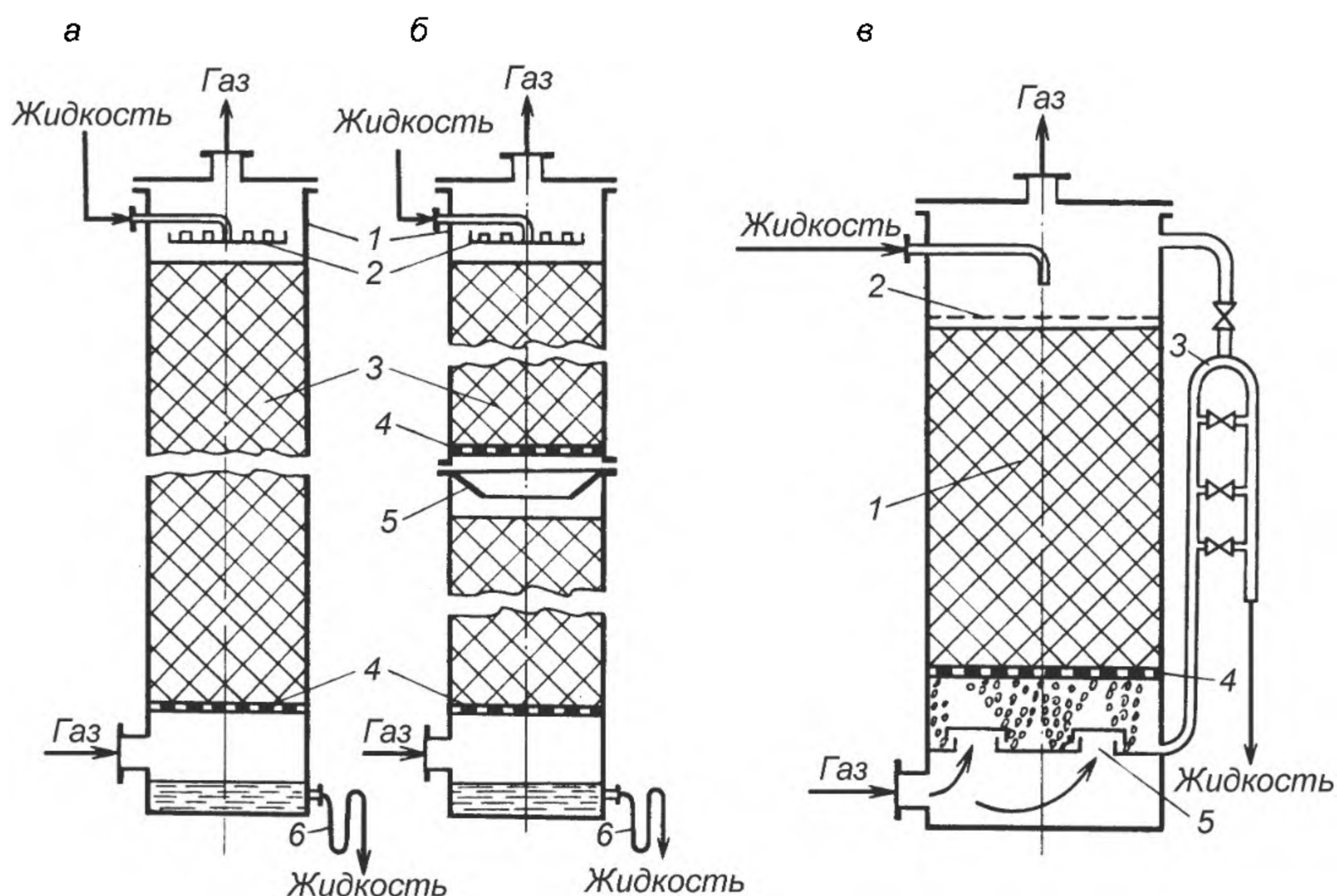


Рис. 3.8. Насадочные абсорберы:

а – со сплошным слоем насадки; *б* – с секционной загрузкой насадки: 1 – корпуса; 2 – распределители жидкости; 3 – насадка; 4 – опорные решетки; 5 – перераспределитель жидкости; 6 – гидравлические затворы; *в* – эмульгационная насадочная колонна: 1 – насадка; 2 – сетка, фиксирующая насадку; 3 – гидравлический затвор; 4 – опорная решетка; 5 – распределитель газа

назначение которых состоит в направлении жидкости от периферии колонны к ее оси. В эмульгационной насадочной колонне (рис. 3.8, *в*) постоянно поддерживается режим эмульгирования, который соответствует максимальной эффективности насадочных колонн.

Следует отметить, что аппараты этого типа также используются для проведения процесса ректификации (см. подраздел 3.10).

3.9. ПЛЕНОЧНЫЙ АБСОРБЕР

В пленочных абсорберах (рис. 3.9) поверхностью контакта фаз является поверхность жидкости, текущей по твердой, обычно вертикальной стенке. К этому виду аппаратов относятся: 1) трубчатые абсорберы; 2) абсорберы с плоскопараллельной или листовой насадкой; 3) абсорберы с восходящим движением пленки жидкости.

Пленочные противоточные аппараты применяются при больших производительностях по газу, необходимости малых гидравлических сопротивлений и сравнительно невысокой степени извлечения компонентов.

По устройству трубчатый пленочный абсорбер аналогичен кожухотрубчатому теплообменнику. Абсорбент поступает на верхнюю трубную решетку, распределяется по трубам 2 и стекает по их внутренней поверхности в виде тонкой пленки. В абсорберах с большим числом труб для улучшения распределения абсорбента по трубам применяют специальные распределительные

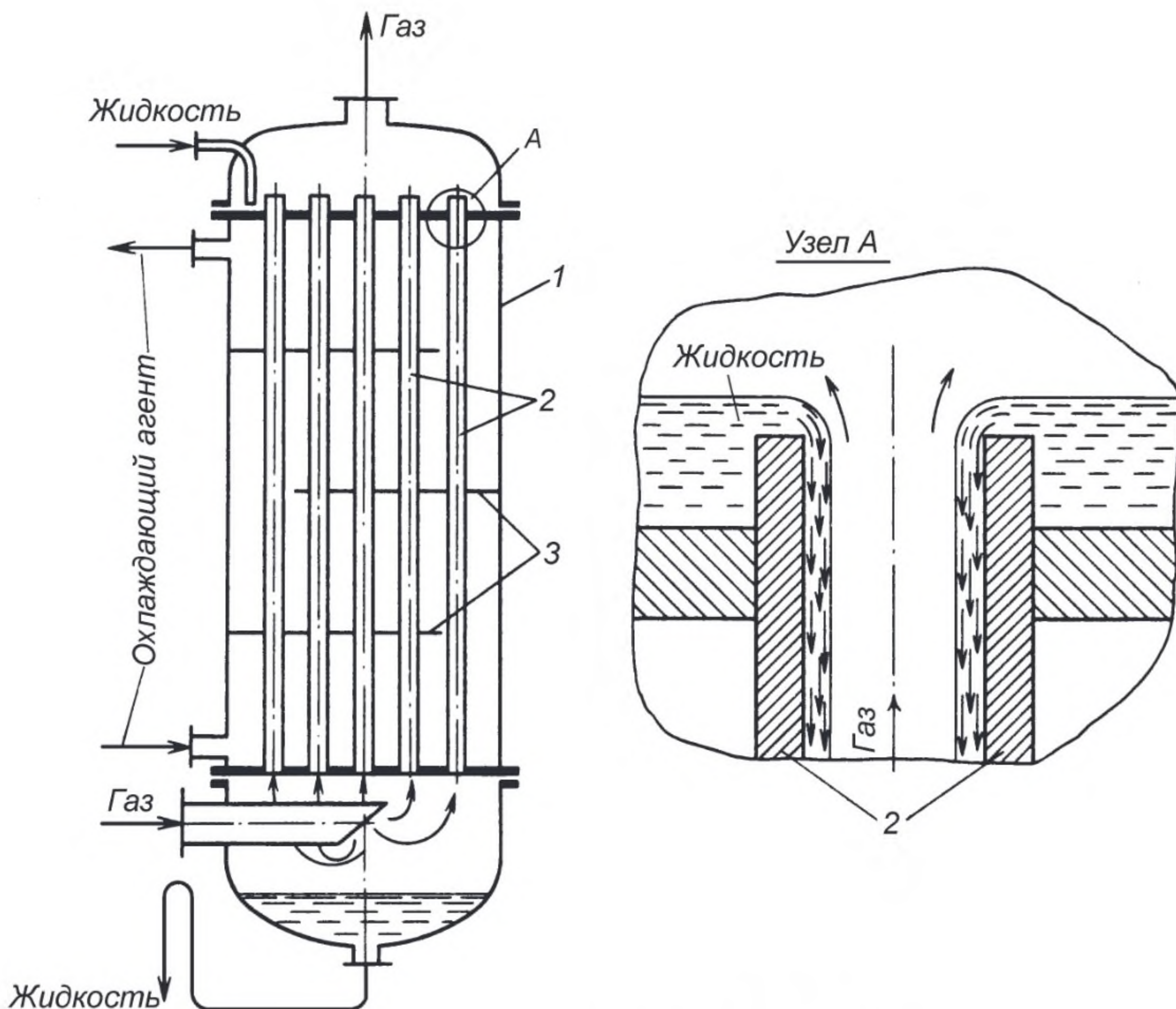


Рис. 3.9. Трубчатый пленочный абсорбер:

1 – корпус; 2 – трубки; 3 – перегородки

устройства. Газ движется по трубам снизу вверх навстречу стекающей жидкой пленке. В случае необходимости отвода теплоты абсорбции в межтрубное пространство абсорбера подают охлаждающий агент (обычно воду).

Следует также отметить, что пленочные колонны используются для проведения процесса ректификации под вакуумом (см. подраздел 3.10).

3.10. ТАРЕЛЬЧАТЫЙ АБСОРБЕР

Тарельчатые (барботажные) абсорберы (рис. 3.10), представляют собой вертикальные цилиндры – колонны, внутри которых на определенном расстоянии друг от друга по высоте колонны размещаются горизонтальные перегородки – тарелки. К тарельчатым абсорберам относятся колонны с любыми рассмотренными выше тарелками. Тарелки служат для развития поверхности контакта фаз при направленном движении этих фаз (жидкость течет сверху вниз, а газ проходит снизу вверх) и многократном взаимодействии жидкости и газа (см. подраздел 3.2).

Тарельчатые колонные аппараты также как и насадочные применяются для процесса ректификации. Их устройство принципиально не отличается от тарельчатых и насадочных абсорберов. Однако в отличие от последних, для снижения потерь теплоты все эти аппараты покрывают тепловой изоляцией.

Рис. 3.10. Устройство тарельчатого абсорбера:

1 – тарелки; 2 – газовые (паровые) патрубки; 3 – круглые колпачки; 4 – переточные перегородки (или трубы) с порогами; 5 – гидравлические затворы; 6 – корпус колонны

Основной отличительной особенностью ректификационных колонн является то, что для проведения ректификации они должны быть снабжены соответствующей теплообменной аппаратурой (кипятильником, подогревателем, конденсатором-дефлегматором, холодильником дистиллята и кубового остатка).

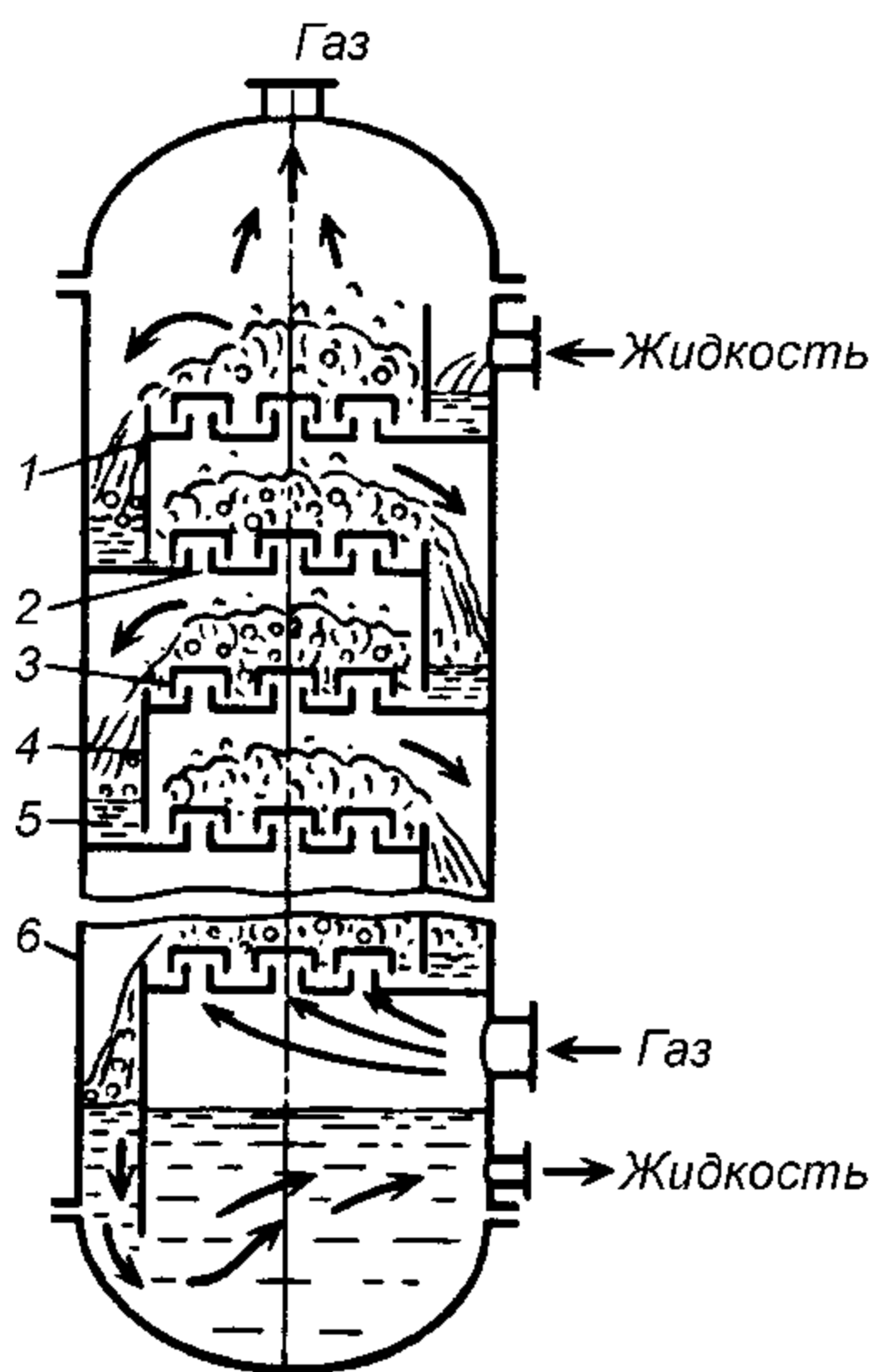
3.11. РАСПЫЛИВАЮЩИЕ АБСОРБЕРЫ

В распыливающих абсорберах контакт между фазами достигается распыливанием или разбрызгиванием жидкости в газовом потоке. Эти абсорберы подразделяют на следующие группы: 1) полые (форсуночные) распыливающие абсорберы, в которых жидкость распыляется на капли форсунками; 2) скоростные прямоточные распыливающие абсорберы, в которых распыление жидкости осуществляется за счет кинетической энергии газового потока (абсорбер Вентури); 3) механические распыливающие абсорберы, в которых жидкость распыляется вращающимися деталями.

На рис. 3.11.1 изображены полые распыливающие абсорберы, применяемые для обработки сильно загрязненных и хорошо растворимых газов. В этих абсорберах газ движется снизу вверх, а жидкость подается через расположенные в верхней части колонны 1 форсунки 2 с направлением факела распыла обычно сверху вниз. Эффективность таких абсорберов невысока, что обусловлено перемешиванием газа по высоте колонны и плохим заполнением ее сечения факелом распыленной жидкости. В результате объемный коэффициент массопередачи и число единиц переноса в этих аппаратах невелики. Поэтому распылительные форсунки в полых абсорберах часто устанавливают на нескольких уровнях.

Значительно более эффективным видом распыливающих абсорберов является бесфорсуночный скоростной прямоточный абсорбер Вентури, изображенный на рис. 3.11.2.

Основной его частью является труба Вентури. В случае прямотока процесс в таких абсорберах можно проводить при высоких скоростях газа (20–30 м/с и выше). Жидкость поступает в конфузор 1, течет в виде пленки и в горловине 2 распыляется газовым потоком. Затем жидкость газовым потоком выносится в диффузор 3, где скорость газа снижается и его кинетическая энергия переходит в энергию давления с минимальными потерями. Отделение капель от газа происходит в сепараторе 4.



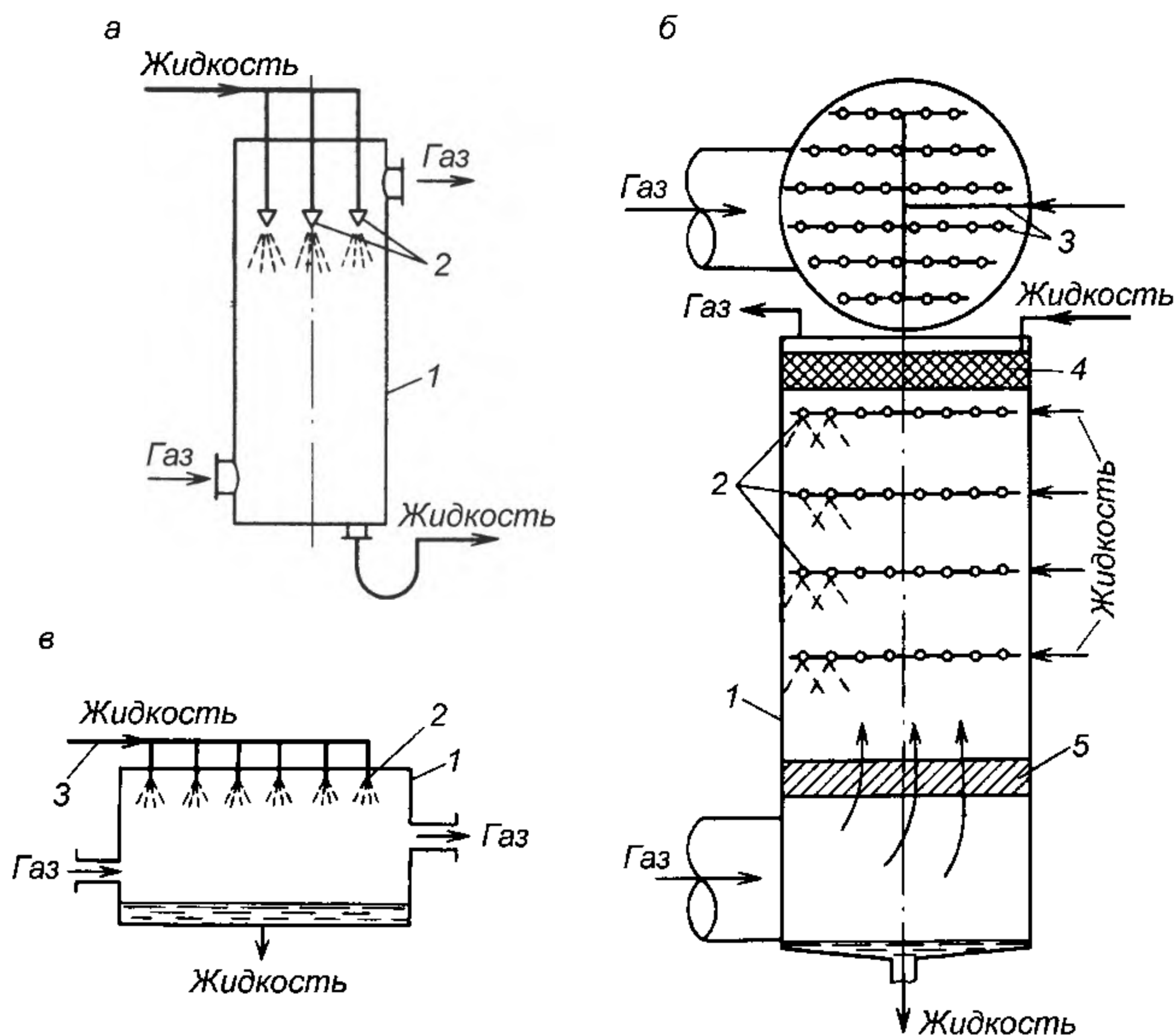


Рис. 3.11.1. Устройство полых распыливающих абсорберов:

а – вертикальная колонна с верхним распылом жидкости; *б* – вертикальная колонна с распылом жидкости по высоте аппарата; *в* – горизонтальная колонна с перекрестным током; 1 – корпуса; 2 – форсунки; 3 – коллектор орошающей жидкости; 4 – брызгоотбойник; 5 – газораспределительная решетка

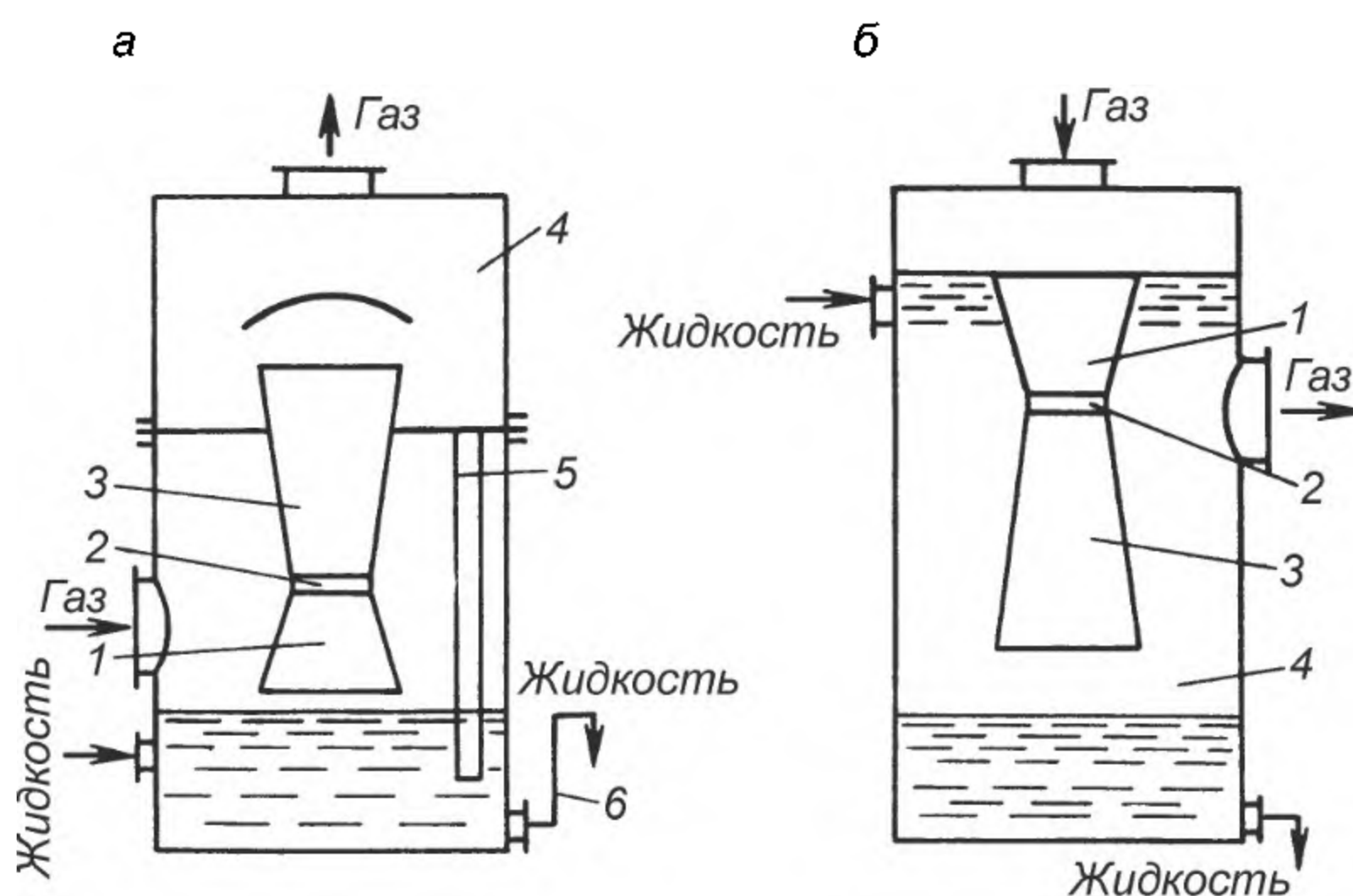


Рис.3.11.2. Устройство бесфорсуночных абсорберов Вентури:

а – абсорбер Вентури с эжекцией жидкости; *б* – абсорбер Вентури с пленочным орошением; 1 – конфузторы; 2 – горловины; 3 – диффузоры; 4 – сепараторы; 5 – циркуляционная труба; 6 – гидравлический затвор

3.12. РОТОРНО-ДИСКОВЫЙ ЭКСТРАКТОР

В роторно-дисковом экстракторе (рис. 3.12) на равном расстоянии друг от друга укреплены неподвижные кольцевые перегородки 2 (статор), делящие колонну на ряд секций небольшого объема. По оси колонны 1 на валу 3 располагаются гладкие горизонтальные диски (ротор). Диаметр дисков ротора несколько меньше диаметра отверстий колец статора.

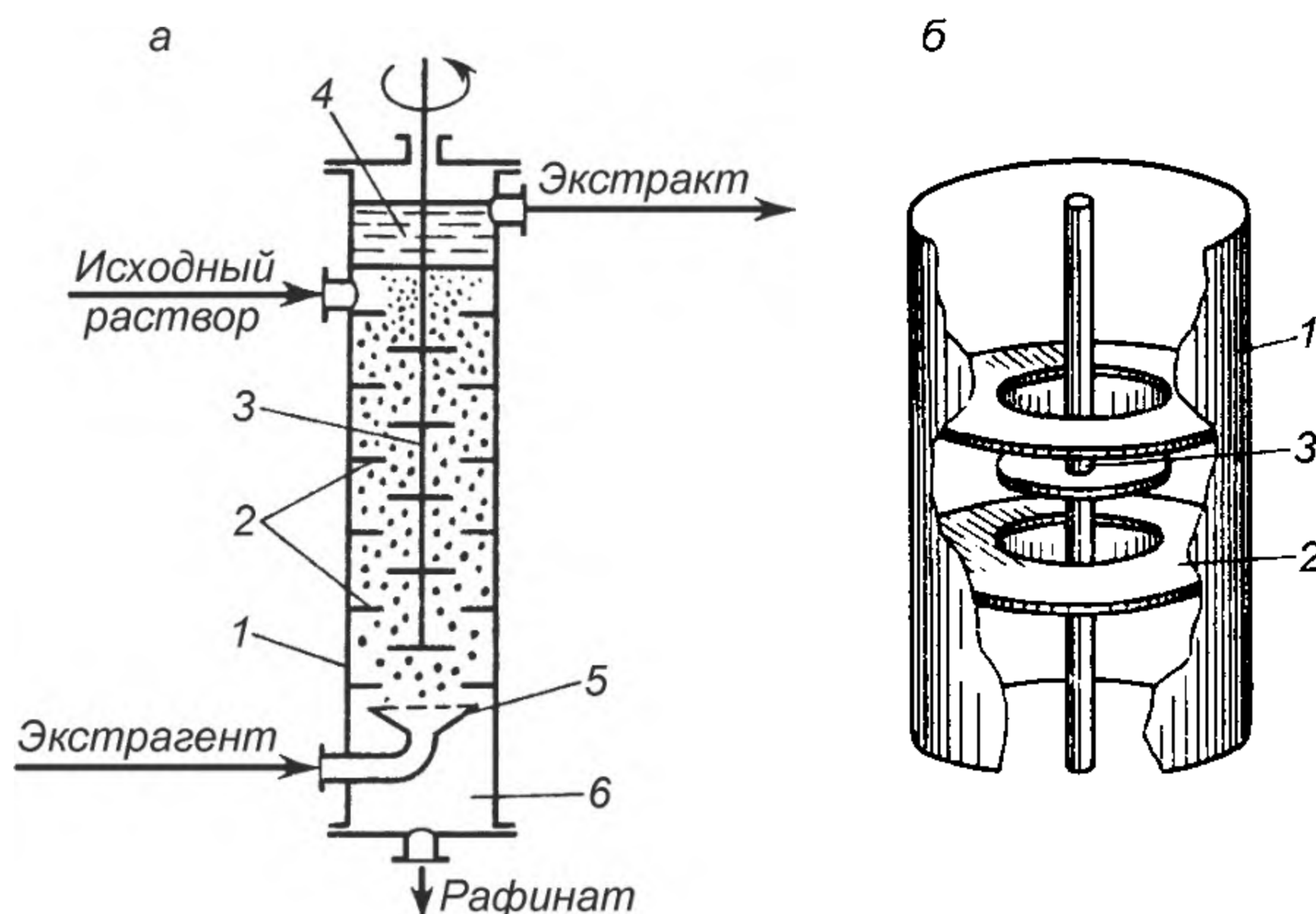


Рис. 3.12. Схемы роторно-дискового экстрактора (а) и одного из вариантов его секции (б):

1 — колонна; 2 — кольцевые перегородки; 3 — вал ротора с плоскими дисками; 4, 6 — отстойные зоны соответственно для легкой и тяжелой фаз; 5 — распределитель легкой фазы

При вращении вала с дисками под действием сил трения и центробежных сил возникает движение сплошной фазы к стенкам аппарата, достигнув которых, жидкость движется вверх и вниз вдоль стенки и отражается кольцами статора. На это движение жидкости накладывается также движение в осевом направлении. Диспергируемая распределителем 5 легкая фаза (экстрагент) движется противотоком к сплошной.

В результате в каждой секции возникает интенсивное перемешивание фаз. При этом дисперсная фаза многократно дробится дисками при столкновении со стенками и под действием турбулентных пульсаций. После перемешивания при обтекании кольцевых перегородок, ограничивающих секции колонны, фазы частично разделяются вследствие разности плотностей. В отстойных зонах 4 и 6 фазы разделяются и затем выходят из аппарата.

3.13. СИТЧАТЫЙ ЭКСТРАКТОР

В качестве экстракторов в принципе можно использовать любую из рассмотренных ранее конструкций тарельчатых колонн, но в промышленности наибольшее применение нашли ситчатые экстракторы (рис. 3.13).

В ситчатых экстракторах сплошная фаза (на рисунке сплошной фазой является исходный раствор) течет вдоль тарелки 1 и перетекает с тарелки на

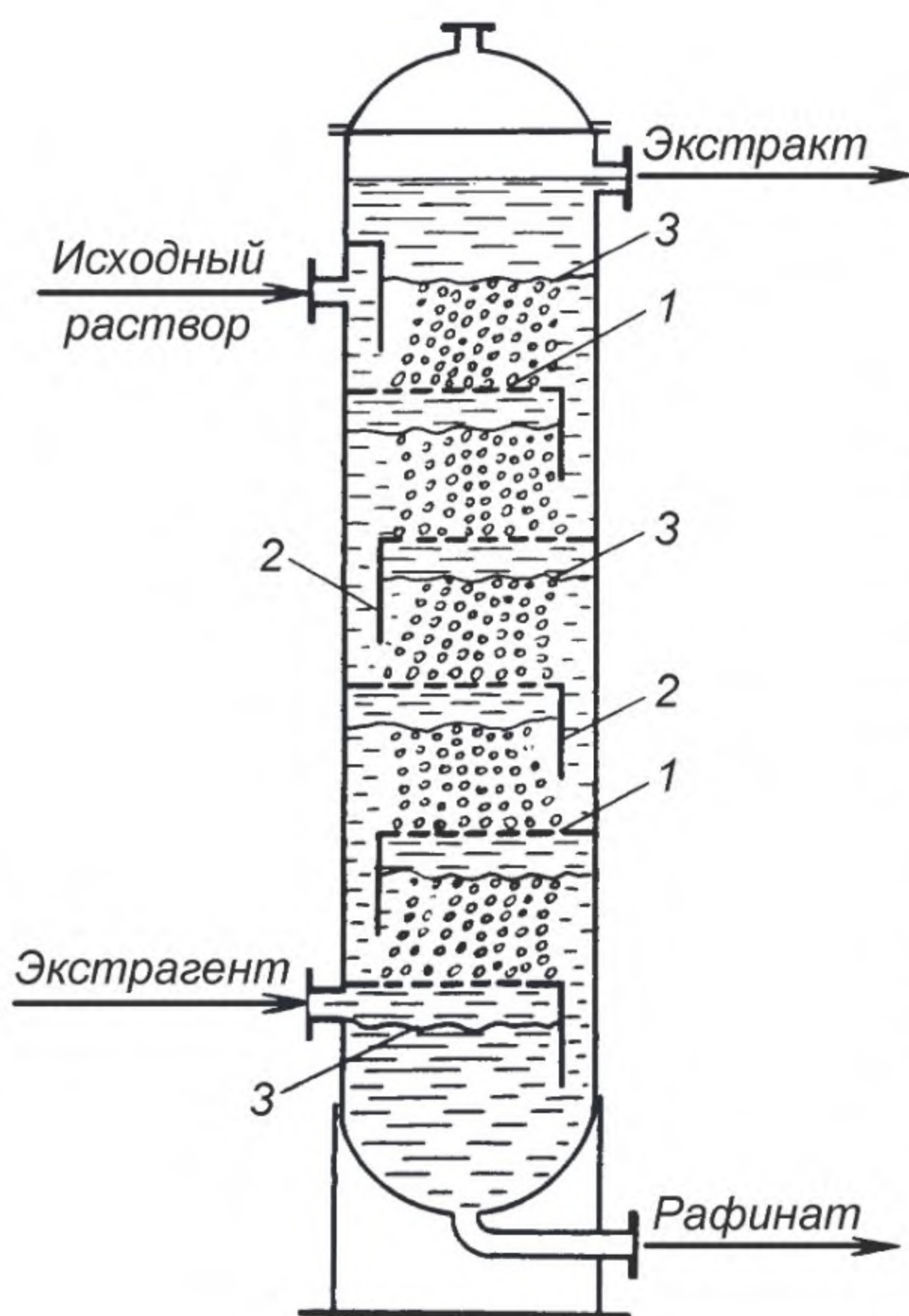


Рис. 3.13. Схема ситчатого экстрактора:

1 — тарелки; 2 — перетоки тяжелой фазы с тарелки на тарелку; 3 — границы раздела расслаивающихся фаз

тарелку через переливные устройства 2. После взаимодействия со сплошной фазой капли коалесцируют и образуют слой легкой фазы под каждой вышерасположенной тарелкой. Если диспергируется тяжелая фаза, то слой этой жидкости образуется над тарелками.

Эти слои, которые называют подпорными, обеспечивают секционирование колонны по высоте и перетекание сплошной фазы только через переливные устройства. Кроме того, эти слои создают гидростатический напор, необходимый для преодоления сопротивления отверстий тарелки, вследствие чего жидкость, проходя через отверстия тарелки, вновь диспергируется.

3.14. РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСТРАКТОРЫ

Распылительные колонные экстракторы (рис. 3.14) являются представителями гравитационных экстракторов. Они применяются для обработки загрязненных жидкостей и для экстрагирования из пульп.

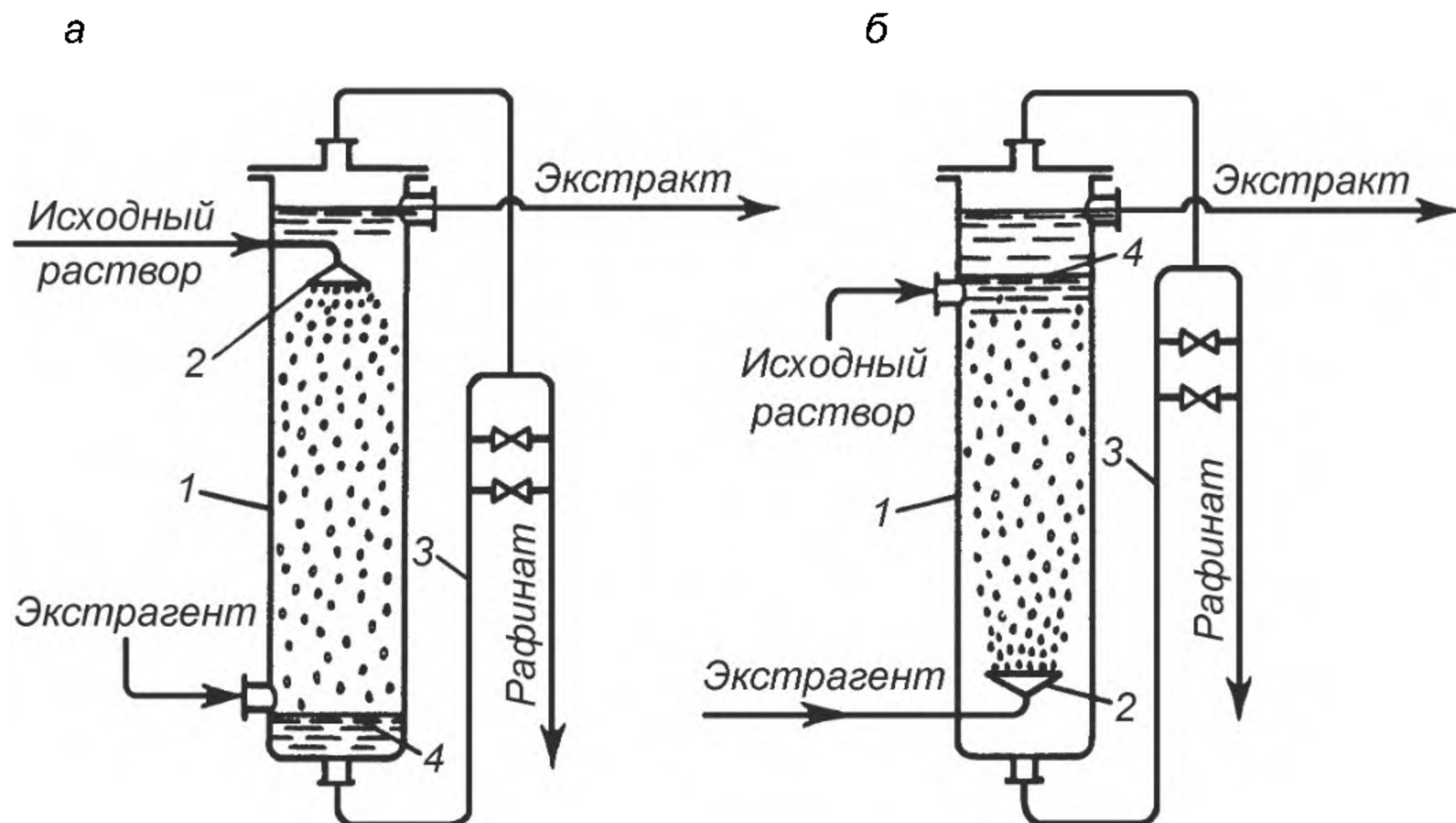
Эти аппараты представляют собой полые цилиндры 1 с устройствами 2 для диспергирования тяжелой (рис. 3.14, а) или легкой (рис. 3.14, б) фаз (исходного раствора или экстрагента). Сплошная фаза перемещается противоток дисперсной. Капли диспергированной жидкости, пройдя сквозь столб сплошной фазы, коалесцируют и выходят из колонны. Тяжелая фаза уходит через гидрозатвор 3, с помощью которого регулируют уровень раздела фаз в колонне.

Для лучшего отделения фаз иногда верхнюю и нижнюю части колонны делают большего диаметра (при этом снижается скорость сплошной фазы и улучшаются условия сепарации фаз).

3.15. ПУЛЬСАЦИОННЫЕ ЭКСТРАКТОРЫ

Наибольшее распространение получили ситчатые тарельчатые (рис. 3.15, а) и насадочные (рис. 3.15, б) пульсационные экстракторы.

В качестве пульсаторов 2 используют поршневые бесклапанные мембранные, сильфонные и пневматические насосы. В ситчатых тарельчатых пульсационных экстракторах (рис. 3.15, а) используются чаще тарелки 3 без



3.14. Схемы полых (распылительных) экстракторов:

а — с распылением тяжелой фазы; *б* — с распылением легкой фазы; 1 — экстракторы; 2 — разбрызгиватели; 3 — гидрозатворы; 4 — поверхности раздела фаз

переливных устройств, хотя разработаны и специальные конструкции ситчатых тарелок для проведения пульсационной экстракции. В пульсационных колоннах (рис. 3.15, б) применяют также поршневые пульсаторы с воздушной подушкой, позволяющие изолировать поршень пульсатора от среды, что важно предусматривать при обработке агрессивных сред.

Пульсационные экстракторы высокоэффективны, позволяют проводить экстракцию без контакта обслуживающего персонала с обрабатываемыми жидкостями, что очень важно, если жидкости радиоактивны или токсичны.

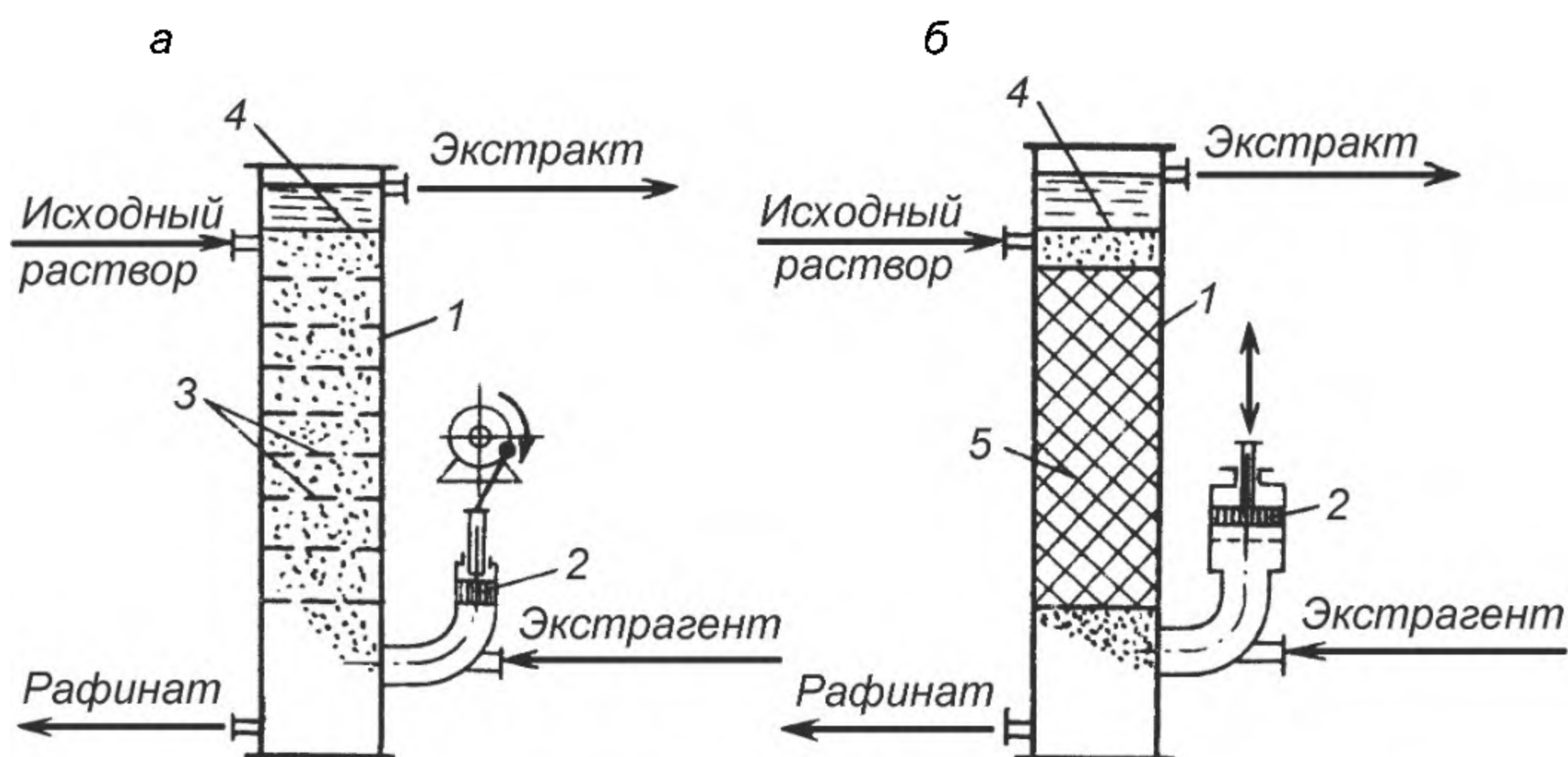


Рис. 3.15. Схемы пульсационных экстракторов с тарелками (а) и насадкой (б):

1 — колонны; 2 — поршневые пульсаторы; 3 — тарелки; 4 — поверхности раздела фаз в отстойных зонах; 5 — насадка

3.16. АДсорбЕРЫ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ АДсорбЕНТА

Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента являются аппаратами периодического действия. Вертикальные адсорберы (рис. 3.16, а) применяют для адсорбции газов в случае малой и средней производительности. Для обработки больших объемов газов (порядка 30 000 м³/ч и выше) используют горизонтальные адсорберы (рис. 3.16, б).

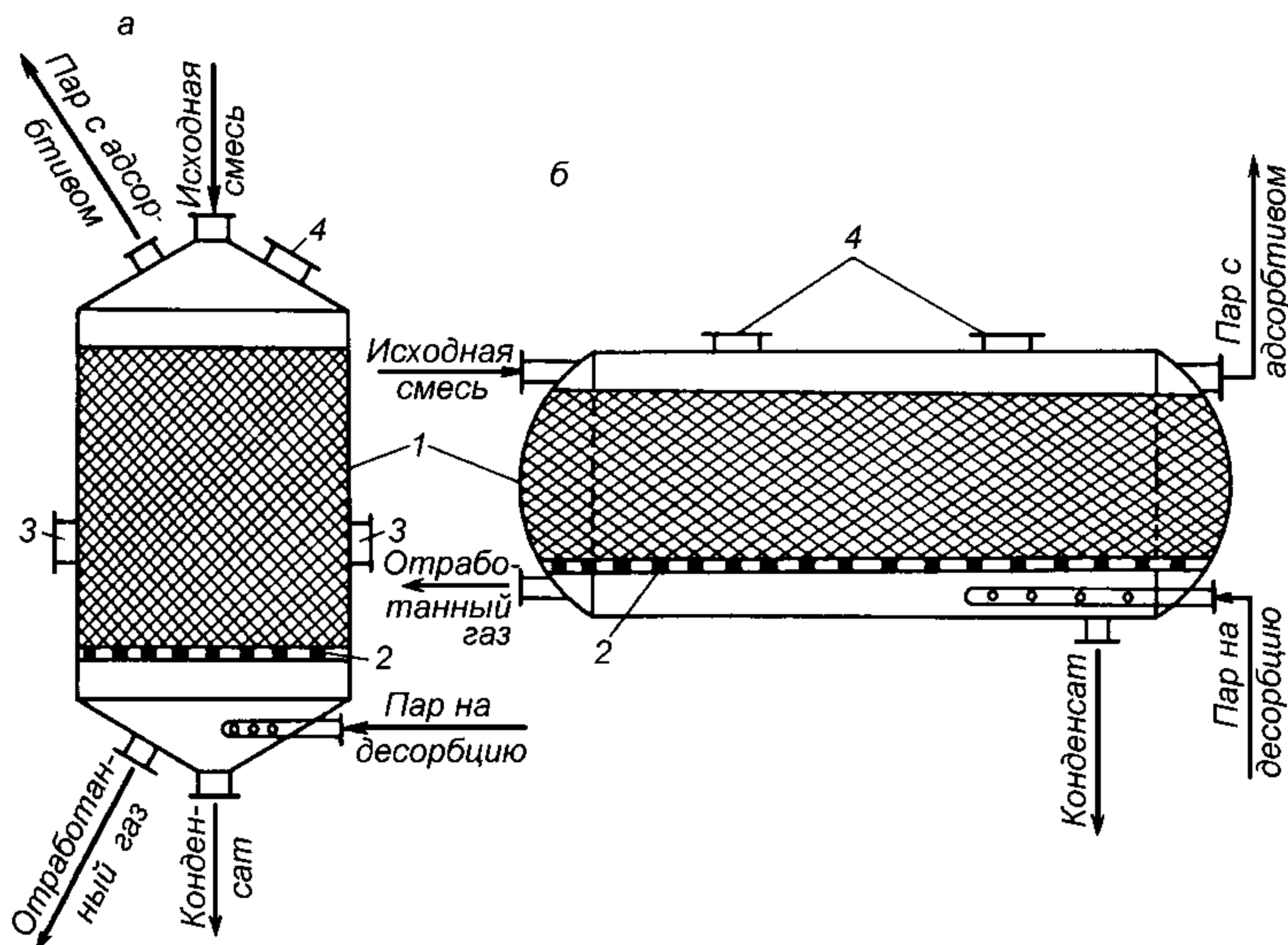


Рис. 3.16. Схемы адсорберов с неподвижным слоем адсорбента:

а — вертикальный адсорбер; б — горизонтальный адсорбер; 1 — корпуса; 2 — опорно-распределительные решетки; 3 — люки для выгрузки адсорбента; 4 — люки для загрузки адсорбента

Вертикальный и горизонтальный адсорберы имеют корпус 1 со слоем адсорбента, находящимся на опорно-распределительной решетке 2. Исходная газовая смесь (*адсорбтив*) проходит через слой адсорбента сверху вниз. При десорбции водяным паром его подают через нижний штуцер, конденсат отводится через штуцер в днище, а пар вместе с десорбированным веществом уходит через штуцер в крышке. Загрузка и выгрузка адсорбента производятся через люки 4 и 3.

3.17. АДсорбЕР С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Аппараты с псевдоожиженным слоем адсорбента (рис. 3.17) в целях снижения продольного перемешивания секционированы по высоте. Их устройство аналогично барботажным тарельчатым колоннам.

Многоступенчатый адсорбер с псевдоожиженным слоем состоит из ряда секций, расположенных в цилиндрическом корпусе 1. Секции разделены

распределительными решетками 2. Адсорбент входит в аппарат через верхнюю трубу и далее по переточным трубам 3 движется противотоком по отношению к сплошной фазе, подаваемой снизу и отводимой сверху. Отвод твердой фазы из аппарата производится с помощью затвора-регулятора 4.

3.18. АДСОРБЕР С ПЛОТНЫМ ДВИЖУЩИМСЯ СЛОЕМ

На рис. 3.18 представлен адсорбционный аппарат с плотно движущимся слоем, служащий для разделения газовых смесей.

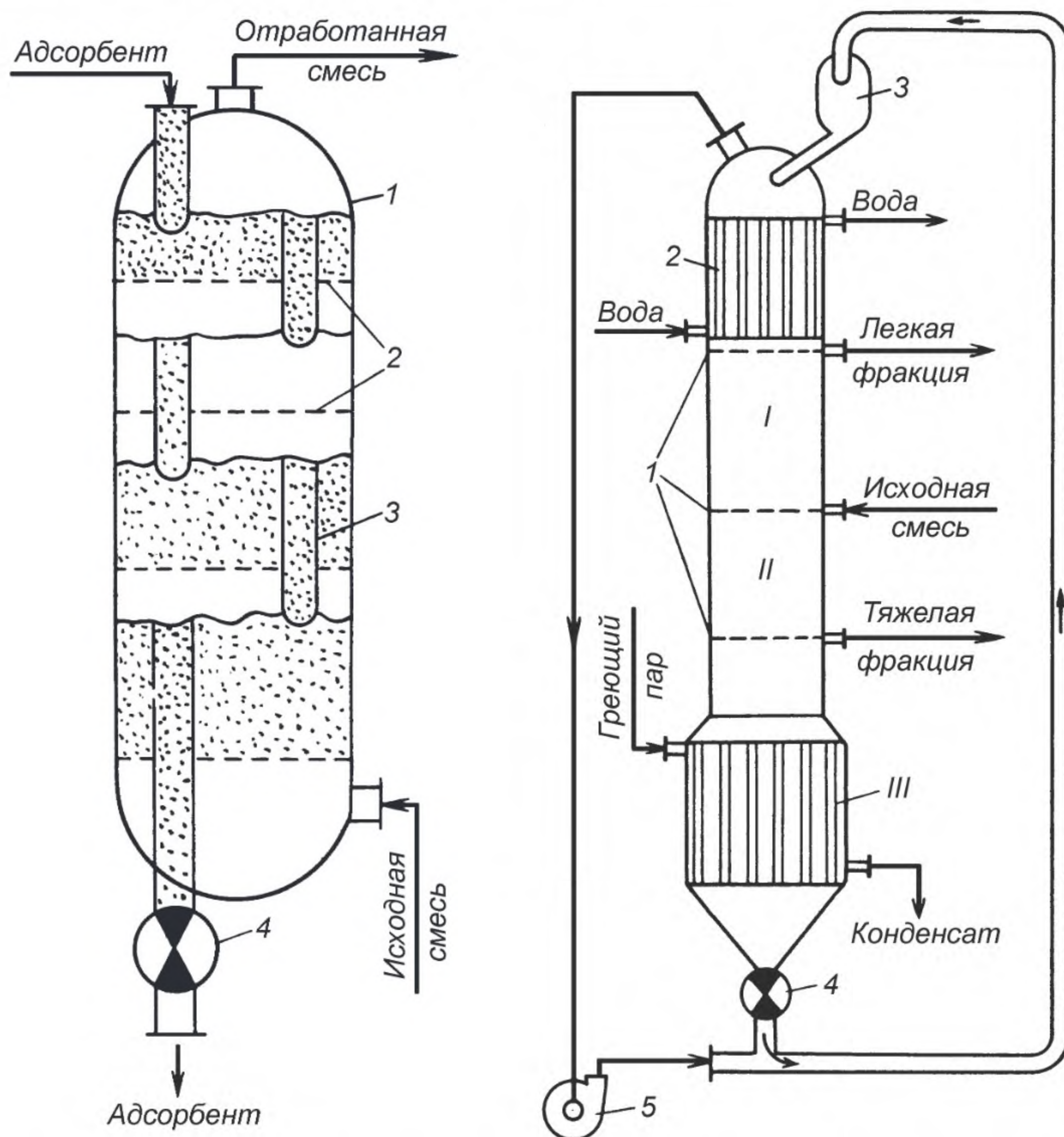


Рис. 3.17. Схема многоступенчатого адсорбера с псевдоожиженным слоем:

1 – корпус; 2 – распределительные решетки; 3 – переточная труба; 4 – затвор-регулятор

Рис. 3.18. Схема адсорбера с плотным движущимся слоем адсорбента:

I – зона адсорбции; II – зона ректификации; III – зона десорбции; 1 – распределительные решетки; 2 – холодильник; 3 – бункер для подачи адсорбента; 4 – затвор-регулятор; 5 – газодувка

Аппарат включает в себя адсорбционную *I* и ректификационную *II* зоны, где происходит разделение подаваемой газовой смеси, и десорбционную зону *III*, служащую для регенерации адсорбента. Зоны разделены распределительными решетками *1*. Адсорбент непрерывно циркулирует в аппарате: сначала охлаждается в холодильнике *2*, затем проходит адсорбционную зону *I*, где он преимущественно поглощает тяжелые компоненты, обогащая газ легкой фракцией, которую отбирают из этой зоны. При прохождении адсорбентом ректификационной зоны *II* частично поглощенная легкая фракция вытесняется парами тяжелой, выходящими из десорбционной зоны *III*. Тяжелую фракцию отбирают на выходе из десорбционной зоны *III*. Регенерированный в зоне *III* горячий адсорбент пневмотранспортом, с помощью газодувки *5*, направляют в бункер *3*, откуда он снова поступает в холодильник.

3.19. КРИСТАЛЛИЗАТОР С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Для проведения процессов кристаллизации используются разнообразные по конструкции объемные кристаллизаторы с псевдоожигенным слоем кристаллов (рис. 3.19). В них можно получить продукт с диаметром кристаллов до 3 мм, а также проводить классификацию. Псевдоожигение увеличивает массоперенос и приводит к ускорению роста кристаллов. Кристаллизацию в псевдоожигенном слое можно проводить *изогидрически* (при постоянном содержании растворителя в растворе) или с удалением части растворителя испарением (*изотермически*).

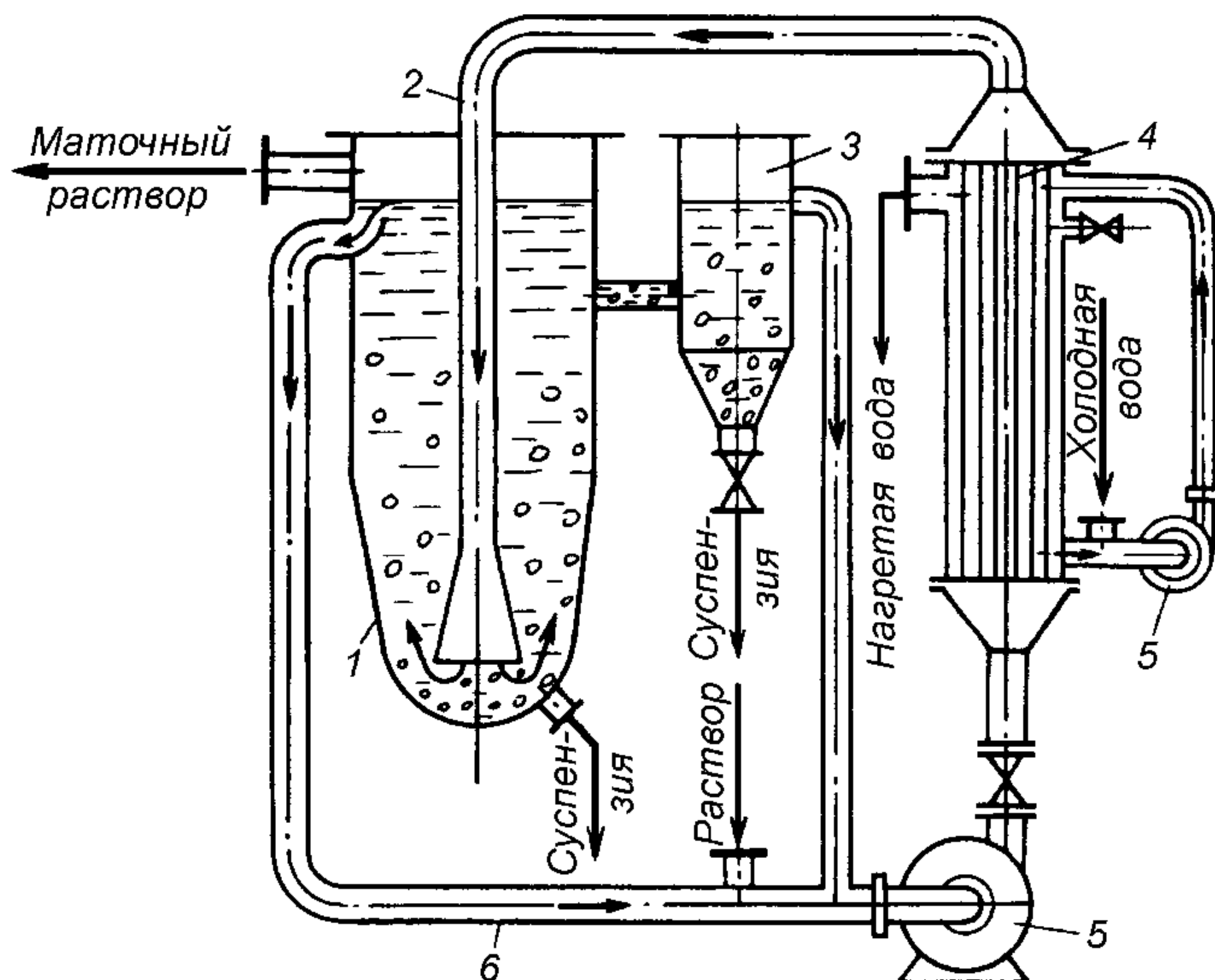


Рис. 3.19. Схема кристаллизатора с псевдоожигенным слоем кристаллов:

1 – корпус; *2* – центральная труба; *3* – отстойник; *4* – холодильник; *5* – насосы; *6* – циркуляционная труба

На рис. 3.19 показана схема устройства изогидрического кристаллизатора непрерывного действия с псевдооживленным слоем кристаллов. Исходный горячий раствор поступает во всасывающую циркуляционную трубу 6, где смешивается с циркулирующим по замкнутому контуру маточным раствором. В холодильнике 4 раствор, охлаждаясь, становится пересыщенным. В корпусе 1 происходит выпадение кристаллов, их рост в слое, псевдооживленном движущимся снизу вверх раствором. Вследствие выпадения кристаллов пересыщение раствора снижается. Суспензию, включающую достаточно крупные кристаллы, непрерывно выводят из нижней части аппарата, и периодически – из отстойника 3.

3.20. БАРАБАННЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР

Эти аппараты относятся к поверхностно-объемным кристаллизаторам. С их помощью можно получать мелкодисперсный осадок. На рис. 3.20 показан барабанный кристаллизатор с воздушным охлаждением.

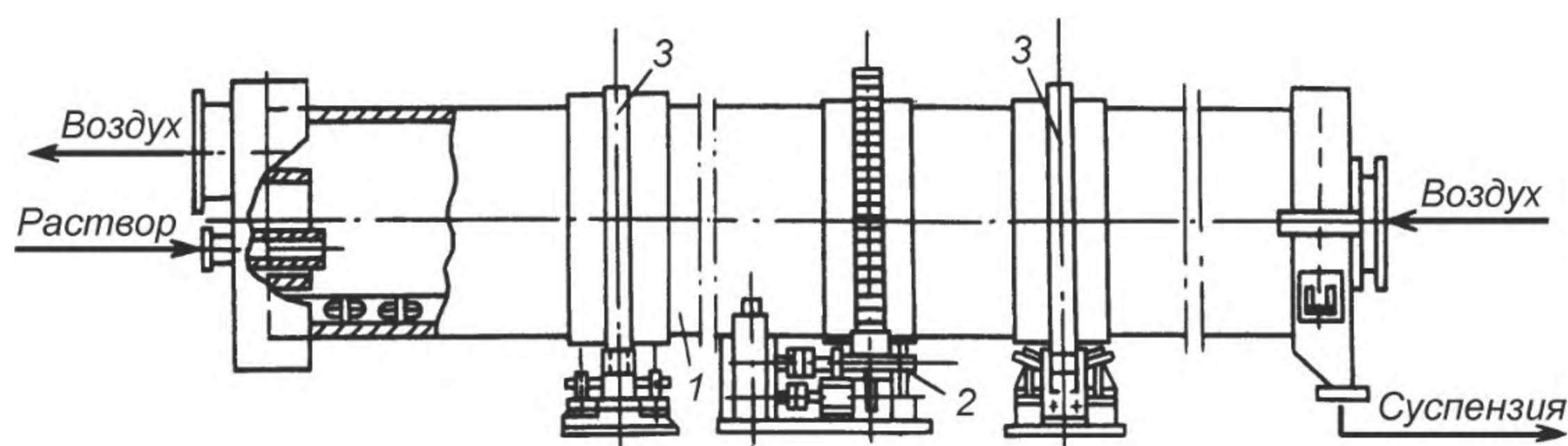


Рис. 3.20. Схема барабанного кристаллизатора:

1 – вращающийся барабан; 2 – привод; 3 – бандажи

Корпус кристаллизатора представляет собой слегка наклонный (на рисунке не показано), вращающийся от привода 2 барабан 1 с бандажами 3. Горячий раствор поступает в верхний конец барабана, непрерывно перемещается и охлаждается воздухом, движущимся по отношению к нему противотоком. Образующиеся на внутренней поверхности кристаллы (*инкрустация*) не влияют на производительность кристаллизатора, поскольку охлаждение раствора осуществляется при непосредственном его контакте с воздухом. Для устранения инкрустации по длине барабана монтируют подвижные цепи, которые при его вращении сбивают инкрустацию, а образующиеся при этом кристаллы смешиваются с основной их массой.

3.21. ВАЛЬЦОВЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР

На рис. 3.21 представлена схема устройства изогидрического поверхностного вальцового кристаллизатора, который обычно используется для кристаллизации солей с существенно снижающейся растворимостью при понижении температуры.

Аппарат представляет собой горизонтальный вращающийся барабан 1 с водяной рубашкой, погруженный в корыто 2 с кристаллизующим раствором. Во избежание преждевременной кристаллизации корыто снабжено паровой рубашкой 5 для нагревания раствора. За один оборот барабана (со скоростью

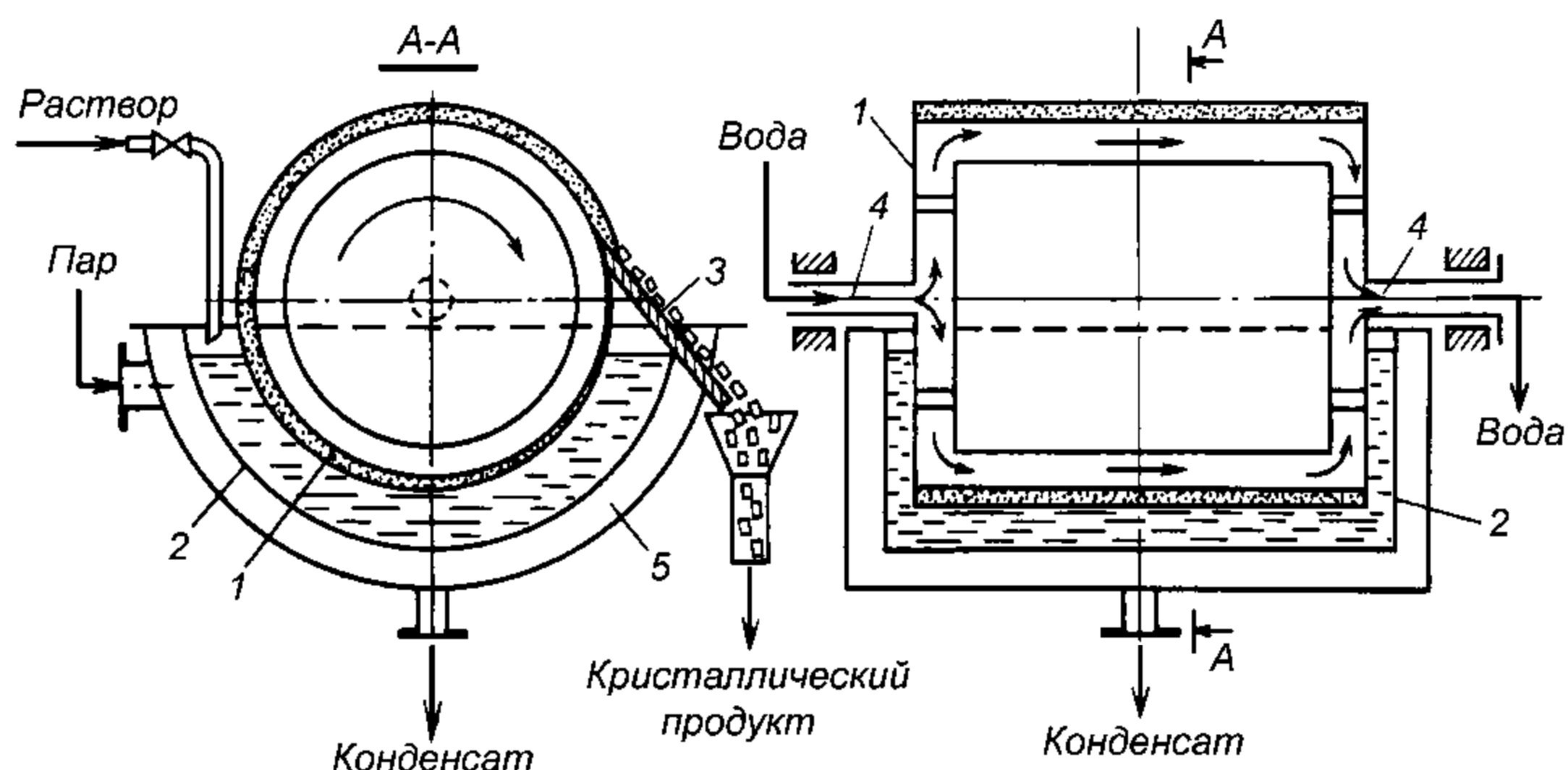


Рис. 3.21. Схема устройства вальцового кристаллизатора:

1 — барабан; 2 — корыто; 3 — нож для съема кристаллов; 4 — полые валы; 5 — паровая рубашка

порядка 0,1–1 м/с) на его поверхности образуется слой кристаллов, который снимается с барабана ножом 3.

Вальцовые кристаллизаторы применяют для кристаллизации из расплавов (растворов) с небольшим содержанием маточного раствора.

3.22. КРИСТАЛЛИЗАТОР С МЕШАЛКОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Эти аппараты относятся к типу объемных кристаллизаторов, получивших самое широкое распространение по сравнению с другими типами этих аппаратов. Наиболее простым объемным кристаллизатором периодического действия является изображенный на рис. 3.22 аппарат с рубашкой и мешалкой.

Во избежание интенсивной инкрустации внутренней поверхности аппарата разность температур раствора и охлаждающей жидкости должна быть небольшой (8–10 °C). С этой же целью охлаждающую жидкость в рубашку 2 подают после заполнения

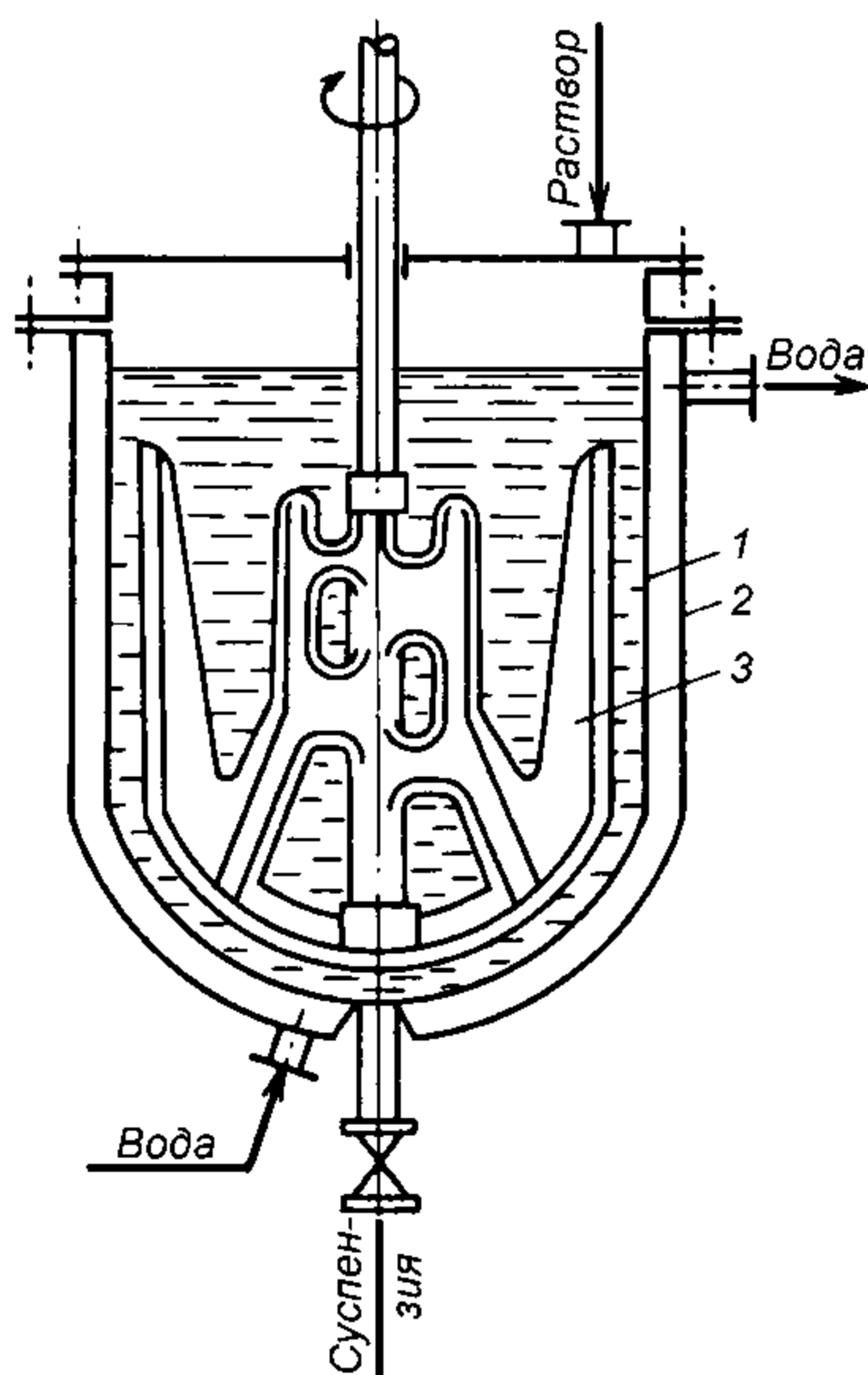


Рис. 3.22. Схема объемного кристаллизатора с мешалкой:

1 — корпус; 2 — охлаждающая рубашка; 3 — мешалка

корпуса 1 аппарата раствором и образования первых зародышей кристаллов. В качестве охлаждающей жидкости может выступать вода, рассол, жидкий этилен и др. После окончания процесса кристаллизации образовавшуюся суспензию выгружают и разделяют на фильтрах или центрифугах с получением кристаллического вещества и выделением маточного раствора.

Для увеличения времени пребывания раствора эти аппараты часто соединяют последовательно – *каскадом*.

3.23. КАМЕРНАЯ СУШИЛКА

Камерные сушилки (рис. 3.23) представляют собой герметичные камеры, внутри которых высушиваемый материал в зависимости от его вида располагается на сетках, противнях, шестах, зажимах и других приспособлениях. Их применяют для сушки сравнительно небольших количеств материала и при достаточно большой продолжительности процесса.

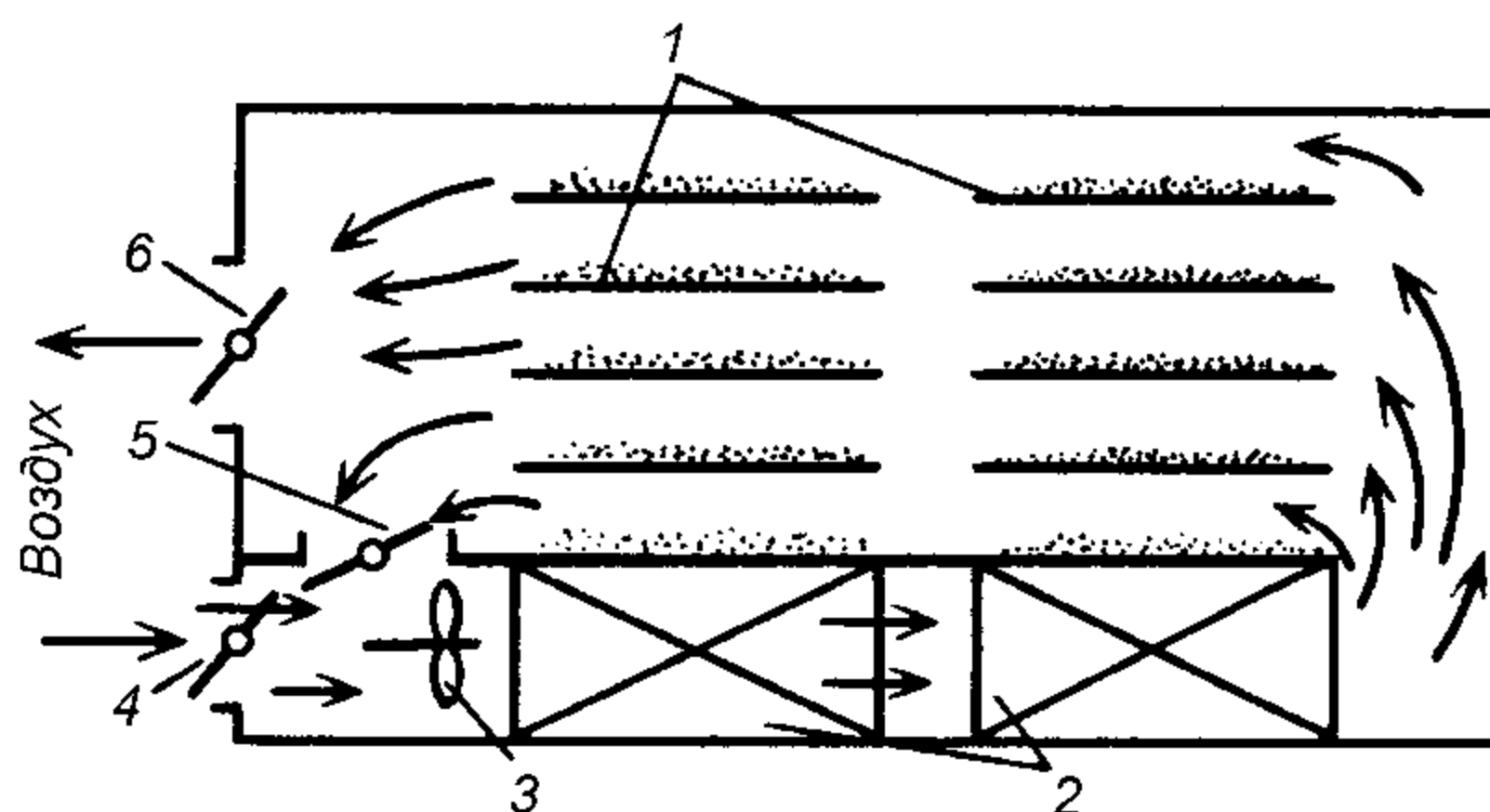


Рис. 3.23. Схема камерной сушилки:

1 – полки для загрузки высушиваемого материала; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4 – заслонка для регулирования расхода свежего воздуха; 5, 6 – заслонки (шиберы) для регулирования расходов рециркулирующего и отработанного воздуха

Камеры изготовляют из дерева, кирпича, бетона, металла и иных материалов, выбор которых обусловлен их размерами, температурным режимом процесса, а в ряде случаев также свойствами высушиваемого материала. Объем и размеры камеры определяются продолжительностью сушки и производительностью аппарата. Для ускорения загрузки и выгрузки материала противни или сетки для его укладки размещают часто на вагонетках.

Свежий воздух с помощью вентилятора 3 через калорифер 2 подают в пространство камеры, внутри которой находятся полки 1 с высушиваемым материалом. Заслонки 5, 6 служат для регулирования расходов рециркулирующего и отработанного воздуха.

3.24. ВАКУУМНАЯ ДВУХВАЛЬЦОВАЯ СУШИЛКА

Одно- и двухвальцовые сушилки предназначены для сушки пастообразных и жидких материалов. В двухвальцовых сушилках достигается большая производительность в одном агрегате. Они работают как при атмосферном

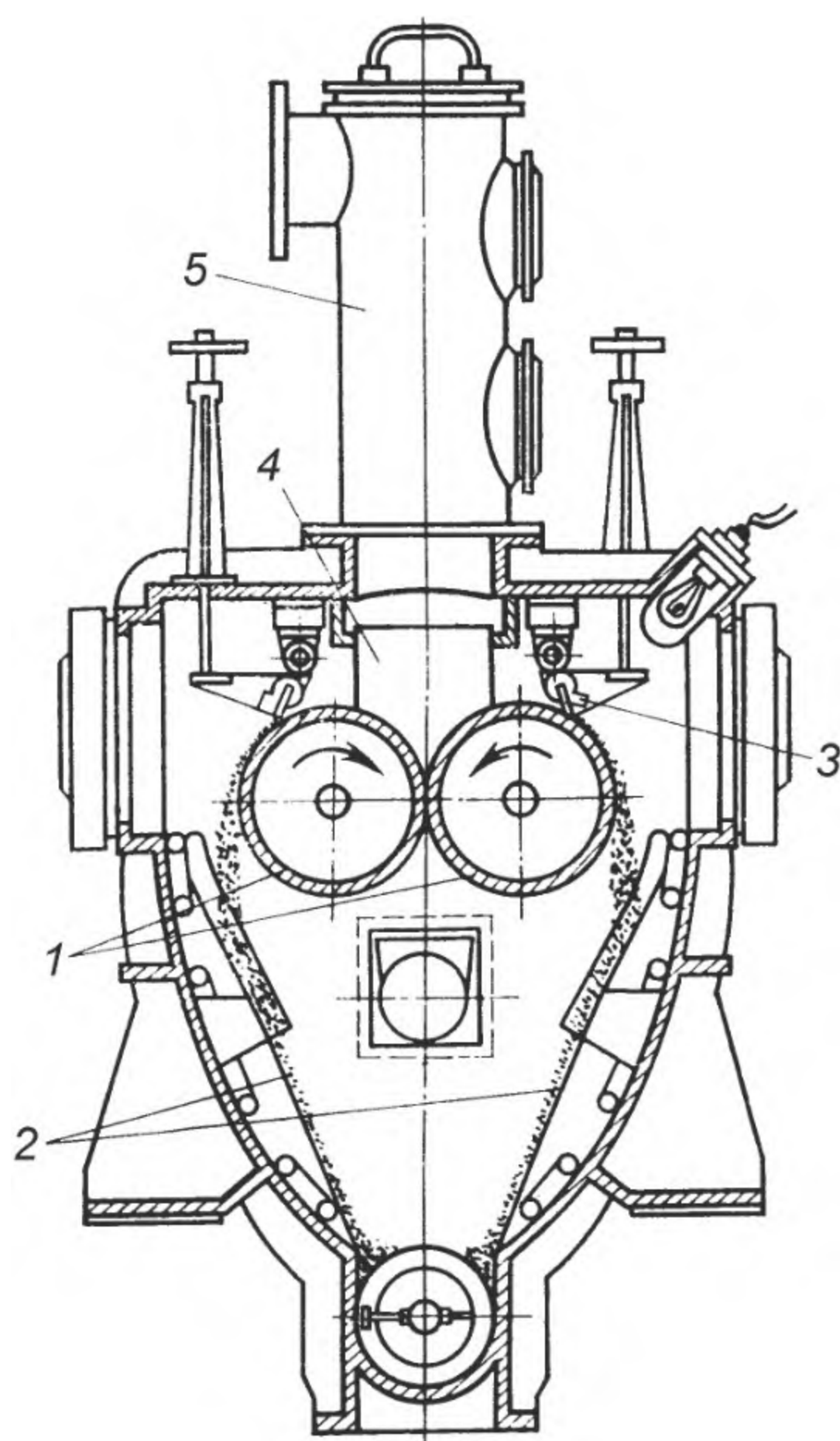


Рис. 3.24. Схема вакуумной двухвальцово-вой сушилки:

1 – вальцы; 2 – наклонные стенки корпуса; 3 – нож; 4 – питательный бак; 5 – отвод парогазовой смеси к вакуум-насосу

давления, так и под вакуумом и применяются для высушивания термолабильных и легко окисляющихся материалов.

Материал непрерывно поступает на медленно вращающиеся навстречу друг другу вальцы (валки) 1. Центр одного из вальцов является подвижным, что позволяет изменять толщину высушиваемого материала. Конструктивные модификации этих аппаратов отличаются способами отвода высушенного материала и подачи исходного. Так, возможен отвод материала, срезаемого с обоих вальцов, одним общим шнеком или отдельными шнеками.

На рис. 3.24 представлена сушилка с общим отводом высушенного материала. Теплоноситель (греющий пар, горячую воду и др.) подают через по-

лую цапфу внутрь каждого из вальцов, а паровой конденсат отводят через специальную сифонную трубу. Вальцовые сушилки для жидкофазных и пастообразных материалов отличаются кратковременным контактом последних с поверхностью нагрева (обычно не более 30 с), а при работе под вакуумом – отсутствием контакта с атмосферным воздухом.

Пленка подсушенного материала снимается ножами 3, расположенными вдоль образующей каждого вальца. Все рабочие части сушилки находятся внутри герметичного кожуха, соединенного с источником вакуума.

3.25. БАРАБАННАЯ СУШИЛКА

Барабанные вращающиеся сушилки (рис. 3.25) благодаря высокой производительности и несложности конструкции получили наибольшее распространение по сравнению с другими типами этих аппаратов. Их применяют для непрерывной сушки (в основном при атмосферном давлении) кусковых, зернистых и сыпучих материалов.

Барабанная сушилка имеет цилиндрический сварной барабан 4, установленный с небольшим наклоном к горизонту ($2-7^\circ$) и опирающийся с помощью бандажей 3 на ролики 10. Барабан приводится во вращение электродвигателем 11 через зубчатую передачу с помощью венца 5. Частота вращения барабана обычно не превышает $5-8 \text{ мин}^{-1}$.

Материал подается в барабан питателем 2 и для равномерного распределения и хорошего перемешивания поступает на внутреннюю насадку 9, расположенную вдоль почти всей длины барабана. Чтобы избежать усиленного



уноса пыли с сушильным агентом, последний просасывается через барабан вентилятором 8 со средней скоростью, не превышающей 2–3 м/с. Перед выбросом в атмосферу отработанные газы очищаются от образовавшейся пыли в циклоне 7. Высушенный материал удаляется через разгрузочную камеру 6, которая герметизируется для предотвращения поступления в барабан воздуха.

В пневматических сушилках материалы сушат в процессе их транспортирования газообразным теплоносителем. Сушилки этого типа (рис. 3.26) используют для сушки дисперсных материалов, причем расход энергии резко снижается при уменьшении размеров частиц высушиваемого материала.



1 — вентилятор; 2 — калорифер; 3 — шнековый питатель; 4 — труба-сушилка; 5 — гравитационная камера для предварительного отделения высушиваемого материала от отработанного воздуха; 6 — циклон

Конвективная сушилка с пневмотранспортом материала представляет собой вертикально расположенную трубу (длиной до 20 м), где в режиме, близком к режиму идеального вытеснения, газовзвесь перемещается снизу вверх. Время пребывания материала в зоне сушки составляет несколько секунд. Материал шнековым питателем 3 подают в трубу-сушилку 4, где он увлекается потоком воздуха, который нагнетается вентилятором 1 и нагревается в калорифере 2.

Воздух (или топочные газы) выносит высушенный материал в гравитационную камеру 5 (для предварительного отделения материала от отработанного воздуха) и затем попадает в циклон 6, где отделяется от частиц материала и выбрасывается в атмосферу.

3.27. РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СУШИЛКА

В распылительных сушилках (рис. 3.27), которые используются для сушки жидких и пастообразных веществ, материал диспергируют специальными устройствами и высушивают в потоке газообразного теплоносителя. Время пребывания материала в зоне сушки весьма мало, а высокая степень диспергирования и, как следствие, большая интенсивность испарения влаги обеспечивают быстрое высушивание. Поэтому в распылительных сушилках можно использовать теплоноситель с высокой температурой.

В распылительной сушилке материал подается в камеру 3 с помощью диска 4 (или через форсунку). Сушильный агент движется параллельным током с материалом. Мелкие твердые частицы высушенного материала (размером до нескольких микрометров) осаждаются на дно камеры и отводятся шнеком 7. Отработанный сушильный агент после очистки от пыли в циклоне 5 и рукавном фильтре 6 выбрасывается в атмосферу.

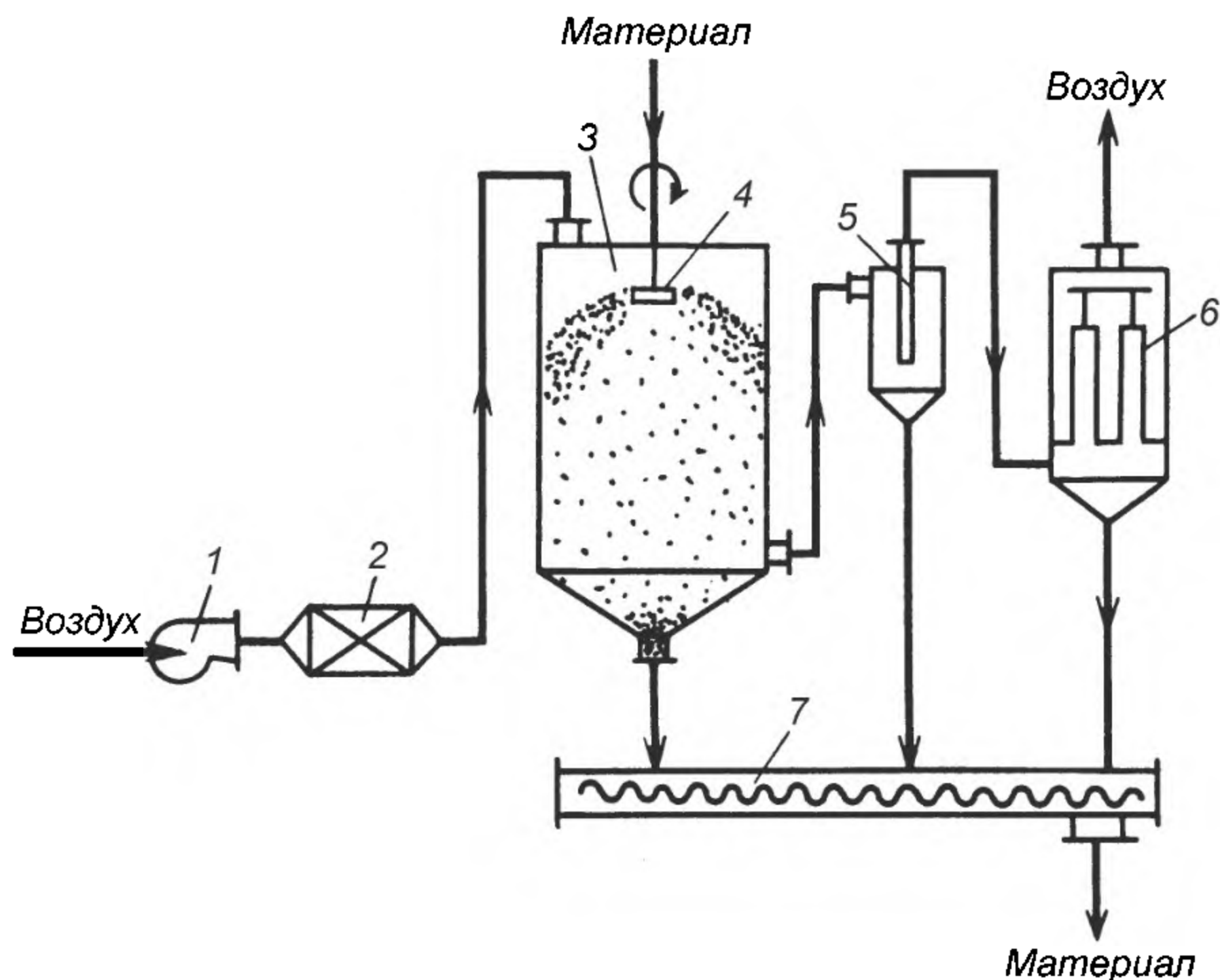


Рис. 3.27. Схема распылительной сушилки:

1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – камера сушилки; 4 – диск; 5 – циклон; 6 – рукавный фильтр; 7 – шнек для выгрузки высушенного материала

3.28. ЛЕНТОЧНАЯ СУШИЛКА

Ленточные сушилки предназначены для сушки сыпучих (зернистых, гранулированных, крупнодисперсных) и волокнистых материалов, а также готовых изделий и полуфабрикатов. Особенно целесообразно их использование для сушки формованных изделий и гранулированных катализаторов, когда не допускается расслоение или повреждение формы.

На рис. 3.28 изображена многоярусная ленточная сушилка, в которой сушка производится непрерывно при атмосферном давлении. В камере 2 многокорпусной сушилки слой высушиваемого материала движется на бесконечных лентах (транспортерах) 3, натянутых между ведущими 4 и ведомыми 7 барабанами. При пересыпании материала с ленты на ленту увеличивается поверхность его соприкосновения с сушильным агентом, что способствует возрастанию скорости сушки.

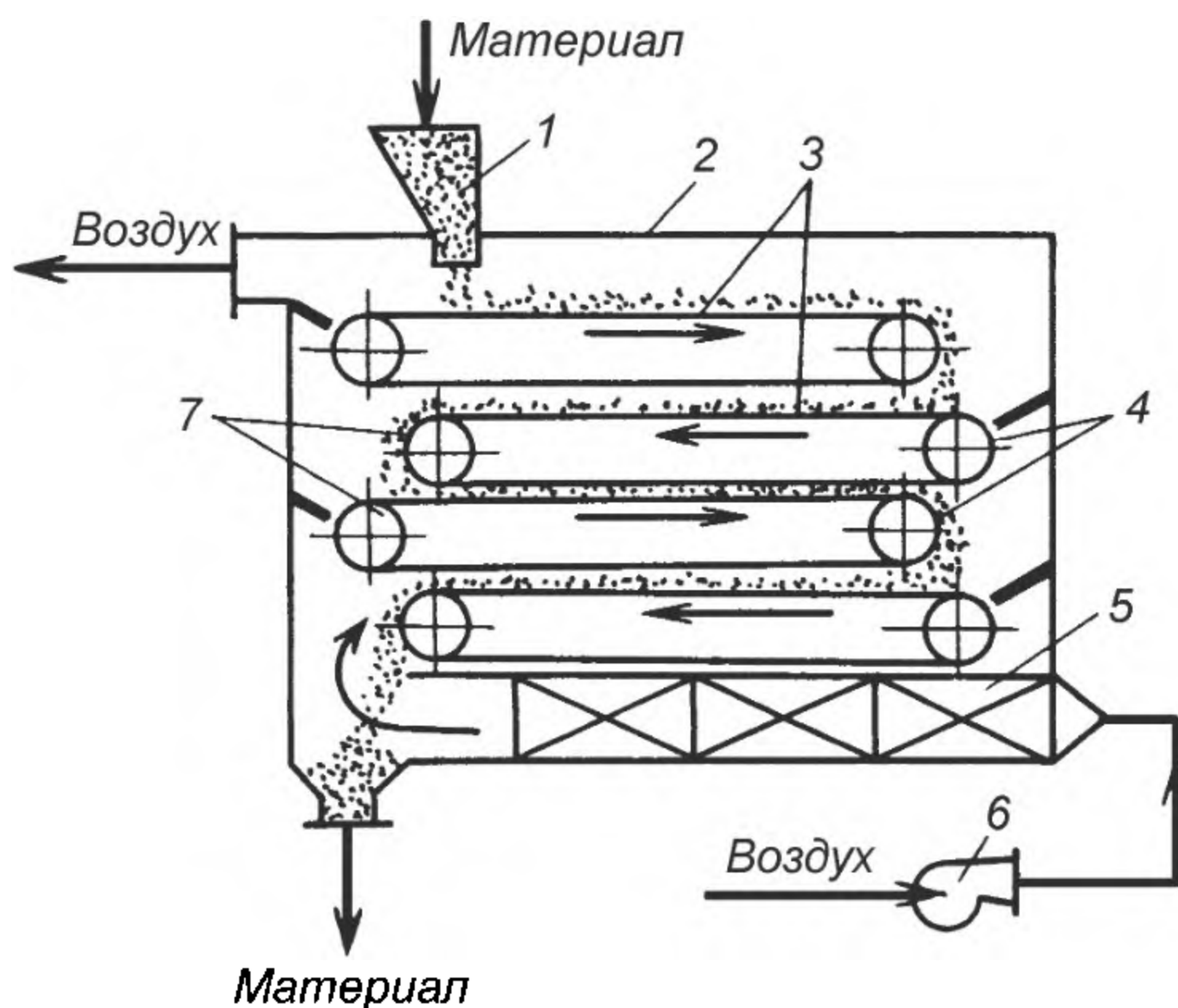


Рис. 3.28. Схема многоярусной ленточной сушилки:

1 – питатель; 2 – сушильная камера; 3 – ленточные транспортеры; 4 – ведущие барабаны; 5 – калорифер; 6 – вентилятор; 7 – ведомые барабаны

Ленточные сушилки работают непрерывно с рециркуляцией газа и без нее; в некоторых конструкциях предусмотрен внутренний многократный подогрев газообразного теплоносителя, в качестве которого используют топочные газы, воздух, а иногда – перегретый пар.

3.29. СУШИЛКА С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Сушилки с псевдоожиженным (кипящим) слоем (рис. 3.29) получили широкое распространение благодаря возможности высушивать зернистые, сыпучие, пастообразные и жидкие материалы. В установках с псевдоожиженным слоем можно одновременно проводить несколько процессов: сушку, обжиг, сушку и классификацию частиц по размерам, сушку и гранулирование и т. д.

Сушильные установки с псевдоожиженным слоем разнообразны как по конструкции, так и по гидродинамическим и тепловым режимам работы.

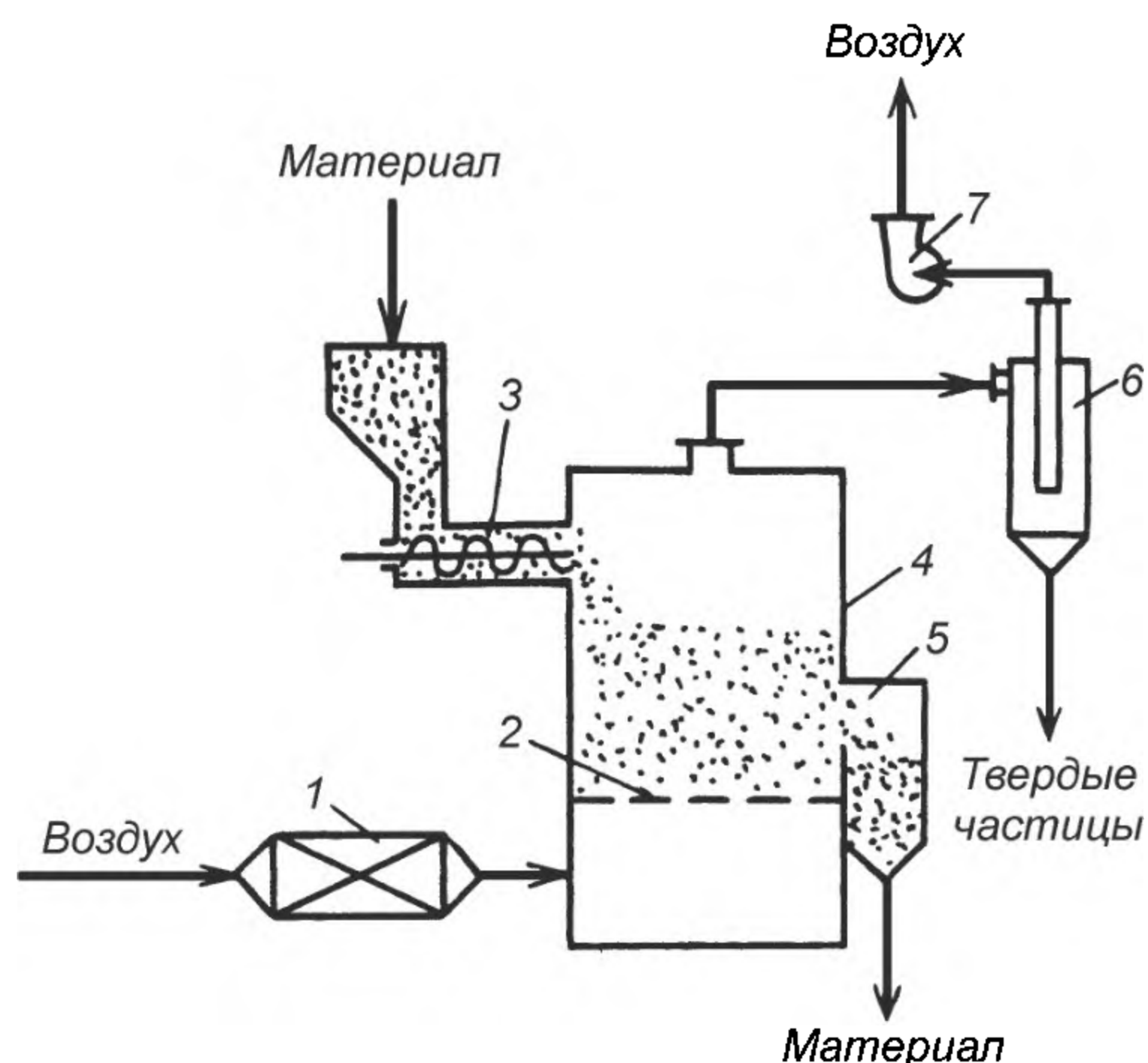


Рис. 3.29. Схема сушилки с псевдоожиженным слоем:

1 – калорифер; 2 – распределительная решетка; 3 – шнековый питатель; 4 – корпус сушилки; 5 – разгрузочное устройство; 6 – циклон; 7 – вентилятор

На рис. 3.29 изображена сушилка непрерывного действия с одноступенчатым аппаратом кипящего слоя (однокамерная сушилка). Высушиваемый материал поступает из шнекового питателя 3 в слой материала, «кипящего» на газораспределительной решетке 2 в камере сушилки 4. Сушильный агент – воздух, подогреваемый в калорифере 1, проходит с заданной скоростью через отверстия распределительной решетки 2 и поддерживает на ней материал во взвешенном состоянии.

Высушенный материал удаляют через разгрузочное устройство 5. Отработанные газы очищают от образующейся пыли в циклоне 6.

3.30. ИОНООБМЕННЫЙ АППАРАТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ

Для обработки токсичных и радиоактивных растворов применяются наиболее простое и надежное оборудование – колонные аппараты с неподвижным слоем ионита, например изображенный на рис. 3.30 периодически действующий ионообменный аппарат.

Аппарат представляет собой цилиндрическую емкость 1, снабженную распределительными устройствами: нижним – 2 и верхним – 3. На нижнем распределительном устройстве, которое представляет собой тарелку с щелевыми колпачками, располагается неподвижный слой ионита (заштрихованная часть).

Перерабатываемый раствор поступает в аппарат через нижний штуцер 4 и затем проходит через распределительное устройство 2 в слой ионита. В верхней (полый) части аппарата собирается очищенный раствор и через верхний штуцер 5 выводится из аппарата. После завершения ионообменного

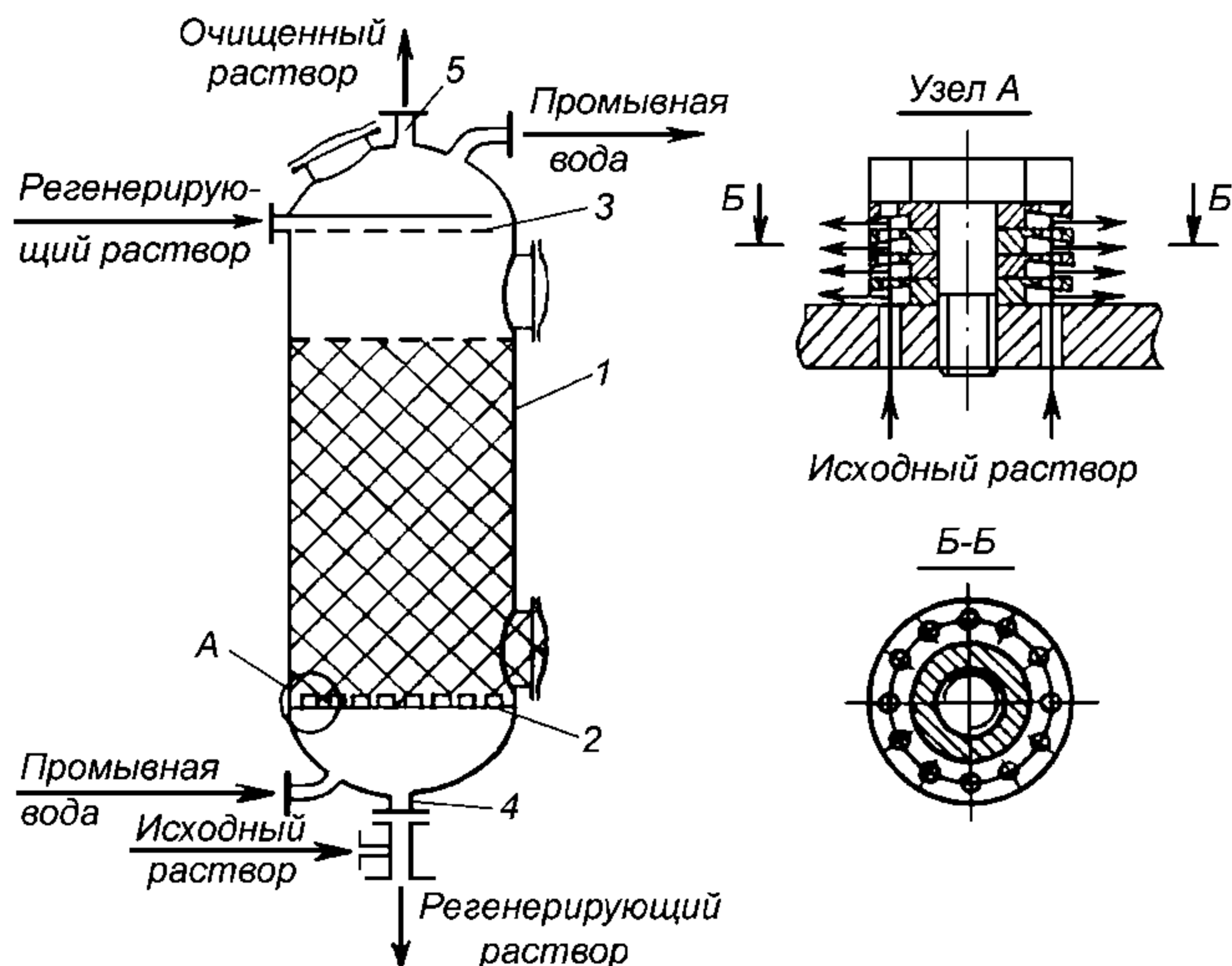


Рис. 3.30. Схема ионообменного аппарата периодического действия с неподвижным слоем ионита:

1 – корпус; 2 – распределительная тарелка с щелевидными колпачками; 3 – распределитель; 4, 5 – штуцера для ввода исходного раствора и вывода очищенного раствора

процесса аппарат останавливают для проведения регенерации ионита. Сначала ионит промывают водой для удаления раствора, причем вода пропускается через аппарат в том же направлении, что и раствор.

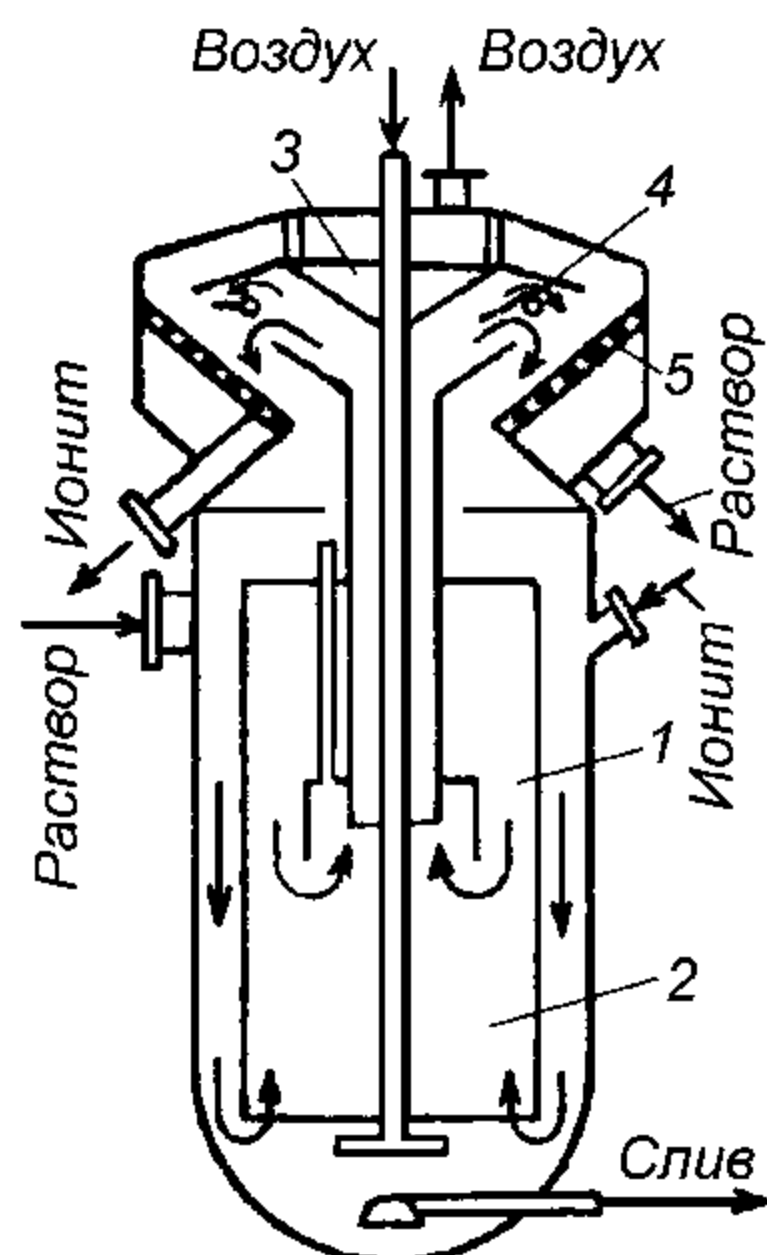
Затем следует стадия обработки ионита регенерирующим раствором, который пропускается обычно в противоположном направлении. Далее следует вторая промывка ионита водой с целью удаления регенерирующего раствора.

3.31. ИОНООБМЕННЫЙ АППАРАТ С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ СЛОЕМ СМЕСИТЕЛЬНО-ОТСТОЙНОГО ТИПА

Для переработки пульпы любого состава большое распространение получил смеситель-отстойник типа «пачук» (рис. 3.31), который

Рис. 3.31. Схема аппарата смесительно-отстойного типа с циркулирующим слоем ионита:

1 – контактная камера; 2 – зона смешения; 3 – отражатель; 4 – зона транспортировки и разделения; 5 – дренажная система



представляет собой вертикальный аппарат, снабженный двумя эрлифтами. Эрлифты служат для перемешивания ионита и раствора, выгрузки ионита и откачки пульпы ионит—раствор на дренажное устройство 5, с которого ионит снова возвращается в контактную зону 1, а раствор выводится из аппарата. Объем «пачуков» значителен (десятки и сотни м³), время пребывания раствора в аппарате составляет 20–60 мин. Для достижения заданных технологических показателей обычно устанавливают каскад таких аппаратов.

Основное достоинство смесителей-отстойников заключается в способности перерабатывать пульпы любого состава с большой производительностью.

3.32. МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ С ПЛОСКИМИ КАМЕРАМИ

Основой этих аппаратов является мембранный элемент (рис. 3.32), состоящий из плоских (листовых) мембран, уложенных по обе стороны плоского пористого материала — *дренажа*, либо приготовленных непосредственно на его поверхности.

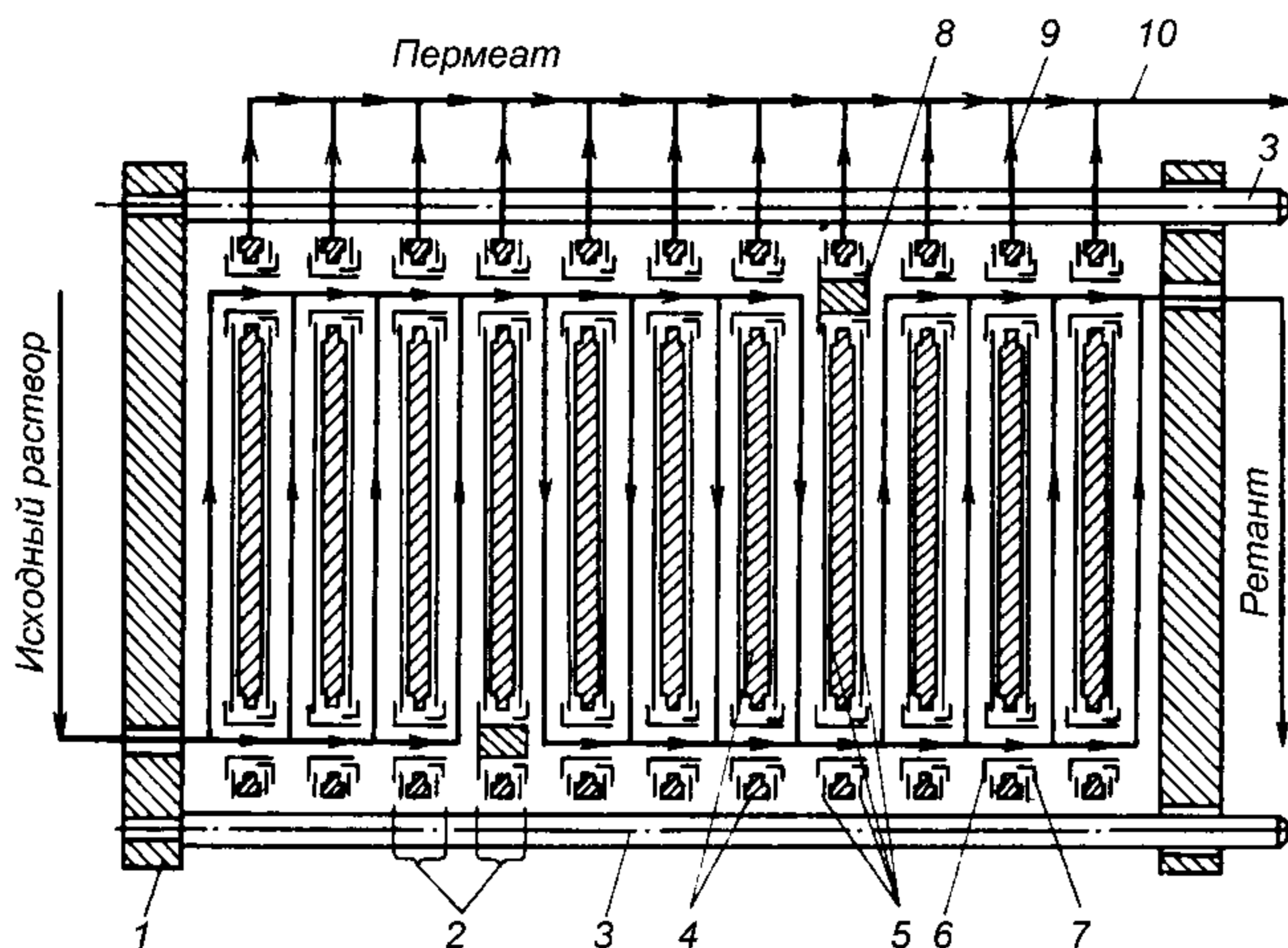


Рис. 3.32. Схема устройства и распределения потоков в аппарате эллиптической формы:

1 — фланец; 2 — мембранные элементы; 3 — направляющие штанги; 4 — опорные пластины; 5 — дренажи; 6 — проточное кольцо; 7 — замковое кольцо; 8 — заглушка; 9 — штанга; 10 — коллектор пермеата

Расстояние между соседними мембранными элементами (межмембранное пространство — канал, по которому протекает исходный раствор) невелико, в пределах 0,5–5 мм. Разделяемый раствор последовательно проходит между всеми мембранными элементами, концентрируется (*ретант* или *концентрат*) и удаляется из аппарата. Часть этого раствора, прошедшая через мембрану в дренаж, образует *пермеат* (фильтрат).

Аппарат изображенный на рис. 3.32 представляет собой пакет мембранных элементов 2 эллиптической формы, находящийся между круглыми

фланцами 1. Их соосность обеспечивается двумя направляющими штангами 3. На свободные концы штанг навинчиваются гайки, затягиванием которых обеспечивается опрессовка аппарата.

Мембранные элементы состоят из опорных пластин 4, по обеим сторонам которых уложены мембраны 5. Отверстия в опорных пластинах и мембранах точно совмещаются и герметизируются двумя защелкивающимися кольцами: проточным 6 со стороны входа разделяемого раствора в переточные отверстия и замковым 7 со стороны выхода из него. Для подачи разделяемого раствора из переточного отверстия в межмембранный канал и отвода его в другое переточное отверстие в проточных кольцах имеются прорези в радиальном направлении. Проточное кольцо плотно входит в гнездо, окружающее отверстие, чем достигаются соосность всех совмещаемых отверстий и надежная герметизация переточных отверстий по узким кромкам мембран, расположенных между кольцами 6 и 7.

Для распределения разделяемого раствора по секциям одно из переточных отверстий на соответствующих мембранных элементах перекрывают заглушкой 8. Пермеат отбирают отдельно из каждого мембранного элемента по гибким капиллярным шлангам 9 с последующим выводом в общий коллектор 10.

3.33. МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ С ПОЛЫМИ ВОЛОКНАМИ

Эти аппараты нашли широкое применение для разделения растворов обратным осмосом и ультрафильтрацией. Они могут быть как безопорными, так и с опорно-распределительными трубками, служащими также для повышения интенсивности перемешивания раствора.

На рис. 3.33 представлена схема аппарата с одним пучком полых волокон.

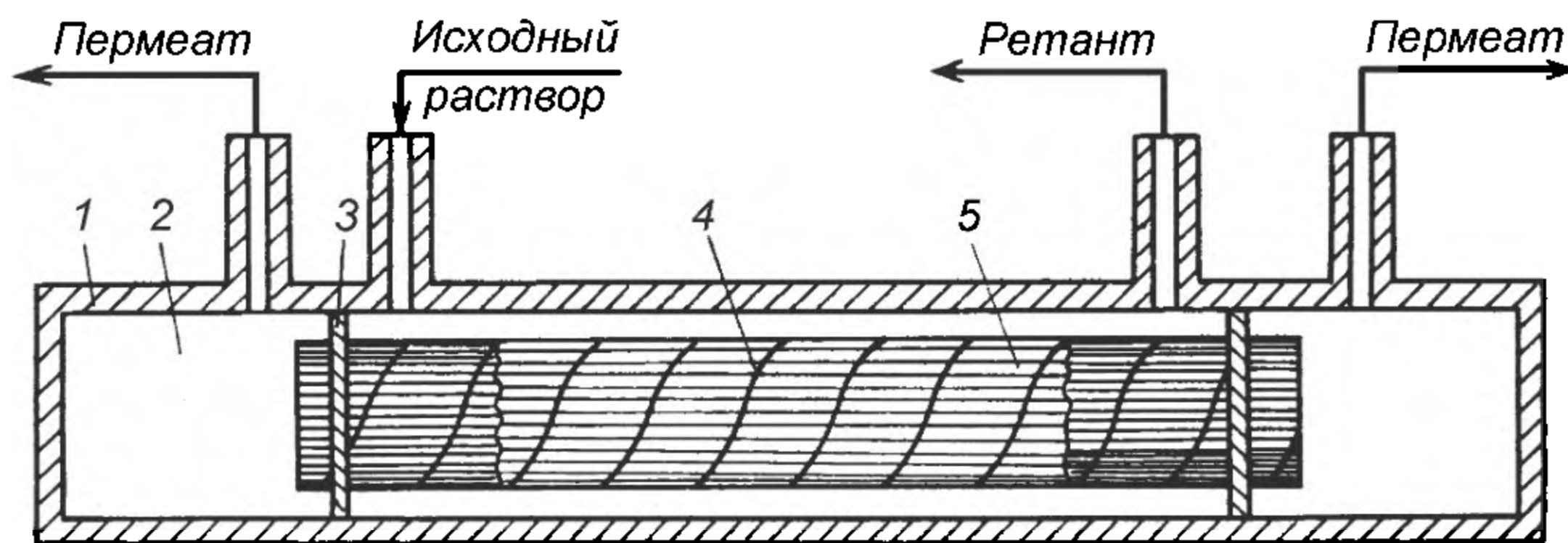


Рис. 3.33. Схема мембранного аппарата с одним пучком полых волокон:

1 – корпус; 2 – сборник пермеата; 3 – перемычка; 4 – спиральная нить; 5 – пучок волокон

В корпус 1 аппарата, снабженного штуцерами для подачи исходного раствора, отвода пермеата и ретанта, установлен пучок полых волокон 5. Волокна собраны в пучок с помощью спирально навитой нити 4, которая одновременно обеспечивает необходимый зазор между отдельными волокнами, что улучшает распределение разделяемого раствора в пучке волокон 5.

В аппарате данной конструкции разделяемую жидкость можно прокачивать как вдоль наружной поверхности полых волокон, так и по капиллярным каналам этих волокон.

3.34. МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ С РУЛОНАМИ

Эти аппараты при сравнительно небольших габаритных размерах имеют большую производительность. Они широко используются при разделении растворов обратным осмосом. Принципиальная схема устройства аппаратов с рулонными мембранными элементами приведена на рис. 3.34.

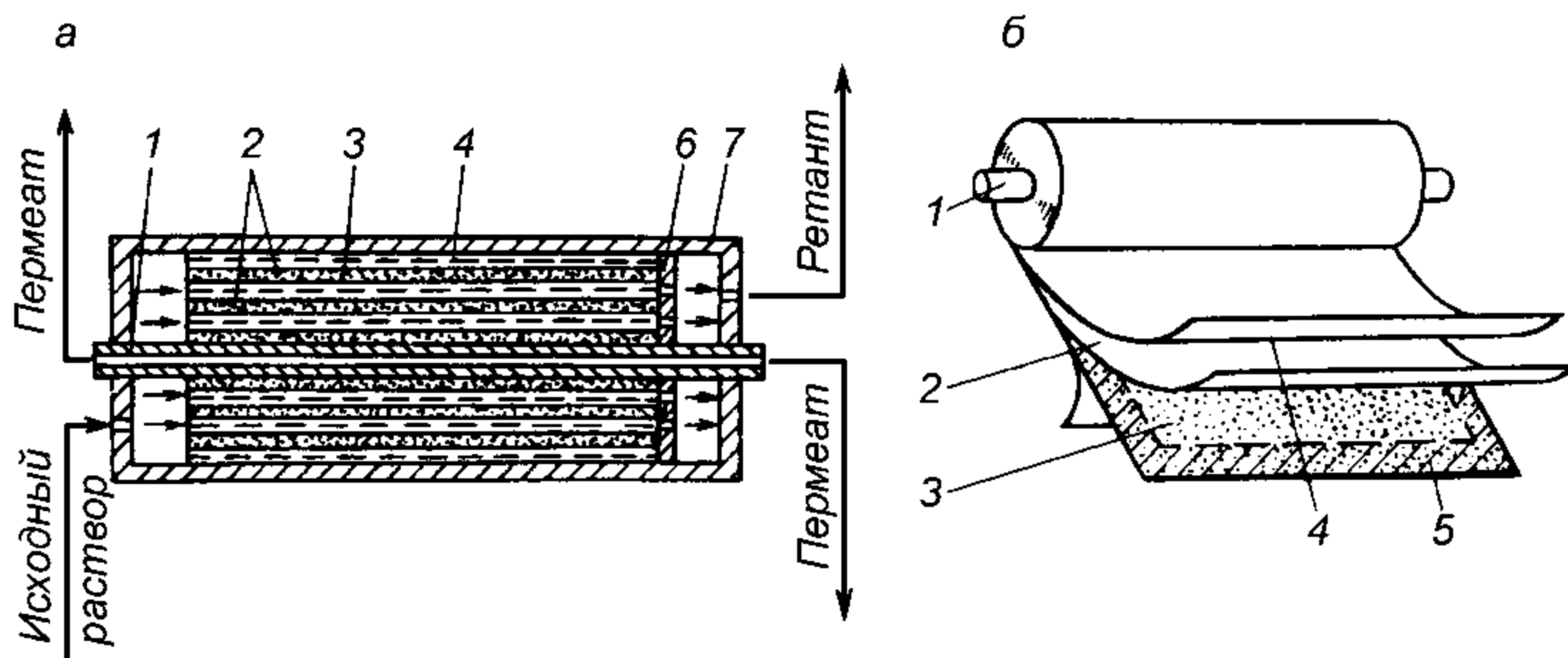


Рис. 3.34. Схема (а) и общий вид (б) аппарата с рулонными мембранными элементами:

1 – пермеатоотводящая трубка; 2 – мембраны; 3 – дренажный лист; 4 – сетка-сепаратор; 5 – область склеивания; 6 – фиксатор; 7 – корпус

В корпусе 7 последовательно установлено несколько рулонных мембранных элементов. Такой элемент состоит из трубки 1, имеющей прорези для прохода пермеата, и герметично присоединенного к ней пакета из двух мембран 2, расположенного между ними дренажного листа 3 и сетки-сепаратора 4, образующей межмембранные каналы. В процессе скручивания пакета для герметичного разделения напорной полости и полости сбора пермеата кромки дренажного листа пропитывают специальным клеем.

Для предотвращения телескопического эффекта (сдвига слоев в рулоне вдоль его оси), возникающего вследствие разности давлений у торцов мембранного элемента, в корпусе 7 аппарата устанавливают фиксаторы 6 (диски с отверстиями для прохода разделяемого раствора). Разделяемый раствор движется по межмембранному каналу, сетка-сепаратор 4 в котором не только определяет его высоту, но и является турбулизатором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гельперин Н.И.* Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1981. В 2-х кн. 812 с.
2. *Дытнерский Ю.И.* Процессы и аппараты химической технологии. 3-е изд. В 2-х кн.: Ч. 1. М.: Химия, 2002. 400 с; Ч. 2. 368 с.
3. *Иоффе И.Л.* Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1991. 352 с.
4. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд. М.: Химия, 1973. 752 с.
5. *Молоканов Ю.К.* Процессы и аппараты нефтегазопереработки. 2-е изд. М.: Химия, 1987. 368 с.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. 2-е изд. / Под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1991. 494 с.
7. *Плановский А.Н., Николаев П.И.* Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. 3-е изд. М.: Химия, 1987. 540 с.
8. *Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З.* Процессы и аппараты химической технологии. 5-е изд. М.: Химия, 1968. 847 с.
9. *Романков П.Г. и др.* Процессы и аппараты химической промышленности / П.Г. Романков, М.И. Курочкина, Ю.Я. Мозжерин, Н.Н. Смирнов; Под ред. П.Г. Романкова. Л.: Химия, 1989. 560 с.
10. *Смирнов Н.Н. и др.* Процессы и аппараты химической технологии. Основы инженерной химии / Н.Н. Смирнов, М.И. Курочкина, А.И. Волжинский, В.А. Плесовских; Под ред. Н.Н. Смирнова. СПб: Химия, 1996. 408 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсорбент 48, 55
Абсорбер(ы)
 насадочные 54–56
 пленочные 55 сл.
 – трубчатые 55, 56
 распыливающие 57 сл.
 – *Вентури* 57, 58
 – механические 57
 – форсуночные 57, 58
 тарельчатые (барботажные) 56 сл.
Абсорбция 48, 56
Адсорбент 48, 55
Адсорбер(ы)
 с неподвижным слоем адсорбента 62
 с плотным движущимся слоем 63
 с псевдооживленным слоем 62 сл.
Адсорбтив 62,
Адсорбция 48, 62, 63
Аппарат(ы) см. также по названиям:
 Абсорбер(ы), Адсорбер(ы), Ва-
 куум-фильтр(ы) и др.
 выпарные см. Выпарные аппараты
 ионообменные см. Ионообменные
 аппараты
 мембранные см. Мембранные ап-
 параты
 с мешалкой 7, 8, 28 сл., 33, 66 сл.
 см. также Мешалки
 для перемешивания см. с мешал-
 кой
 с рубашкой 16, 28, 29, 32, 33 сл.,
 45, 46, 65–67
- Барботаж 24, 29 сл., 33, 51, 54
Барботажные
 абсорберы 56 сл.
 адсорберы 62 сл.
 перемешивающие устройства 29 сл.
 пылеуловители 24
Барботер 30
- Вакуум-фильтр(ы)
 барабанные 16 сл.
 дисковый 19
 ленточный 18 сл.
 нутч-фильтр 15
Вентури
 абсорбер 57, 58
 скруббер 25
 труба 25, 57
Выпаривание 32, 44, 45
Выпарные аппараты
 с вынесенной зоной кипения 43
 – – циркуляционной трубой 42–44
 – – нагревательной камерой 43 сл.
 пленочные 44 сл.
 – роторные 45 сл.
 с циркуляцией естественной 42
 – – принудительной 43 сл.
- Выпарные установки 41, 46
- Газовзвесь 7, 9, 70
Гидравлическое сопротивление 23, 37,
 39, 50–53, 55
Гидрозатвор 28, 42, 50–52, 57, 58, 60
Гидроциклоны 9, 15
- Диспергирование 6, 53, 59, 60, 70
Дренаж 20, 73, 74, 76
- Змеевики 28
- Инкрустация 65, 66
Ионит 48, 72–74
Ионный обмен 48
Ионообменные аппараты
 с неподвижным слоем 72 сл.
 с циркулирующим слоем 73 сл.
Испарение 31, 32, 48, 64, 70
Испарители 32
 – роторные 45, 46
- Калорифер 67, 69–72
 – пластинчатый 34
Камеры пылеосадительные 8
 – нагревательные 42–45
Кипятильник 32, 57
Классификаторы 8
Классификация 8, 9, 64, 71
Кожухотрубчатые теплообменники
 37 сл., 55
 двухтрубные («труба в трубе») 33
 жесткой конструкции 38
 с компенсацией температурных из-
 менений 37 сл.
 с линзовым компенсатором 37
 многоходовые по межтрубному
 пространству 39
 – – трубному пространству 38
 одноходовые 35, 38
 с плавающей головкой 37
 размещение труб в решетках 39,
 40
 с U-образными трубами 37, 38
Конденсатор(ы) 32, 40 сл., 57
 – барометрический 41 сл.
Конденсация 31, 32, 40
Кристаллизатор(ы)
 барабанный 65
 вальцовый 65 сл.
 изогидрический 65
 с мешалкой периодического дей-
 ствия 66 сл.
 с псевдооживленным слоем 64 сл.
Кристаллизация 32, 48, 64–67
 – проведение изогидрически 64,
 65
 – – изотермически 64

Мембранные аппараты
 с плоскими камерами 74 сл.
 с полыми волокнами 75
 с рулонами 76
 Мембранные процессы 48
 — элементы 74–76
 Мембраны 48, 74–76
 Металлоемкость
 Мешалка(и) механическая(ие) 26 сл.
 быстроходные 28
 гребковая 8 сл.
 качающаяся 16, 17
 ленточные 26–29
 лопастные 26–28, 30
 пропеллерные (винтовые) 26–28
 рамные 26–28
 тихоходные 28
 турбинные 26–28
 шнековые 26–29 см. также Шнеки
 якорные 28
 Мокрая очистка газов 7, 25, 26

 Нагревание (нагрев) 28, 29, 31–34, 36, 39, 46, 65, 68
 Нагревательная камера 42–45
 Насадка(и) 40, 49 сл., 54, 61, 68
 из колец *Рашига* 49, 50
 листовая 55
 плоскопараллельная 55
 регулярная 49, 50
 фасонные 49, 50
 хордовая 49, 50
 шаровая 54
 Нутч-фильтр 15 сл.

 Осадитель 7
 Осаждение 6, 7, 9, 11, 16
 Отстаивание 7, 8, 12
 Отстойники 7, 8 сл., 25, 64, 65, 73, 74
 Охлаждение 28, 31–34, 36, 39, 40, 65

 Перегонка 32, 48
 Перемешивание 6, 26–30, 33, 57, 59, 62, 65, 68, 74, 75
 Перемешивающие устройства 28, 29 см. также Мешалки
 — — пневматические (барботажные) 29 сл.
 Пермеат 74–76
 Пневматическое перемешивание 29, 30
 Подогреватель(и) 32, 57
 Процессы
 гидромеханические 6 сл.
 массообменные 32, 47 сл.
 теплообменные 31 сл.
 — нестационарные 32
 — стационарные 32
 Псевдооживление 6, 64
 Псевдооживленный (кипящий) слой 9, 62–65, 71, 72
 Пылеосадительные камеры 8
 Пылеуловитель барботажный 24

Рашига кольца 49, 50
 Ректификационные колонны 57
 Ректификация 48, 55–57, 63, 64
 Ретант (концентрат) 74, 75
 Роторный пленочный испаритель 45 сл.

 Сверхцентрифуги 14
 Струстители 8
 Сепаратор(ы) 7, 42–45, 57, 58, 76
 жидкостные 13 сл.
 циклонный 25
 Скруббер *Вентури* 25
 Сливные устройства тарелок 50, 51, 53
 Смеситель-отстойник 73 сл.
 Суспензия 7–9, 11–22, 24, 25, 65, 67
 Сушилка(и)
 барабанные 68 сл.
 вальцовые 68
 двухвальцовые вакуумные 67 сл.
 камерные 67
 ленточные 71
 пневматические 69 сл.
 с псевдооживленным слоем 71 сл.
 распылительные 70
 Сушка 7, 9, 32, 48, 67–71

 Тарелка(и) 13, 24, 50 сл., 56, 57, 59–61, 72
 с двумя зонами контакта фаз 54
 клапанные 50, 52
 колпачковые 50 сл., 54, 57, 72, 73
 пластинчатые 52 сл.
 провальные 50, 53, 54
 ситчатые 50, 51, 54, 59–61
 с шаровой насадкой 54
 Теплоноситель(и) 29, 32, 33, 35–40, 46, 68–71
 — направление движения 32, 33, 35, 36, 38, 39
 Теплообмен 31, 32
 — поверхность 32–36, 39, 43, 44, 46
 Теплообменник(и) 31, 32
 кожухотрубчатые см. Кожухотрубчатые теплообменники
 с механическими мешалками 28, 29
 насадочные 40 сл.
 с оребренной поверхностью 32, 34
 пластинчатые калориферы 32, 34
 — «фильтр-прессного» типа 35 сл.
 рекуперативные 32
 с рубашкой 32, 33 сл.
 спиральный 32, 36 сл.
 Труба *Вентури* 25, 57
 — выхлопная 10
 — кипяtilьная 42, 44
 — циркуляционная 42–44, 58, 64, 65

 Фильтрат 15–22, 74
 Фильтрование 6, 7, 16–21
 — центробежное 7

Фильтр(ы) 7, 67
 вакуумные см. Вакуум-фильтры
 нутч-фильтр 15 сл.
 рукавный 23, 70
 фильтр-пресс(ы) 20 сл., 35, 36
 – автоматизированный 21 сл.
 – рамный 20 сл.
 центрифуги 13
 электрофильтры 26
Фугат 11, 12

Хладагент 32, 33
Холодильник 32, 57, 63–65

Центрифуги 7, 67
 отстойные 11 сл.
 сверхцентрифуги 14
 фильтрующие 13
Центрифугирование 7
Циклонирование (циклонный процесс)
 7, 9

Циклон(ы) 7, 9 сл., 69, 70, 72
 батарейный 10 сл.
 гидроциклоны 9, 15
 одиочные 9 сл.

Шнек(и) 11, 12, 23, 68–70, 72 см.
 также Мешалка(и) механичес-
 кая(ие) шнековые

Экстрагент 48, 59, 60
Экстрактор(ы) жидкостной экстрак-
 ции
 пульсационные с тарелками 60, 61
 – с насадкой 60, 61
 распылительные 60, 61
 роторно-дисковый 59
 ситчатые 59 сл.
Экстракция (жидкостная) 48, 61
Электрофильтр трубчатый 26
Эмульгирование 6, 55
Эмульсия 7, 13, 15
Эрлифт 30, 74

*Николай Николаевич СМИРНОВ,
Вадим Маркусович БАРАБАШ,
Константин Анатольевич КАРПОВ*
АЛЬБОМ ТИПОВОЙ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ
(принципиальные схемы аппаратов)

Учебное пособие
Под общей редакцией Н. Н. Смирнова
Издание пятое, стереотипное

Редакция
естественно-научной литературы

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб
Издательство «ЛАНЬ»
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
196105, Санкт-Петербург, пр. Ю. Гагарина, д. 1, лит. А.
Тел./факс: (812) 336-25-09, 412-92-72.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 02.10.23.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 60×90^{1/8}.
Печать офсетная/цифровая. Усл. п. л. 10,50. Тираж 30 экз.

Заказ № 1155-23.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета
в АО «Т8 Издательские Технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.