

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Промышленные насадки для колонных аппаратов	6
Глава 2. Насадочные аппараты в теплоэнергетике и химической промышленности	14
2.1. Общие сведения о тепломассообменных насадочных аппаратах	14
2.2. Материалы для изготовления насадок	16
Глава 3. Геометрические характеристики регулярных и насыпных насадок	21
3.1. Эквивалентный диаметр канала в аппаратах с насадкой	21
3.2. Зависимости порозности и удельной поверхности от эквивалентного диаметра канала слоя насадки	22
3.3. Структура слоя насадки в колонных аппаратах	25
3.4. Влияние размеров аппарата на геометрические характеристики насадки	30
Глава 4. Насыпные насадки. виды, конструкция, материалы и характеристики	33
4.1. Кольцевые насадки. Тенденции развития	33
4.2. Насадки в форме колец Мебиуса	49
4.3. Мини-кольцевые насадки	53
4.4. Текстильные полимерные насадки	57
4.4.1. Исследования механической и термохимической стойкости различных видов синтетических монопонитей и насадок из тканых контактных элементов (ТКЭ) на их основе в агрессивных средах	60
4.4.2. Гидродинамические и массообменные характеристики текстильных контактных элементов	68
4.5. Керамические насадки	75
4.6. Аэродинамика аппаратов с кольцевыми насадками	83
Глава 5. Регулярные насадки. Конструкции и характеристики	91
5.1. Блочные насадки из вертикальных гофролистов	91
5.1.1. Гидродинамические испытания регулярной насадки для осуществления процесса испарительного охлаждения оборотной воды в градирне	91
5.1.2. Влияние высоты регулярной насадки на эффективность процесса испарительного охлаждения оборотной воды в градирне	99
5.2. Насадки из высокопористых ячеистых материалов	105
5.2.1. Introduction	105
5.2.2. The structure of highly porous cellular materials	107
5.2.3. Geometric characteristics of layer packing	109
5.2.3.1. General	109
5.2.3.2. Equivalent diameter packing	109
5.2.3.3. Methods for determining the basic geometric characteristics of the packing HPCM	110

5.2.3.4. Dependence of specific surface attachment on the value of equivalent diameter.....	112
5.2.4. Experienced stands and methodology for conducting experiments.....	114
5.2.5. Hydraulic resistance of the ceramic head HPCM.....	116
5.2.5.1. Filtration of the gas flow.....	116
5.2.5.2. Fluid filtration.....	118
5.2.6. The velocity field and turbulence of the gas flow in the samples from HPCM.....	120
5.2.7. Findings.....	122
5.3. Регулярные насадки из текстильных материалов.....	123
5.3.1. Влияние геометрических характеристик регулярной насадки из полимерной сетки на ее тепломассообменные характеристики.....	123
5.3.2. Полимерные насадки из капроновой сетки.....	127
Глава 6. Гидравлическое сопротивление насадок.....	130
6.1. Гидравлическое сопротивление регулярных насадок.....	130
6.1.1. Регулярные насадки «Инжехим».....	137
6.1.2. Регулярная насадка пленочно-капельного типа из геликоидных элементов.....	138
6.1.3. Короткослоевая насадка.....	139
6.1.4. Комбинированные насадки.....	141
6.2. Гидравлическое сопротивление насыпных насадок.....	143
6.2.1. Кольцевые насадки ГИАП.....	143
6.2.2. Мини-кольцевые насадки.....	145
6.2.3. Кольца Мебиуса.....	149
6.2.4. Насадка лепесткового типа с просечными элементами.....	150
6.3. Особенности гидродинамической обстановки в слое насыпных насадок.....	152
Глава 7. Гравитационное течение пленки жидкости.....	160
7.1. Перенос импульса в гравитационной пленке жидкости.....	160
7.2. Особенности распределения жидкости в тепломассообменных аппаратах с насадкой.....	214
7.3. Влияние геометрических характеристик регулярной насадки на особенности гравитационного течения пленки жидкости.....	224
Глава 8. Тепломассообмен в аппаратах с насадкой.....	228
8.1. Сравнительные характеристики промышленных насадок в процессах абсорбции.....	228
8.2. Оценка активной поверхности элементов нерегулярных насадок.....	235
8.3. Влияние геометрических характеристик насадок на процесс испарительного охлаждения.....	247
8.4. Актуальные проблемы интенсификации технологических режимов работы насадочных колонных аппаратов.....	254
Литература.....	267

ПРЕДИСЛОВИЕ

В монографии обсуждаются опытные данные по полям скоростей в тепломассообменных аппаратах в основном с нерегулярной насадкой различного типа. Приводятся исходные уравнения для прогнозирования профиля скоростей в аппаратных с насадкой кольцевой формы, в том числе каналов с шаровыми тепловыделяющими элементами (ТВЭЛ), атомной энергетики.

Анализируется структура слоя насадки, приводятся собственные данные по рентгенографическому исследованию аппаратов с насадкой. Приводятся опытные данные по особенностям газораспределения в аппаратах с насадкой. Рассматривается проблема масштабного фактора промышленных аппаратов с насадкой.

Анализируется проблема равномерного распределения жидкой фазы в условиях противоточного движения системы «газ — жидкость» в насадочных аппаратах. Предлагаются различные конструктивные решения, обеспечивающие равномерное распределение жидкой фазы в теплообменных аппаратах.

Приводятся результаты по исследованию особенностей капельного, струйного и гравитационного пленочного течения жидкости в объеме насадочных элементов слоя насадки.

Представляются основные конструкции регулярных и насыпных насадок. Рассматриваются характеристики регулярных и насыпных насадок различной конструкции из новых конструкционных материалов, в том числе из высокопористых ячеистых материалов (металл и керамика), текстильных полимерных материалов. Приводятся исчерпывающие данные по геометрическим (удельная поверхность, порозность, эквивалентный диаметр и др.), гидравлическим, а также тепломассообменным характеристикам различных типов современных промышленных насадок, полученных как на основе собственных исследований, так и на основе анализа и обобщения литературных данных. Приводятся результаты по исследованию теплообмена шаровых насадок (ТВЭЛов) в кольцевых каналах в потоке воздуха в широком интервале изменения аэродинамических и геометрических параметров. Эти исследования выполнены в Литовском энергетическом институте Литовской академии наук, г. Каунас.

Опытные данные по гидравлическим и тепломассообменным характеристикам регулярных и насыпных насадок, сухих и орошаемых, обобщены и представлены в виде критериальных уравнений.

Обсуждаются представленные тепломассообменные характеристики новейших современных регулярных и насыпных насадок, разработанные на кафедре ПАХТ Московского института химического машиностроения им. Л. Я. Костандова, Машиностроительного университета и Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Эти характеристики сопоставляются с наиболее современными промышленными образцами. Прогнозируются тенденции дальнейшего развития аппаратов для осуществления тепломассообменных процессов в химической технологии и энергетике.

ГЛАВА 1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ НАСАДКИ ДЛЯ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

Насыпные и регулярные насадки используются при осуществлении тепло-массообменных процессов в колонных аппаратах для обеспечения высокоразвитой поверхности контакта взаимодействующих потоков в системе «газ – жидкость». Чаще всего в колонных аппаратах используется противоток газовой и жидкой фаз.

Основные требования, которые предъявляются к насадкам, можно сформулировать следующим образом:

- 1) максимально развить поверхность контакта в объеме насадки, т. е. максимально увеличить величину удельной поверхности насадки a , $\text{м}^2/\text{м}^3$;
- 2) одновременно необходимо максимально снизить потери напора в аппарате с насадкой, т. е. уменьшить величину потери напора в аппарате ΔP , Па.

Понятно, что указанные требования носят явно противоречивый характер. Соединить эти два требования в конструкции одной насадки – нетривиальная задача. В этой связи сведения о структуре и гидродинамике колонных аппаратов с насадкой позволяют предложить оптимальные инженерные решения по конструкции насадки.

На рисунках 1.1–1.3 приведена классификация различных промышленных насадок для колонных аппаратов – насыпных (нерегулярных), регулярных и комбинированных. Более детальная и подробная классификация различных типов насадок содержится в работах [2, 8–10].

В последнее время среди регулярных насадок все большее распространение получают так называемые структурированные насадки. Характеристики таких насадок приведены в работе [1].

Что касается насыпных насадок, то наибольшее распространение получили кольца Палля, насадка ГИАП-НЗ и мини-кольцевые насадки. У мини-кольцевых насадок отношение высоты элемента к его диаметру существенно меньше 1. Определенное распространение в промышленности имеют лепестковые насадки с просечными элементами, седла Инталокс, а также объемные насыпные насадки из полимерной сетки [4].

Внешний вид наиболее распространенных отечественных и зарубежных промышленных насадок представлен на рисунках 1.4–1.9.

Материал для изготовления промышленных насадок для колонных аппаратов зависит от коррозионности среды и температурных условий [2]. Во многих случаях используется углеродистая или нержавеющая сталь. Срок службы металлических насадок обычно составляет 8–12 лет, после чего насадку необходимо заменять. В качестве нержавеющей стали для изготовления насыпных насадок обычно используется сталь марки 12Х18Н10Т.

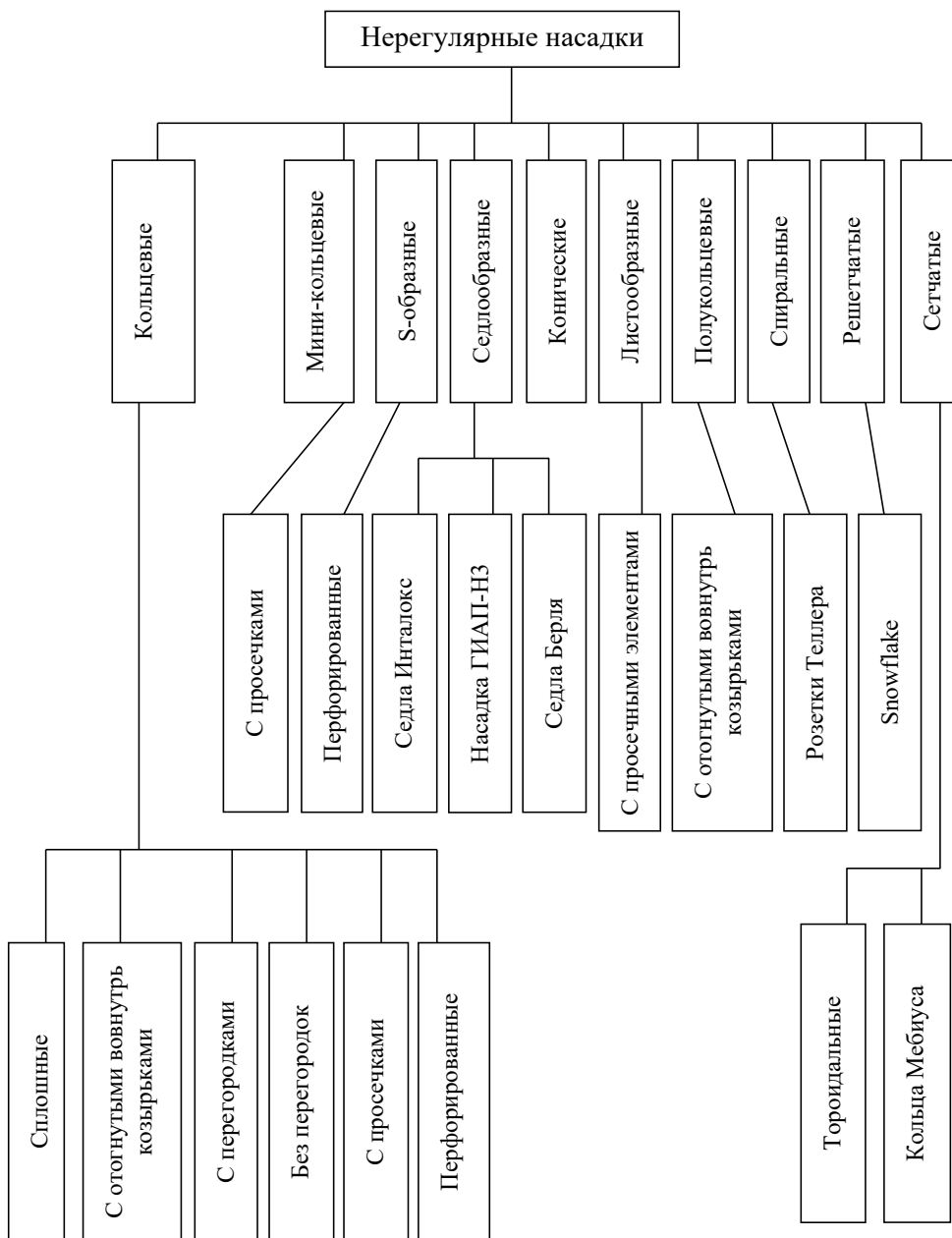


Рис. 1.1. Классификация насыпных (нерегулярных) промышленных насадок для колонных аппаратов

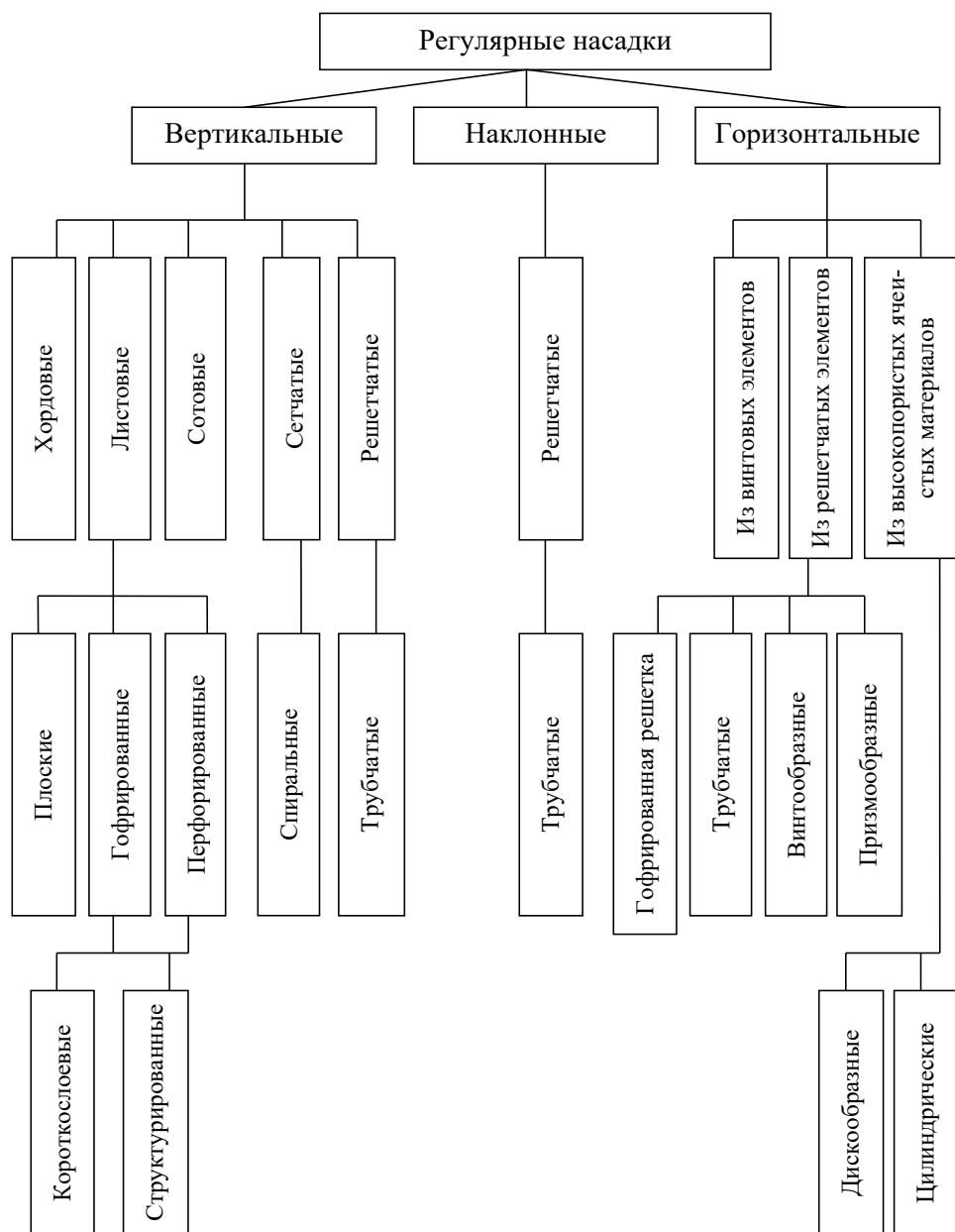


Рис. 1.2. Классификация регулярных промышленных насадок

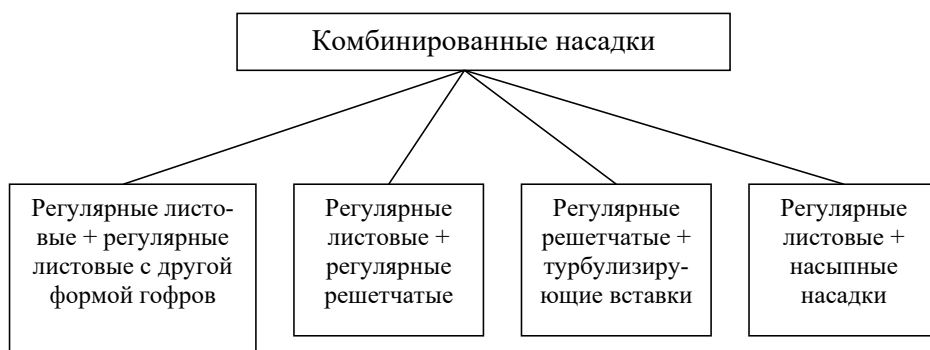


Рис. 1.3. Классификация комбинированных насадок

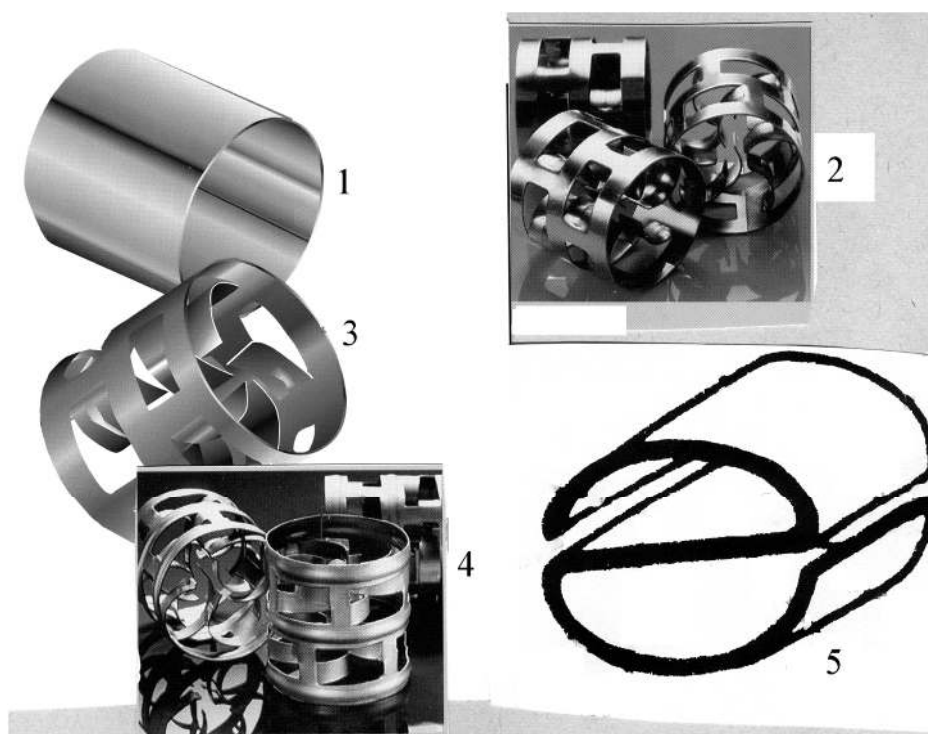


Рис. 1.4. Кольцевые насыпные промышленные насадки:
 1 – кольца Рашига; 2 – кольца Палля; 3 – насадка FLEXIRING®;
 4 – насадка HY-PAK®; 5 – кольца ГИАП-H1.

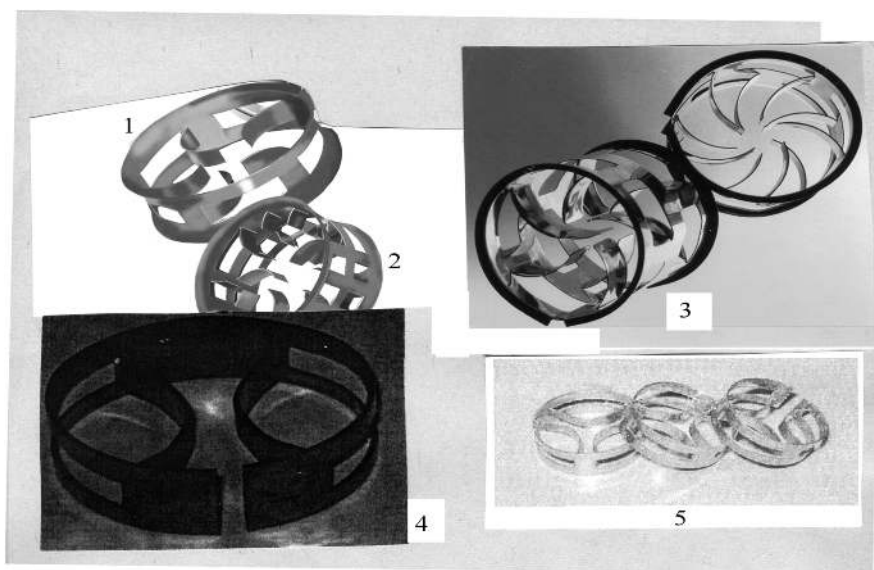


Рис. 1.5. Мини-кольцевые насадки:

1 – насадка CASCADE MINI-RINGS®; 2 – насадка β -ETA RING®;
 3 – насадка High-Strength Pall Rings; 4 – насадка MICHM-X, МГУИЭ;
 5 – насадка SMR.

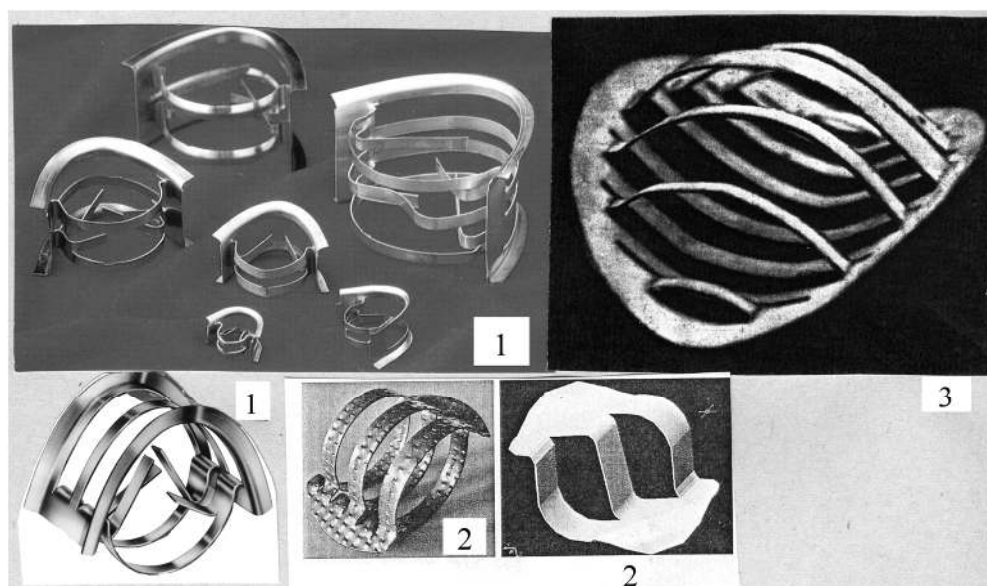


Рис. 1.6. Лепестковые насадки

1 – насадка ИМТР®; 2 – инжехим; 3 – СНР, МГУИЭ.

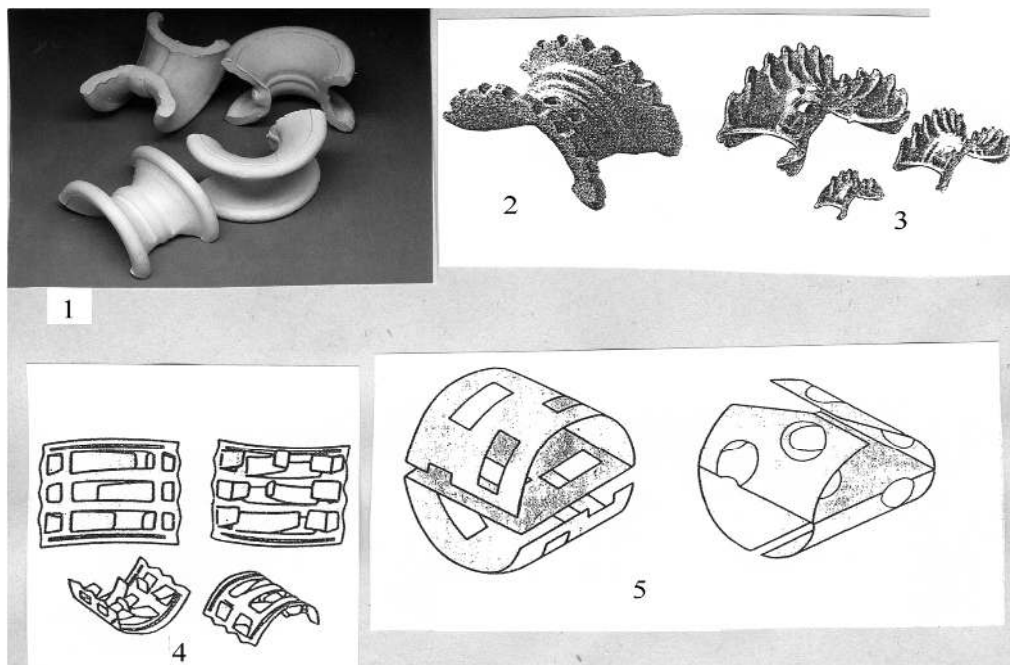


Рис. 1.7. Седлообразные насадки:
 1 – седла «Инталокс» керамические; 2 – седла «СуперИнталокс», керамика; 3 – седла торообразные, пластмасса;
 4 – насадка Leva Packing, металл;
 5 – насадка ГИАП-Н2, металл;
 насадка ГИАП-Н3, металл.

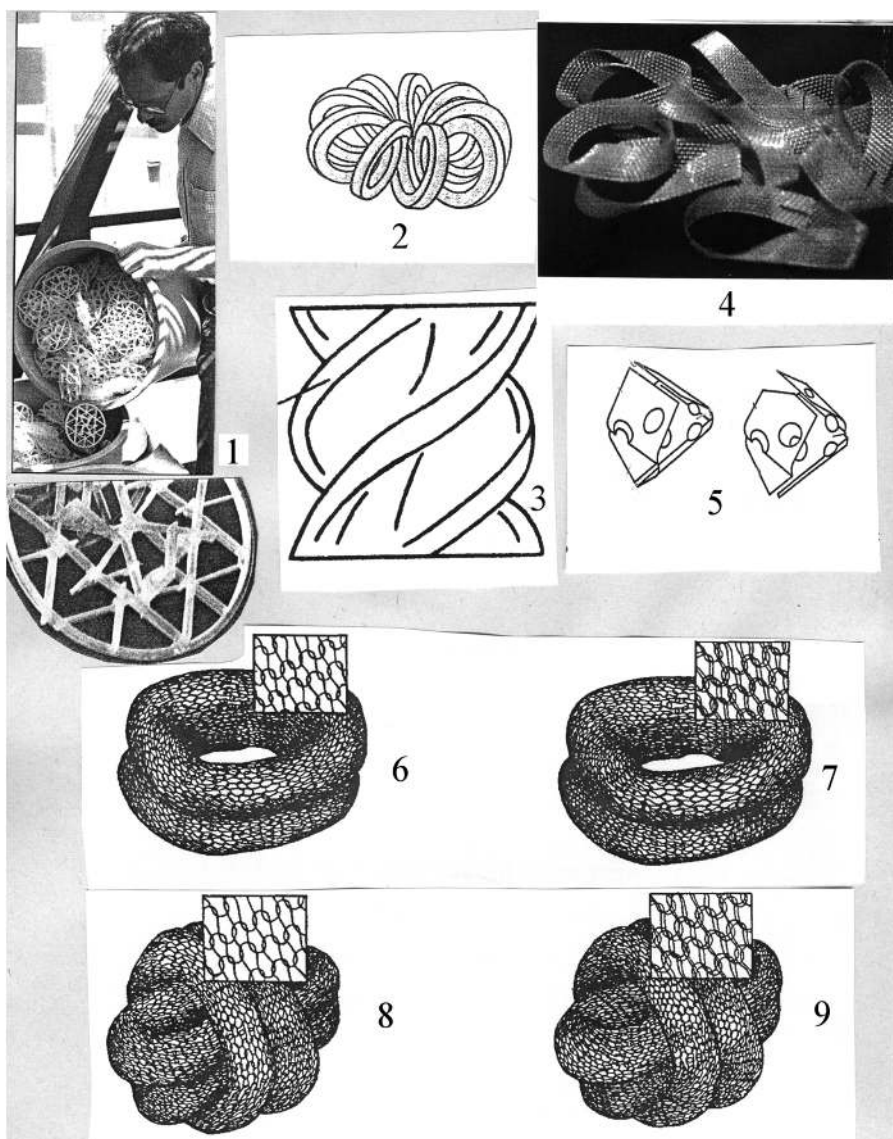


Рис. 1.8. Насыпные насадки сложной геометрической формы:
 1 – насадка SNOWFLAKE[□]; 2 – насадка «Розетка Теллера»; 3 – винтовая насадка из полимерного материала; 4 – кольца Мебиуса из полимерной сетки; 5 – насадка «ГИАП-НЗД»; 6 – сдвоенный тор (СПБГУТД) [4]; 7 – сдвоенный тор в сдвоенном торе (СПБГУТД) [4]; 8 – сдвоенный двухслойный тор (СПБГУТД) [4]; 9 – сдвоенный двухслойный тор в сдвоенном двухслойном торе (СПБГУТД) [4].

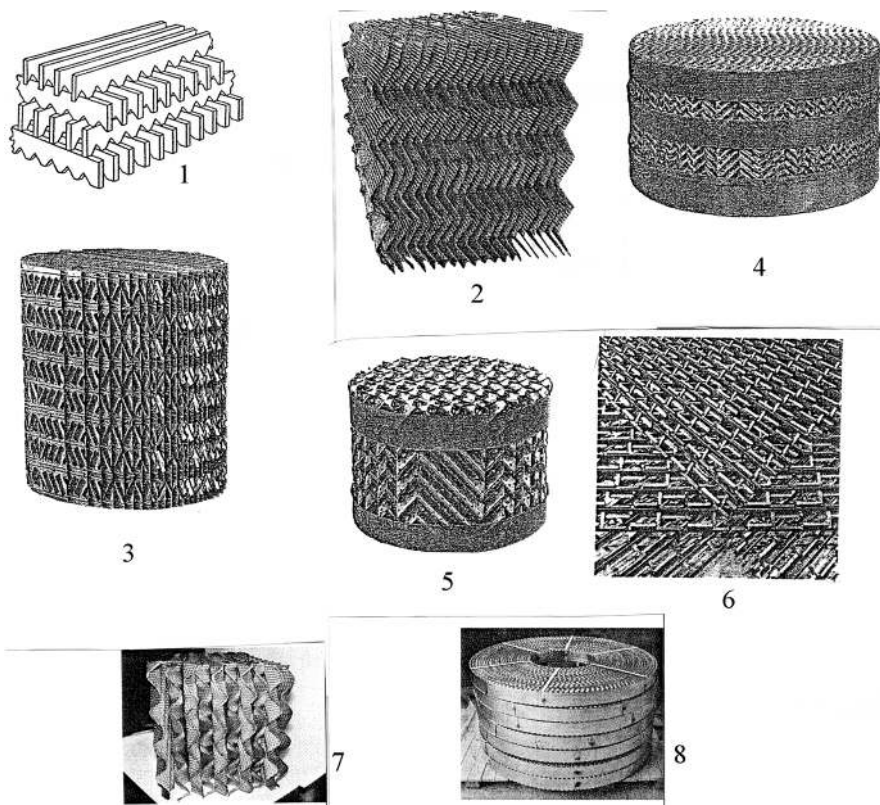


Рис. 1.9. Регулярные насадки:

1 – хордовая насадка деревянная; 2 – насадка «Ваку-Пак» из гофрированной сетки; 3 – листовая насадка «Ралу-Пак 30/160»; 4 – насадка «Зульцер» СУ; 5 – насадка «Меллапак»; 6 – решетчатая насадка «Глитч-грид»; 7 – блочная регулярная насадка ИВЦ «Инжехим»; 8 – рулонная насадка ИРМ ИВЦ «Инжехим».

Подробные сведения о материалах, используемых для изготовления насадок для осуществления того или иного процесса, содержатся в разделе 3 настоящей монографии и в работах [2, 3, 9].

Гидравлические и тепломассообменные характеристики некоторых промышленных насадок приводятся в работах [4–6] и справочнике [7].

ГЛАВА 2. НАСАДОЧНЫЕ АППАРАТЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

2.1. Общие сведения о тепломассообменных насадочных аппаратах

В теплоэнергетике насадки (оросители) широко используются в градирнях систем оборотного водоснабжения различных тепловыделяющих объектов, в том числе АЭС. В реакторах АЭС используют шаровые ТВЭЛы.

Колонные аппараты химических производств широко используются во многих основных химических производствах неорганических и органических продуктов. В этих аппаратах происходят массообменные процессы – абсорбция и ректификация.

Как абсорбция, так и ректификация используются на разных стадиях производственного процесса, начиная с очистки и разделения исходных смесей и заканчивая получением целевых продуктов и очисткой отбросных газов. В работе [11], а также ниже в таблице 2.1 приведены примеры промышленного использования насадочных контактных устройств в некоторых основных производствах химических продуктов, а также в энергетике.

Таблица 2.1

Примеры использования насадок в химических производствах
и в энергетике

Наименование стадий производственного процесса	Наименование производства
Удаление серосодержащих соединений из азотоводородной смеси. Удаление CO ₂ из азотоводородной смеси	Производство аммиака
Абсорбция аммиака водой	Получение аммиачной воды
Абсорбция окислов азота водой	Получение азотной кислоты
Осушка сернистого газа. Абсорбция SO ₃ водой. Очистка отходящего газа от сернистого ангидрида	Производство серной кислоты
Абсорбция HCl водой	Производство соляной кислоты
Очистка от Cl ₂ абсорбционного газа	Производство хлора
Удаление CO ₂ из воздуха. Удаление H ₂ O из воздуха	Производство кислорода
Охлаждение коксового газа водой. Удаление CO ₂ из коксового газа. Выделение NH ₃ , CH ₄ , бензола из коксового газа	Разделение коксового газа
Очистка от H ₂ S и CO ₂ пирогаза. Выделение из пирогаза метано-водородной фракции. Выделение ацетиленов из пирогаза	Производство олефинов
Улавливание фенола	Переработка фенолформальдегидных смол

Наименование стадий производственного процесса	Наименование производства
Улавливание диметилформальдегида	Производство синтетических волокон
Извлечение CO ₂ из дымовых газов	Получение сухого льда
Удаление серосодержащих соединений из азотоводородной смеси. Удаление CO ₂ из азотисто-водородной смеси	Производство метанола
Разделение продуктов вакуумной дистилля- ции	Производство ароматических масел
	Производство эфирных масел
	Производство жирных кислот
	Производство спиртов
Абсорбция бутадиена	Производство синтетического каучука
Рекуперация летучих растворителей (спиртов, кетонов, эфиров)	Производство органических продуктов
Охлаждение водой генераторного газа в скрубберах	Газификация твердых топлив
Охлаждение оборотной водой тепловыделя- ющего оборудования	Испарительное охлаждение в градирнях оборотной воды, поступающей в теплооб- менники и на охлаждение реакторов

Спектр использования насадочных контактных устройств весьма широк. Это не только химическая и смежные с ней отрасли промышленности, такие как нефтехимия и газопереработка. В последние десятилетия насадки находят широкое применение в атомной энергетике, криогенной и холодильной технике. Во многих отраслях используются насадки той же конструкции и из тех же материалов, что и насадки, применяемые в химической промышленности. Однако в ряде отраслей есть своя специфика. Так, например, в тех производствах, где изготавливают продукты питания, лекарства, особо чистые вещества, используются насадки, изготовленные исключительно из нержавеющей стали. В криогенной технике все оборудование изготавливают из высоколегированных сталей, что необходимо по условиям их прочности при низких температурах. В атомной энергетике, где необходимо разделять вещества с близкими физико-химическими свойствами, используются насадки специальной конструкции.

В таблице 2.2 приводятся сведения об использовании насадок в ряде отраслей промышленности, где они применяются наиболее широко.

Таблица 2.2

Использование насадочных аппаратов в промышленности

Наименование отрасли техники	Цель использования насадок при осуществлении процессов абсорбции, ректификации, экстракции, осушки, охлаждения при непосредственном контакте фаз
Химическая промышлен- ность	Производство большинства химических продуктов (неор- ганических и органических)
Нефтехимия	Получение органических продуктов и топлив на основании нефтяного сырья
Газопереработка	Очистка и разделение газовых смесей, получение газов

Наименование отрасли техники	Цель использования насадок при осуществлении процессов абсорбции, ректификации, экстракции, осушки, охлаждения при непосредственном контакте фаз
Фармацевтическая промышленность	Получение лекарств
Парфюмерная промышленность	Получение душистых веществ
Пищевая промышленность	Производство пищевого спирта, уксуса, жиров и др.
Металлургия	Охлаждение доменного газа водой в скрубберах, охлаждение слитков, проката
Криогенная техника	Разделение газовых смесей, получение сжиженных газов
Атомная промышленность	Производство тяжелой воды, разделение изотопов, охлаждение оборотной воды в градирнях на атомных электростанциях
Теплоэнергетика	Охлаждение в градирнях водооборотной воды на ТЭЦ. Извлечение SO ₂ из отбросных газов ТЭЦ, работающих на угле
Перечисленные выше и другие отрасли промышленности (АЭС, ТЭС, машиностроение, лесопереработка и др.)	Охлаждение в градирнях водооборотной воды, поступающей на охлаждение оборудования
Все отрасли промышленности и гражданские объекты	Охлаждение в градирнях водооборотных систем кондиционирования воздуха

2.2. Материалы для изготовления насадок

Для изготовления насадочных контактных устройств используется довольно широкий круг материалов. Применение некоторых материалов в одних случаях обусловлено геометрической формой насадочных элементов, в других случаях – температурным режимом процесса или коррозионными свойствами среды.

Исторически первыми появились нерегулярные насадки кусковой формы, которые в настоящее время находят ограниченное применение. Они изготавливались преимущественно из твердых горных пород – базальта и гранита. Долгие все продолжали использоваться: кокс, применение которого благодаря дешевизне оправдывало себя во многих простых и небольших по масштабу установках; дробленый кварц в башнях Гловера для производства серной кислоты, а также известняк в одном из методов получения сульфитцеллюлозы. Все кусковые материалы подвергались дроблению и последующему отсеиванию на механических ситах. Элементы такой насадки перед началом работы освобождались от мелочи и пыли, механических загрязнений, чаще всего обрабатывались острым паром, а то и обезжиривались.

Нерегулярные насадки правильной формы (кольца, седла и др.) изготавливаются в основном из керамики, фарфора, металла, полимерных материалов, в ограниченном количестве из стекла. Выбор материала обусловлен условиями процесса, а также и стоимостью насадки. Наиболее дешевыми, естественно, яв-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru