

МАГИСТРАТУРА  
И АСПИРАНТУРА

Р. Ф. Витковская, А. С. Пушнов, С. Шинкунас

# АЭРОГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛОМАССОБМЕН НАСАДОЧНЫХ АППАРАТОВ



[www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)



ЛАНЬ®

ЭБС  
ЛАНЬ

**Р. Ф. ВИТКОВСКАЯ,  
А. С. ПУШНОВ,  
С. ШИНКУНАС**

# **АЭРОГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛОМАССОБМЕН НАСАДОЧНЫХ АППАРАТОВ**

**МОНОГРАФИЯ**



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР  
2022**

УДК 536.24  
ББК 35.113я73

**В 54** Витковская Р. Ф. Аэрогидродинамика и тепломассообмен насадочных аппаратов : монография / Р. Ф. Витковская, А. С. Пушнов, С. Шинкунас. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 288 с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Текст : непосредственный.

**ISBN 978-5-8114-4089-4**

Колонные аппараты насадочного типа широко используются в химической технологии, в энергетической и других отраслях промышленности при осуществлении процессов катализа, адсорбции, ректификации для систем «газ — твердое тело», а также «жидкость — твердое тело». Настоящая монография посвящена актуальным вопросам теории и практики гидродинамического моделирования насадочных аппаратов на основе исследования гидродинамических и массообменных характеристик.

В монографии обсуждаются опытные данные по полям скоростей в тепломассообменных аппаратах с нерегулярной и регулярной насадкой различного типа, разработанные на кафедре ПАХТ Московского института химического машиностроения им. Л. Я. Костандова, Машиностроительного университета и Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Приводятся исходные уравнения для прогнозирования профиля скоростей в аппаратных с насадкой кольцевой формы, полученные в Литовском энергетическом институте Литовской академии наук (г. Каунас).

Издание предназначено для специалистов по химической технологии, инженерной защите окружающей среды, обладающих знаниями в области промышленной аэрогидродинамики, высшей математики. Монография может быть полезна для магистрантов и бакалавров, обучающихся по направлениям «Химическая технология», «Техносферная безопасность», «Экология и природопользование», для аспирантов по направлениям «Науки о Земле», «Техносферная безопасность и природообустройство», «Химические технологии».

УДК 536.24  
ББК 32.113я73

Обложка  
Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2022  
© Коллектив авторов, 2022  
© Издательство «Лань»,  
художественное оформление, 2022

# 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 мономеров 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
<b>Глава 6. Гидравлическое сопротивление насадок.....</b>	<b>130</b>
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
<b>Глава 7. Гравитационное течение пленки жидкости.....</b>	<b>160</b>
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
<b>Глава 8. Тепломассообмен в аппаратах с насадкой.....</b>	<b>228</b>
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
<b>Литература.....</b>	<b>267</b>