

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ

А.Д. Жуков

# ВЫСОКОПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ: СТРУКТУРА И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС

Москва 2014

УДК 517.28+536.491+699.86  
ББК 22.161+22.317+38.637  
Ж86

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.Ф. Коровяков*,  
заместитель директора НИИМосстрой;  
кандидат технических наук *И.В. Бессонов*,  
ведущий научный сотрудник НИИСФ РААСН

*Монография рекомендована к публикации научно-техническим советом МГСУ*

**Жуков, А.Д.**

Ж86 Высокопористые материалы : Структура и теплоперенос : монография / А.Д. Жуков : М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. 208 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).

ISBN 978-5-7264-0923-8

Тепло- и массоперенос в **ВЫСОКОПОРИСТЫХ** материалах проявляется как на стадии формирования высокопористой структуры материалов, так и на стадии их эксплуатации.

Рассмотрены основные законы тепло- и массопереноса. Раскрыты закономерности проявления этих законов в капиллярно-пористых коллоидных телах. Проанализированы условия и особенности формирования свойств высокопористых теплоизоляционных материалов и предложены критерии оценки этих свойств, а также конструктивных или технологических приемов, направленных на их оптимизацию.

Для инженерно-технических и научных работников строительной отрасли, отрасли производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также аспирантов и студентов магистратуры.

УДК 517.28+536.491+699.86  
ББК 22.161+22.317+38.637

ISBN 978-5-7264-0923-8

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение _____	3
1. Высокопористые теплоизоляционные материалы _____	5
1.1. Производство теплоизоляционных материалов _____	5
1.1.1. Теплоизоляционные материалы _____	5
1.1.2. Производство волокнистых теплоизоляционных материалов _____	9
1.1.3. Производство ячеистых теплоизоляционных материалов _____	11
1.1.4. Автоклавные ячеистые бетоны _____	15
1.2. Свойства высокопористых материалов _____	17
1.2.1. Функциональные свойства _____	17
1.2.2. Строительно-эксплуатационные свойства _____	19
1.2.3. Акустические свойства _____	23
1.2.4. Воздухопроницаемость волокнистых материалов _____	26
1.2.5. Пористость теплоизоляционных материалов _____	28
1.3. Закономерности формирования пористой структуры _____	32
1.3.1. Способы создания пористой структуры _____	32
1.3.2. Оптимизация структуры высокопористых материалов _____	48
2. Распространение тепла в материалах _____	57
2.1. Теплопроводность материалов при различных условиях _____	57
2.1.1. Общие положения учения о теплообмене _____	57
2.1.2. Теплопроводность при стационарном режиме _____	58
2.1.3. Теплопроводность плоской стенки _____	60
2.1.4. Теплопроводность цилиндрической стенки _____	62
2.2. Конвективный теплообмен _____	64
2.2.1. Закономерности переноса тепла в условиях конвективного теплообмена _____	64
2.2.2. Коэффициент теплоотдачи _____	66
2.2.3. Дифференциальные уравнения теплообмена _____	67
2.3. Теплоотдача при свободном движении жидкости _____	70
2.3.1. Теплоотдача в неограниченном пространстве _____	70
2.3.2. Теплоотдача в ограниченном пространстве _____	73

2.4.	Теплоотдача при вынужденном движении жидкости _____	75
2.4.1.	Теплоотдача при движении жидкости в трубах и каналах _____	75
2.4.2.	Теплоотдача при поперечном омывании труб _____	82
2.4.3.	Теплоотдача при движении жидкости вдоль плоской стенки (плиты) _____	88
2.5.	Теплоотдача при изменении агрегатного состояния жидкости _____	90
2.5.1.	Теплоотдача при кипении жидкости _____	90
2.5.2.	Пузырчатый и пленочный режимы кипения _____	94
2.5.3.	Критическая тепловая нагрузка _____	96
2.5.4.	Обобщенные зависимости теплоотдачи в условиях парообразования _____	97
2.5.5.	Теплоотдача при конденсации паров _____	98
2.6.	Теплопередача излучением _____	101
2.6.1.	Законы теплового излучения _____	101
2.6.2.	Лучистый обмен между телами _____	104
2.6.3.	Лучеиспускание газов _____	105
3.	Теплофизические свойства материалов и систем _____	108
3.1.	Применение теплоизоляционных материалов _____	108
3.1.1.	Энергоэффективность строительных конструкций _____	108
3.1.2.	Мониторинг применения теплоизоляционных материалов в конструкциях _____	109
3.2.	Моделирование структуры и свойств высокопористых материалов _____	113
3.2.1.	Построение универсальных структурных моделей _____	113
3.2.2.	Прогнозирование свойств высокопористых материалов с помощью универсальной модели _____	116
3.3.	Передача тепла в высокопористых материалах _____	119
3.3.1.	Теплопроводность высокопористых материалов _____	119
3.3.2.	Объединенный закон теплопроводности _____	126
3.3.3.	Влияние температуры на распространение тепла в высокопористых материалах _____	130
3.3.4.	Объединенный закон теплопроводности и методы математической статистики _____	133
3.3.5.	Структура материала и тепловые потоки _____	136
4.	Тепломассоперенос при тепловой обработке теплоизоляционных изделий _____	140
4.1.	Основы теории сушки теплоизоляционных изделий _____	140
4.1.1.	Сушка как технологический процесс _____	140
4.1.2.	Законы переноса тепла и влаги _____	143
4.1.3.	Режим и критерии сушки _____	146

4.2. Тепловая обработка штучных теплоизоляционных изделий _____	147
4.2.1. Теория конвективной сушки штучных изделий _____	147
4.2.2. Тепло- и влагообмен между влажным материалом и окружающей газовой средой _____	149
4.2.3. Внутренний влагообмен _____	154
4.2.4. Расчет продолжительности сушки _____	155
4.2.5. Усадка и деформации при сушке штучных изделий _____	157
4.2.6. Методика исследования конвективной сушки штучных изделий _____	159
4.3. Сушка безобжиговых теплоизоляционных изделий _____	165
4.3.1. Перлитцементные изделия _____	165
4.3.2. Минераловатные плиты на битумном связующем _____	168
4.3.3. Вулканитовые изделия _____	174
4.3.4. Перлитобитумные плиты _____	177
4.3.5. Торфяные теплоизоляционные плиты _____	178
4.4. Сушка обжиговых теплоизоляционных изделий _____	183
4.4.1. Диатомовые изделия с выгорающими добавками _____	183
4.4.2. Пенодиатомитовые изделия _____	187
4.4.3. Перлитокерамические изделия _____	190
4.4.4. Вермикулитокерамические изделия _____	194
4.4.5. Легковесные огнеупорные перлитошамотные изделия _____	196
Заключение _____	201
Библиографический список _____	203