

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 тепломассоперенос : 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