Электронный архив библиотеки МГУ имени адмирала Г.И. Невельского

УДК 674:620.9
ББК 37.1
Р17

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета

Рецензенты:
директор НПП «ТермоДревПром» канд. техн. наук П. А. Кайнов
директор ЗАО «Ласкрафт» канд. техн. наук Е. К. Воронин

Авторы: А. В. Сафина, Д. Ф. Зиатдинова, Н. Ф. Тимербаев,
Р17 Р. Г. Сафин, Т. О. Степанова
Разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий процессов переработки древесных материалов, протекающих при меняющихся давлениях среды : монография / А. В. Сафина [и др.]; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. – 288 с.

ISBN 978-5-7882-2302-5

Дан обзор технологических процессов переработки древесных материалов, протекающих при изменении давления среды. На основе формализации взаимосвязанных процессов разработана обобщенная математическая модель, описывающая процессы переработки древесных материалов при меняющихся давлениях. Приведены результаты экспериментальных исследований и математического моделирования. Рассмотрено аппаратурное оформление процессов переработки древесных материалов.

Предназначена для ИТР, магистров и аспирантов, обучающихся по лесотехническим направлениям подготовки.

Подготовлена на кафедре переработки древесных материалов.

УДК 674:620.9
ББК 37.1

ISBN 978-5-7882-2302-5
© Сафина А. В., Зиатдинова Д. Ф., Тимербаев Н. Ф., Сафин Р. Г., Степанова Т. О., 2017
© Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017

Электронный архив библиотеки МГУ имени адмирала Г.И. Невельского

ηqdqγeγ bξ dedξgγεə d ecqbcə γqqdγqγè

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Глава 1
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВАРИАЦИИ ДАВЛЕНИЯ СРЕДЫ 5
1.1. Обзор технологических процессов переработки древесных материалов, протекающих при вариации давления среды 5
1.2. Комплексный системный анализ технологических процессов переработки древесных материалов, сопровождающихся вариацией давления 12
1.3. Тепломассообмен в технологических процессах переработки древесных материалов, протекающих при вариации давления среды 17
1.4. Обобщенная иерархическая структура процессов, протекающих при вариации давления среды 27
Глава 2
ФОРМАЛИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ МЕНЯЮЩЕМСЯ ДАВЛЕНИИ СРЕДЫ 31
2.1. Формализация свойств древесных материалов 31
2.1.1. Структурно-кинетические особенности древесного угля 31
2.1.2. Структурно-кинетические особенности растворов, суспензий 37
2.1.3. Структурно-кинетические особенности древесных материалов 40
2.2. Формализация взаимосвязанных процессов тепломассопереноса, протекающих при понижении давления среды 44
2.3. Функциональная связь оборудования для регулирования давления среды с основным аппаратом технологического процесса переработки древесных материалов 48
Глава 3 53
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОТЕКА-ЮЩИХ ПРИ МЕНЯЮЩЕМСЯ ДАВЛЕНИИ СРЕДЫ

ηqdqγeγ bξ dedξgγεə d ecqbcə γqqdγqγè

ηqdqγeγ bΕ dedΕgγesγ d ecqbcγ Jqddγqγè

3.1. Физическая картина процесса 53
3.2. Формализация процесса 54
3.3. Тепломассоперенос в условиях внешней задачи 55
3.4. Тепломассоперенос в условиях внутренней задачи для процессов переработки древесных материалов, протекающих при изменении остаточного давления среды 64
3.4.1. Тепломассоперенос при удалении свободной жидкости из древесного угля 65
3.4.2. Тепломассоперенос при десорбции активированного угля 69
3.5. Теплообмен в слое дисперсного материала при радиальной фильтрации теплоносителя 75
3.6. Тепломассоперенос при кристаллизации 86
3.7. Тепломассоперенос в условиях внутренней задачи для процессов переработки древесных материалов, протекающих при изменении парциальных давлений паров 91
3.7.1 Тепломассоперенос при сушке растворов и суспензий сбросом давления 91
3.7.2. Тепломассоперенос при нагреве дисперсных коллоидных капиллярно-пористых материалов в среде насыщенного пара 94
3.8. Тепломассоперенос в химически реагирующих средах 102
3.9 Управление технологическими процессами, протекающими при изменяющихся давлениях среды 107
3.10. Обобщенная математическая модель процессов, протекающих при изменении давления среды 110
Глава 4
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВАРИАЦИИ ДАВЛЕНИЯ СРЕДЫ 114
4.1. Разработка экспериментальных установок для исследования тепломассообменных процессов 114
4.1.1. Экспериментальная установка для исследования процессов переработки древесных материалов, протекающих при постепенном изменении давления среды 115
4.1.2. Экспериментальная установка для исследования процессов сушки и измельчения высоковлажных древесных материалов и продуктов их переработки сбросом давления 119

ηqdqγeγ bΕ dedΕgγesγ d ecqbcγ Jqddγqγè

4.1.3. Установка для исследования нагрева древесных материалов в среде насыщенного водяного пара 121
4.1.4. Установка дли исследования кинетики совмещенных процессов вакуумной сушки-пропитки 123
4.1.5. Экспериментальная установка для исследования теплообмена в слое дисперсного материала 127
4.1.6. Эксперименатльная установка для исследования кондуктивного теплообмена 128
4.2. Разработка экспериментальных установок для исследования термохимических процессов переработки древесных материалов 130
4.2.1. Экспериментальный стенд для исследования термохимических процессов, сопровождающихся выделением парогазовой фазы 130
4.2.2. Экспериментальная установка для исследования процесса пиролиза при различных давлениях среды 135
4.2.3. Экспериментальная установка для низкотемпературной плазменной модификации древесных материалов 138
4.3. Разработка экспериментальных установок для исследования тепловых и сорбционных свойств материалов 142
4.3.1. Экспериментальная установка для исследования гидротермических свойств материалов 143
4.3.2. Экспериментальная установка для определения теплоемкости дисперсных материалов 144
4.3.3. Установка для анализа влагосодержания древесных материалов 147
4.3.4. Экспериментальная установка для определения коэффициента молярного переноса жидкости 149
4.4. Анализ результатов математического моделирования и экспериментальных исследований 153
4.4.1. Анализ результатов исследования процесса удаления многокомпонентной жидкости в первом периоде сушки 153
4.4.2. Анализ результатов исследования процесса удаления многокомпонентной жидкости во втором периоде сушки 157
4.4.3. Анализ результатов исследования процесса сушки при управлении режимом снижения влагосодержания 162
4.4.4. Анализ результатов исследования процесса теплообмена в слое дисперсного материала 164

ηqdqγeγ bξ dedξbγεə d ecqbcə γqqdγqγè

4.4.5. Анализ результатов исследования процессов, протекающих при «сбросе» давления 168
4.4.6. Анализ результатов исследования процессов испарительного охлаждения жидкостей и самозамораживания дисперсных материалов 175
4.4.7. Анализ результатов исследования процессов концентрирования и кристаллизации растворов 178
4.4.8 Анализ результатов процесса химического взаимодействия реагентов в гомогенной и гетерогенной средах 182
4.4.9. Анализ результатов исследований при термомодификации пиломатериалов в среде водяного пара 185
4.4.10. Анализ результатов исследования процесса пиролиза древесины путем регулирования давления среды 201
4.4.11. Анализ результатов исследований процесса газификации древесных отходов при вариации давления среды 203
Глава 5
РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ МЕНЯЮЩЕМСЯ ДАВЛЕНИИ СРЕДЫ 208
5.1. Разработка аппаратов для технологических процессов сушки древесных материалов, происходящих при понижении давления среды 208
5.1.1. Совершенствование технологий аппаратурного оформления процессов сушки термонеустойчивых продуктов понижением давления 209
5.1.2. Аппаратурное оформление процесса сушки растворов сбросом давления 210
5.1.3. Аппаратурное оформление процесса сушки суспензии 212
5.1.4. Аппаратурное оформление процесса сушки высоковлажных материалов понижением парциального давления паров 213
5.2. Аппаратурное оформление процесса кристаллизации растворов 215
5.3. Аппаратурное оформление процесса испарительного охлаждения жидкостей 217
5.4. Аппаратурное оформление технологических процессов с применением тепловых труб 219

ηqdqγeγ bξ dedξbγεə d ecqbcə γqqdγqγè

5.5. Разработка аппаратурного оформления технологических процессов, протекающих в осциллирующих режимах переработки древесных материалов 222
5.6. Установка для экстрагирования древесной зелени насыщенным паром 223
5.7. Установка сепарации пирогазов 226
5.8. Установка для регулирования рабочего давления в аппаратах термохимических процессов переработки древесных материалов 228
Глава 6
ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ МЕНЯЮЩЕМСЯ ДАВЛЕНИИ СРЕДЫ 231
6.1. Расчет технологических параметров и отдельных узлов технологических комплексов по переработке древесных материалов 232
6.1.1. Расчет параметров устройств для понижения давления среды 232
6.1.2. Расчет параметров устройств сжигания горючих газов 236
6.1.3. Аэродинамический расчет парогазового тракта разрабатываемых технологических комплексов 241
6.2. Разработка опытно-промышленной установки для регулирования избыточного давления, возникающего при выгрузке варочных котлов 243
6.3. Разработка установки для утилизации отработанных деревянных шпал 246
6.4. Разработка установки для производства древесного угля 248
6.5. Разработка установки для получения хвойного экстракта 252
6.6. Разработка установки для комплексной переработки древесной зелени 254
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 256
Условные обозначения 260
Индексы 262
Список использованных источников 263