

УДК 674.04

ББК 35.762

Э65

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

*Рецензенты:*

*канд. техн. наук П. А. Кайнов*

*д-р техн. наук А. З. Халитов*

**Э65 Авторы: Г. М. Бикбулатова, С. А. Забелкин, В. Н. Башкиров,  
А. Р. Валеева, А. Н. Грачев**

Энергетическое использование древесины с применением технологии быстрого пиролиза : монография / Г. М. Бикбулатова, С. А. Забелкин, В. Н. Башкиров [и др.]; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2022. – 156 с.

ISBN 978-5-7882-3084-9

Рассмотрены в совокупности процессы переработки древесины в жидкое топливо термохимическим методом и последующее энергетическое использование полученного топлива методом сжигания с применением существующего оборудования.

Предназначена для бакалавров направления 18.03.01 «Химическая технология» профиля «Химическая переработка древесины».

Подготовлена на кафедре химической технологии древесины.

**УДК 674.04**

**ББК 35.762**

ISBN 978-5-7882-3084-9

© Бикбулатова Г. М., Забелкин С. А.,  
Башкиров В. Н., Валеева А. Р.,  
Грачев А. Н., 2022

© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2022

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение .....	7
Глава I. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПИРОЛИЗА .....	8
1.1. Роль биомассы дерева в мировой энергетике .....	8
1.2. Классификация древесных отходов .....	11
1.2.1. Лесосечные отходы при заготовке и транспортировке .....	12
1.2.2. Отходы при производстве лесоматериалов .....	13
1.2.3. Отходы производства целлюлозы .....	13
1.3. Технологии энергетического использования биомассы дерева .....	14
1.4. Энергетическое использование жидких продуктов термического разложения древесины .....	20
1.4.1. Использование жидких продуктов термического разложения древесины в котлах .....	20
1.4.2. Газификация пиролизной жидкости .....	23
1.4.3. Использование пиролизной жидкости в дизельных двигателях .....	24
1.4.4. Использование пиролизной жидкости в газовых турбинах .....	31
1.4.5. Совмещенное сжигание пиролизной жидкости и ископаемых топлив .....	39
1.4.6. Другие направления энергетического использования пиролиз- ной жидкости .....	40

Глава II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВОКУПНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ И ЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....	42
2.1. Физико-химическая картина совокупности процессов термического разложения древесины с образованием пиролизной жидкости и ее энергетического использования.....	42
2.2. Формализация процессов энергетического использования древесины с применением технологии быстрого пиролиза .....	49
2.3. Математическая модель процессов энергетического использования древесины с применением технологии быстрого пиролиза.....	52
2.4. Алгоритм расчета математической модели горения пиролизной жидкости .....	66
Глава III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ В ЖИДКОЕ ТОПЛИВО И ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....	68
3.1. Экспериментальные стенды для исследования процесса переработки древесины в жидкое топливо и его энергетического использования.....	68
3.1.1. Экспериментальный стенд для исследования процесса термического разложения древесины .....	68
3.1.2. Экспериментальный стенд для исследования процесса сжигания пиролизной жидкости .....	73
3.2. Методика проведения исследований процесса переработки древесины в жидкое топливо и его энергетического использования.....	77
3.2.1. Методика проведения исследований процесса термической переработки древесины .....	77
3.2.2. Методика проведения исследований процесса сжигания пиролизной жидкости .....	78
3.3. Исследование свойств пиролизной жидкости.....	79

3.3.1. Определение фракционного состава пиролизной жидкости ...	79
3.3.2. Исследование химического состава пиролизной жидкости ....	80
3.3.3. Исследование физических и топливных свойств пиролизной жидкости .....	84
3.3.4. Исследование кинетики и выхода продуктов при термическом разложении пиролизной жидкости.....	85
3.3.5. Исследование продуктов термического разложения пиролизной жидкости .....	89
3.4. Анализ результатов экспериментального исследования и математического моделирования процесса переработки древесины в жидкое топливо и его энергетического использования .....	90
3.4.1. Анализ результатов математического моделирования и экспериментальных исследований процесса термического разложения древесины.....	90
3.4.2. Анализ результатов исследования кинетики и выхода продуктов при термическом разложении пиролизной жидкости .....	95
3.4.3. Анализ результатов экспериментальных исследований и математического моделирования процесса сжигания пиролизной жидкости .....	101
<b>Глава IV. ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ В ЖИДКОЕ ТОПЛИВО И ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....</b>	<b>110</b>
4.1. Промышленная реализация технологической стадии переработки древесины в жидкое топливо.....	110
4.1.1. Разработка способа переработки древесины в пиролизную жидкость .....	110
4.1.2. Опытнo–промышленная установка для переработки древесных отходов методом термического разложения .....	114

4.2. Промышленная реализация технологической стадии энергетического использования пиролизной жидкости.....	119
4.2.1. Использование пиролизной жидкости в промышленной горелке испарительного типа .....	119
4.2.2. Опытно–промышленная установка энергетического использования пиролизной жидкости.....	121
4.2.3. Использование пиролизной жидкости в горелке распылительного типа.....	125
4.2.4. Исследование состава продуктов сгорания пиролизной жидкости .....	128
4.3. Техничко-экономическая оценка технологии переработки древесины в жидкое топливо и его энергетического использования....	132
Заключение.....	141
Библиографический список.....	144