

**УДК 662.61:662.63**  
**ББК 37.130**

Тимербаев Н.Ф.

Комплексная энерготехнологическая переработка древесных отходов с применением прямоточной газификации: монография / Н.Ф. Тимербаев / М-во образ. и науки России, Казань: КНИТУ, 2011. – 252 с.  
 ISBN 978-5-7882-1162-6

Представлены результаты исследования процессов термической переработки древесных отходов: приведена классификация и энергетические характеристики древесных отходов как биотоплива, рассмотрена кинетика процесса прямоточной газификации древесины, представлено аппаратное оформление процессов термической переработки древесных отходов.

Предназначена для ИТР, аспирантов и студентов, обучающихся по лесотехническим специальностям.

Подготовлена на кафедре «Переработка древесных материалов».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского Национального исследовательского технологического университета.

Рецензенты: зам. ген. директора  
 ВКНИИЛП по научной работе  
 канд. техн. наук, ст. науч. сотр. А.А. Аксянов

директор  
 НПП «ТермоДревПром»  
 канд. техн. наук П.А. Кайнов

ISBN 978-5-7882-1162-6

© Тимербаев Н.Ф.,  
 © Казанский национальный  
 исследовательский  
 технологический  
 университет,  
 2011

## СОДЕРЖАНИЕ:

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ</b>	<b>5</b>
1.1. Классификация и энергетические характеристики древесных отходов	7
1.2. Термохимические методы переработки отходов ЛПК	11
1.2.1. Техника и технологии сжигания отходов ЛПК	12
1.2.2. Пирогенетическая переработка отходов ЛПК	22
1.3. Современное состояние техники и технологии процесса газификации	27
1.3.1. Теоретические основы процесса газификации	28
1.3.2. Аппаратурное оформление процесса газификации	38
1.4. Основные подходы к математическому описанию процесса газификации	43
<b>Глава 2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ</b>	<b>51</b>
2.1. Компонентный состав древесины	51
2.2. Термическое разложение древесины	54
2.2.1. Влияние условий деструкции на процесс термического разложения и выход продуктов	55
2.2.2. Термопревращения гемицеллюлоз	59
2.2.3. Термопревращения целлюлозы	60
2.2.4. Термопревращения легнина	65
2.3. Структурно-механические свойства древесных отходов	67
2.4. Свойства древесины как объекта сушки	72
2.5. Свойства и применение продуктов сгорания как сушильного агента	79
<b>Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЯМОТОЧНОЙ</b>	<b>83</b>

## ГАЗИФИКАЦИИ

<b>3.1. Физическая картина процесса</b>	<b>83</b>
<b>3.2. Формализация процесса энерготехнологической переработки</b>	<b>89</b>
<b>3.3. Математическое описание процесса энерготехнологической переработки древесных отходов с применением прямоточной газификации</b>	<b>92</b>
<b>3.3.1. Тепломассоперенос при сушке отходов деревообработки</b>	<b>92</b>
<b>3.3.2. Тепломассоперенос в пиролизной зоне</b>	<b>106</b>
3.3.3. Расчет процесса горения пиролизных газов	112
3.3.4. Тепломассоперенос в восстановительной зоне	114
<b>3.4. Методика решения и алгоритм расчета процесса газификации отходов деревообработки</b>	<b>116</b>
<b>Глава 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПРЯМОТОЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ</b>	<b>124</b>
<b>4.1. Разработка экспериментальных установок для исследования энерготехнологической переработки древесных отходов с применением прямоточной газификации</b>	<b>125</b>
<b>4.1.1. Экспериментальный стенд для исследования процесса прямоточной газификации отходов деревообработки</b>	<b>125</b>
<b>4.1.2. Установка для исследования процесса предварительной сушки отходов лесопромышленного комплекса при конвективном подводе тепла</b>	<b>132</b>
<b>4.1.3. Экспериментальный стенд для исследования совмещенных процессов сушки и горения древесных отходов топочными газами</b>	<b>134</b>
<b>4.1.4. Экспериментальная установка для определения параметров процесса в зоне пиролиза</b>	<b>140</b>
<b>4.1.5. Установка для исследования процессов</b>	<b>143</b>

протекающих в восстановительной зоне узла газификации	
<b>4.2. Методика проведения экспериментальных исследований</b>	<b>145</b>
4.3 Метаматематическое моделирование и экспериментальное исследование процессов, протекающих при энерготехнологической переработке древесных отходов с применением прямоточной	146
<b>4.3.1. Анализ результатов моделирования конвективной сушки влажных древесных отходов отработанными топочными газами</b>	<b>148</b>
<b>4.3.2. Анализ результатов моделирования процесса газогенерации в пиролизной зоне</b>	<b>159</b>
4.3.3. Анализ результатов моделирования процесса газификации в зонах окисления и восстановления	163
<b>Глава 5 ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЯМОТОЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ</b>	<b>175</b>
<b>5.1. Расчет технологических параметров и отдельных узлов энерготехнологического комплекса по переработке древесных отходов</b>	<b>176</b>
<b>5.1.1. Расчет параметров топочного устройства</b>	<b>176</b>
<b>5.1.2. Расчет параметров газогенератора прямоточного типа</b>	<b>182</b>
<b>5.1.3. Аэродинамический расчет газовоздушного тракта энерготехнологического комплекса</b>	<b>185</b>
<b>5.2. Разработка прямоточных газификаторов, совмещенных с узлом предварительной сушки древесных отходов</b>	<b>187</b>
<b>5.2.1. Газификатор для переработки высоковлажных материалов</b>	<b>187</b>
<b>5.2.2. Газогенератор для производства синтезированных продуктов</b>	<b>193</b>
<b>5.2.3. Газификатор для переработки древесных отходов, содержащих полимерные включения</b>	<b>195</b>
<b>5.2.4. Газификатор для переработки древесных</b>	<b>199</b>

отходов в синтез-газ	
<b>5.3. Разработка опытно-промышленных установок переработки древесных отходов</b>	<b>201</b>
<b>5.3.1. Установка для термической переработки древесных отходов, содержащих полимерные включения</b>	<b>201</b>
<b>5.3.2. Установка для газификации древесных отходов повышенной влажности</b>	<b>207</b>
<b>5.4. Алгоритм выбора газогенераторов для переработки древесных отходов</b>	<b>212</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>214</b>
<b>Условные обозначения</b>	<b>216</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>219</b>