

УДК 58.036

**Терехин Алексей Павлович**

магистрант  
Северный (Арктический) университет имени  
М.В. Ломоносова  
Россия, Архангельск  
x-line@rambler.ru

**Alexey P. Terekhin**

Post-graduate student  
Northern (Arctic) Federal University named  
after M.V. Lomonosov  
Russia, Arkhangelsk

**ТЕРМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
КОРОДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА,  
СЖИГАЕМОГО В ТЭС-1 АО  
«АРХАНГЕЛЬСКИЙ ЦБК»<sup>1</sup>**

**THERMAL STUDIES OF BARK-WOOD FUEL  
BURNED IN TPP-1 OF ARKHANGELSK PULP  
AND PAPER MILL JSC**

**Аннотация**

Одной из важнейших целей Энергетической стратегии России на период до 2035 г. является переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, рациональное природопользование, энергетическая эффективность и безопасность, диверсификация используемых видов топлива и энергии, экологическая приемлемость. Топливо-энергетический комплекс России, как и любой другой страны мира является основой экономики, от выбора направлений развития ТЭК зависит экологическое состояние окружающей среды. Целью данной работы является приведение термогравиметрических и теплотехнических исследований кородревесного топлива (КДТ), сжигаемого в ТЭС-1 в АО «АЦБК», с целью последующей разработки рекомендаций для обеспечения оптимальных режимов эксплуатации котлоагрегата с кипящим слоем.

**Ключевые слова:**

кородревесное топливо, биоэнергетика, биотопливо, термогравиметрический анализ, теплотехнический анализ

**Abstract**

One of the most important goals of Russia's Energy Strategy for the period up to 2035 is the transition to environmentally friendly and resource-saving energy, rational use of natural resources, energy efficiency and safety, diversification of fuels and energy used environmental acceptability. The fuel and energy complex of Russia, like any other country in the world, is the basis of the economy, the ecological state of the environment depends on the choice of directions for the development of the fuel and energy complex. The purpose of this work is to bring thermogravimetric and thermal engineering studies of the bark-wood fuel burned in tpp-1 Arkhangelsk pulp and paper mill jsc, for the purpose of further development of recommendations to ensure optimal operating modes of the boiler unit with a fluidized bed.

**Keywords:**

bark-wood fuel, bioenergy, biofuels, thermogravimetric analysis, thermal analysis

Теории о необходимости развития альтернативных источников энергии приобретают особое значение в сфере энергетики в связи с повышением цены на традиционные виды топлива. Учитывая наличие в Архангельской области большого количества кородревесных отходов, наиболее перспективным направлением совершенствования топливо-энергетического комплекса является развитие биоэнергетики [1].

<sup>1</sup> Научный руководитель: Любов Виктор Константинович, профессор, д.т.н., Северный (Арктический) университет имени М.В. Ломоносова

Биоэнергетика – молодое и динамично развивающееся направление российской экономики, в которой для производства энергии используется биотопливо (топливо биологического происхождения): отходы лесозаготовительных, деревообрабатывающих и перерабатывающих производств [2, 3].

Использование биотоплива является одним из эффективных направлений снижения выбросов вредных веществ в атмосферу от энергетических установок [4].

Прямое сжигание биотоплив в топочных устройствах становится все более распространенным. Теплотехнические и технологические показатели биотоплива существенно влияют на конструкцию топочных устройств и в большой мере определяют показатели работы утилизационных котлоагрегатов.

Актуальность данного исследования состоит в том, что экологизация энергетики нацелена на повышение технико-экономической и экологической эффективности предприятий. Энергетический сектор является главным объектом национальных и международных норм экологического регулирования. Ключевые преимущества использования биотоплива – утилизация собственных отходов производства с целью комбинированной выработки тепловой и электрической энергии при высоких экологических показателях данного технологического процесса.

Термогравиметрический анализ является методом изучения пиролиза, который позволяет получить достаточно точные данные, при заданных параметрах кинетического режима [5].

Исследуемые образцы древесных отходов, поступающих на ТЭС-1 АО «АЦБК» с древесно-биржевого производства, предварительно подверглись размолу в молотковой мельнице «Борей» и просеяны на аналитическом ситовом анализаторе Retzsch AS 200 Control.

Для выполнения исследования на совмещенном термоанализаторе Discovery SDT 650, показанном на рисунке 1, использовалась фракция с частицами размером от 125 до 500 мкм. Теплотворная способность исследуемых образцов была определена с помощью калориметра IKA C 2000 Basic Version 2 с жидкостным криотермостатом LOIP FT-216-25. Теплотехнические характеристики кородревесного топлива на аналитическую массу имели следующие значения: влажность  $I^a = 5,06\%$ ; зольность  $A^a = 1,72\%$ ;  $H^a = 6,07\%$ ; низшая теплота сгорания  $Q^a = 18,074$  МДж/кг и выход летучих веществ на горючую массу  $V^{daf} = 80,81\%$ .



Рисунок 1 – Совмещенный термоанализатор – Discovery SDT 650

Термический анализ пробы кородревесного топлива проводился в азотсодержащей среде с расходом газа 50 мл/мин на термоанализаторе Discovery SDT 650. Образцы нагревались со скоростью 10 °С/мин до 700 °С/мин. В результате были получены термограммы, одна из них показана на рисунке 2.

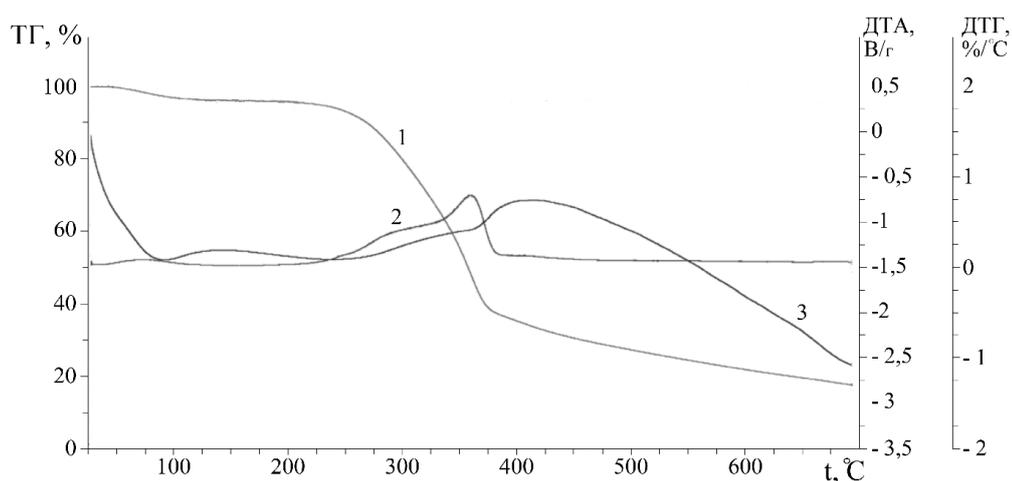


Рисунок 2 – Термограммы процесса термического разложения кородревесного топлива при скорости нагрева 10 °С/мин: 1 – ТГ; 2 – ДТГ; 3 – ДТА

Для анализа процессов сушки и термического разложения использовались кривые изменения массы (ТГ), скорости изменения массы (ДТГ); а также тепловые эффекты (ДТА), происходящие в исследуемых образцах. Некоторые результаты

термогравиметрических анализов кородревесного топлива представлены в таблице 1, а результаты теплотехнических анализов – в таблице 2.

Таблица 1 – Некоторые результаты термогравиметрического анализа КДТ

Образец	Температурные диапазоны при нагреве в инертной среде, °С	
	Сушка	Выход летучих
Кородревесное топливо	30–107	208–262*–700 (359)*

\* Температура начала интенсивного выхода летучих веществ; \*температура при максимальной скорости выхода летучих веществ.

Результаты теплотехнических анализов образцов кородревесного топлива представлены в таблице 2. Содержание водорода, азота и серы определялось с помощью анализатора EuroVector EA-3000, а кислород рассчитывался исходя из массового баланса.

Таблица 2 – Результаты теплотехнического анализа образцов кородревесного топлива

Величина и ее размерность	Рабочая масса	Сухая масса	Горючая масса
Влажность, %	46,08	41,03*	–
Зольность, %	0,98	1,81	–
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	9,180		19,525
Высшая теплота сгорания, МДж/кг			21,000
Сера, %	0	0	
Водород, %	3,45	6,39	6,51
Выход летучих веществ, %	42,79	79,35	80,81
Коксовый остаток	Порошкообразный		
Эквивалент	0,313		

Обработка полученных результатов, позволила сделать следующие заключения:

– процесс сушки для смеси древесных отходов протекает аналогично, как и для других исследованных видов биотоплива [6];

– температуры начала интенсивного выхода летучих веществ и максимальной скорости их выделения имеют значения характерные для топливной смеси, в состав которой входят древесина и кора сосны, ели и лиственных пород;

– процесс термического разложения сильно растянут во времени и продолжается даже после достижения температуры 700 °С, при этом после температуры 378 °С скорость убыли массы значительно снижается и начиная с температуры 383 °С кривая убыли массы имеет характер близкий к линейному, а скорость изменения массы является почти постоянной (рис. 2);

– процесс термического разложения смеси кородревесного топлива в исследуемом диапазоне температур сопровождался эндотермическими процессами.

Авторы выражают благодарность В.Е. Данилову за проведение экспериментов на термоанализаторе – Discovery SDT 650 и ЦКП НО “Арктика” за проведение исследований на анализаторе EuroVector EA-3000.

### **Список использованных источников**

1. Травникова Ю.А. Снижение энергозависимости региона путем эффективной организации производств биотоплива из древесных отходов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-3 (8-3). – С. 413–416.

2. Луговая Д. Принципы устойчивого производства древесного биотоплива // Устойчивое лесопользование. 2013. № 4 (37). – С. 36–42.

3. Савельев М.С. Биотопливо на основе древесных отходов // «Российский внешнеэкономический вестник». 2007. № 12. – С.4–9.

4. Жаров Д.М. Использование древесных отходов для производства твердых видов биотоплива // Современные материалы, техника и технология. Материалы 2-й Международной научно-практической конференции. 2012. – С. 110–113.

5. Марьяндышев П.А., Чернов А.А., Шкаева Н.В., Любов В.К. Исследование древесного биотоплива различных пород методами термического анализа в воздушной и инертной средах // Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену. т.3. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – С. 259–260.

6. Maryandyshv P.A, Chernov A.A, Popova E. I., Lyubov V.K. Thermal Decomposition and Combustion of Coals, Fuel Wood, and Hydrolytic Lignin, as Studied by Thermal Analysis // Solid fuel chemistry, 2016, vol. 50. №3. pp. 167–176.