

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоботов Е.А. Совершенствование, оптимизация и повышение надежности систем отопления промышленного предприятия // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – 2019. – С. 856–860.
2. Артемичева А.Н., Семикова Е.Н. Модернизация системы отопления склада готовой продукции в Нижнем Новгороде. Сравнительный анализ эффективности конвективной и лучистой систем отопления // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 2. – С. 138–138.
3. Трифонов А.П., Тарасова Е.В., Савенков Ф.И. Отопление промышленных помещений. Котельное оборудование и его экологичность // Молодежь и системная модернизация страны. – 2020. – С. 379–382.
4. Voznyak O. et al. Enhancing energetic and economic efficiency of heating coal mines by infrared heaters // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2021. – № 2. – P. 104–109.
5. Dudkiewicz E., Szałański P. Overview of exhaust gas heat recovery technologies for radiant heating systems in large halls // Thermal Science and Engineering Progress. – 2020. – V. 18. – P. 100522.
6. Максимов В.И. и др. Анализ преимуществ систем обеспечения теплового режима локальных рабочих зон на основе газовых инфракрасных излучателей по сравнению с традиционными конвективными системами отопления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 9. – С. 128–141.
7. Борисов Б. и др. Численный анализ влияния конфигурации системы воздухообмена на температурный режим локальных рабочих зон в помещении с газовым инфракрасным излучателем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 3. – С. 7–16.
8. Борисов Б.В. и др. Математическое моделирование теплопереноса в помещении с газовым инфракрасным излучателем, системой воздухообмена и локальным ограждением рабочей зоны // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2023. – Т. 26. – № 1. – С. 20–32.
9. Borisov B.V. et al. Analysis of the influence of the gas infrared heater and equipment element relative positions on industrial premises thermal conditions // Energies. – 2022. – V. 15. – № 22. – P. 8749.
10. Borisov B.V. et al. Comparative analysis of two-dimensional and three-dimensional modeling of heat transfer during operation of a gas infrared heater indoor // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. – 2024. – V. 335. – № 3. – P. 61–69.

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ НА МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ЕГО СУШКИ

А.С. Познахарев

*Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А4-44*

Научный руководитель: С.В. Сыродой, д.т.н., профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

Согласно последним исследованиям в сфере альтернативной энергетики [1], древесная биомасса представляет собой один из наиболее многообещающих и сравнительно недорогих возобновляемых источников энергии, доступных практически в каждом уголке мира. Стоит обратить внимание на результаты экспериментальных исследований по итогам, которых [2] установлено, что в результате горения древесной биомассы практически не образуется оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и серы ( $\text{SO}_x$ ).

Исследования показывают, что котельные установки, работающие на древесине, демонстрируют более низкую энергоэффективность по сравнению с угольными котлами [4]. Для повышения эффективности использования биомассы в энергетике необходимо разработать инновационные технологии подготовки и сжигания древесной биомассы, а также рассмотреть возможность ее пиролиза для получения ценных продуктов [5].

Цель данной работы – установление по результатам экспериментов степени влияния толщины слоя древесной биомассы на характеристики протекания процессов сушки.

Экспериментальные исследования проводились на стенде, схема которого представлена на рис. 1. В состав стенда входит сушильная камера СНОЛ-3.5-М2У42, обеспечивающая нагрев образцов до температуры  $T_{\text{max}} = 423 \text{ K}$  со скоростью  $10 \text{ K/s}$ .

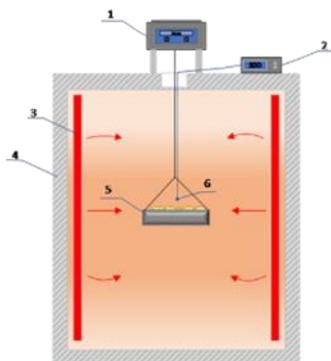


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

- 1 – лабораторные весы ACZET (CITIZEN) CY-1003;  
2 – терморегулятор ТРМ 500; 3 – электрический нагреватель;  
4 – сушильная камера СНОЛ-3.5-М2У42;  
5 – поддон с древесной биомассой, высота которого варьировалась в процессе эксперимента;  
6 – термоэлектрический преобразователь

Для измерения температуры использовалась хромель-алюмелевая термопара (ТХА) с погрешностью  $T_g = \pm 0,1$  °С. Также в работе применялись высокоточные лабораторные весы ACZET (CITIZEN) CY-1003 с пределом допускаемой погрешности 0,001 г.

Древесная биомасса крепилась к электронным весам посредством специального соединения (рис. 1). Контейнер с древесными опилками располагался в центральной части сушильной камеры. Для регистрации температуры в центре контейнера была установлена хромель-алюмелевая термопара с диаметром проволоки 0,1 мм и диаметром спая 0,25 мм. Время задержки измерений составляло  $\tau_{del} = 0,3$  с, а погрешность измерения температуры – 1,5 К.

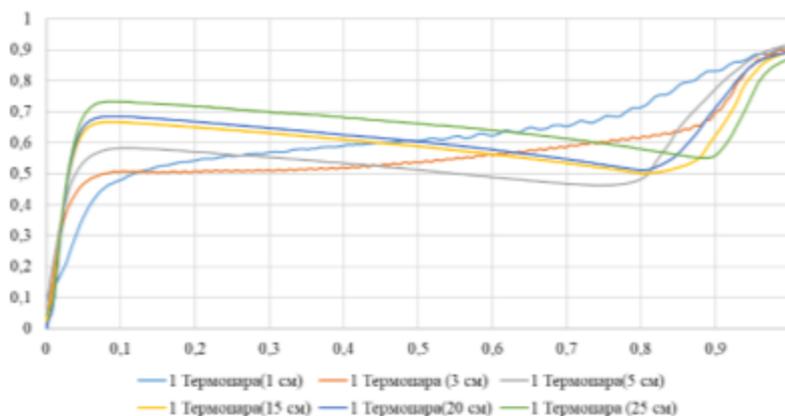


Рис. 2. Зависимость температуры в середине толщины древесной биомассы от времени при разных толщинах слоя древесной биомассы в безразмерном виде при температурном режиме 373 К

По рис. 2 можно сказать, что увеличение толщины диспергированной древесины приводит к деформации температурного поля и соответственно к изменению механизма тепло- и массопереноса внутри этого слоя.

*Исследование выполнено за счет грантов РНФ (проект № 23-79-10092).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chitawo M.L., Chimphango A.F.A., Peterson S. Modelling sustainability of primary forest residues-based bioenergy system, Stellenbosch, South Africa // Biomass and Bioenergy. – 2018. – V. 108. – P. 90–100.
2. Fogarasi S., Cormos C.–C. Technico-economic assessment of coal and sawdust co – firing power generation with CO<sub>2</sub> capture, Napoca, Romania // Journal of Cleaner Production. – 2015. – V. 103. – P. 140–148.
3. Mirkowski Z., Jelonek I. Petrographic composition of coals and products of coal combustion from the selected combined heat and power plants (CHP) and heating plants in Upper Silesia, Poland // International Journal of Coal Geology – 2019 – V. 201. – P. 102–108.
4. Saidur R., Abdelaziz E.A., Demirbas A., Hossain M.S., Mekhilef S. A review on biomass as a fuel for boilers, Kuala Lumpur, Malaysia // Renewable and Sustainable Energy Reviews – 2011. – V. 15. – P. 2262–2289.
5. Jie L., Guancun S., Yifei S. Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass: Critical role of zeolite catalysts, Beijing, China // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – V. 139. – P. 110707.