

Научная статья
УДК 66-963-2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСНОЙ МУКИ
МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ**

**Ксения Геннадьевна Аникеева¹, Руслан Рушанович Сафин²,
Петр Александрович Кайнов³**

^{1, 2, 3} Казанский национальный исследовательский технологический
университет, Казань, Россия

¹ doomksen@mail.ru

² cfaby@mail.ru

³ KaynovPeA@corp.knrtu.ru

Аннотация. В данной работе с помощью метода инфракрасной спектроскопии были проанализированы образцы необработанной и термически модифицированной древесной муки.

Ключевые слова: древесная мука, термическая модификация, инфракрасная спектроскопия

Для цитирования: Аникеева К. Г., Сафин Р. Р., Кайнов П. А. Исследование физико-химических свойств термически модифицированной древесной муки методом ИК-спектроскопии // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 866–870.

Original article

**INVESTIGATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
OF THERMALLY MODIFIED WOOD FLOUR BY INFRARED
SPECTROSCOPY**

Ksenia G. Anikeeva¹, Ruslan R. Safin², Peter A. Kainov³

^{1, 2, 3} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹ doomksen@mail.ru

² cfaby@mail.ru

³ KaynovPeA@corp.knrtu.ru

Abstract. In this work, samples of raw and thermally modified wood flour were analyzed using infrared spectroscopy.

Keywords: wood flour, thermal modification, infrared spectroscopy

For citation: Anikeeva K. G., Safin R. R., Kainov P. A. (2025) Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoistv termicheski modifitsirovannoi drevesnoi muki metodom ik-spektroskopii [Investigation of the physico-chemical properties of thermally modified wood flour by infrared spectroscopy]. Nauchnoe tvorчество molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 866–870. (In Russ).

Термическая модификация древесного наполнителя оказывает значительное влияние на химический состав древесины [1]. Сосновая мука является ценным материалом с широким спектром применения, она используется в различных отраслях, таких как строительство, переработка древесины и создание новых биоматериалов. Одним из направлений повышения ее функциональных характеристик является проведение термической модификации, которая способствует изменению химического состава и структуры материала [2, 3]. ИК-спектроскопия, как метод анализа, позволяет детально исследовать изменения в функциональных группах и взаимодействиях в молекулах, что важно для понимания процессов, происходящих в древесине при термическом воздействии на нее.

Целью исследования является проведения сравнительного анализа ИК-спектров необработанной и термически модифицированной сосновой муки для выявления изменений в ее химическом составе. Обсуждаются механизмы, приводящие к изменению физических и химических свойств муки, а также практическое значение полученных результатов для дальнейшего использования модифицированных материалов в различных областях. В результате проведенного исследования обоснованы преимущества проведения термической обработки древесного наполнителя перед введением его в состав древесно-полимерного композита.

На рис. 1 представлен инфракрасный (ИК) спектр пропускания, записанный в виде графика. На оси абсцисс отражены волновые числа в см^{-1} , которые обратно пропорциональны длине волны излучения и представляют собой частоту вибраций молекулярных связей. Ось ординат показывает процентное пропускание (обозначено как %T), а именно, какая доля излучения проходит через образец.

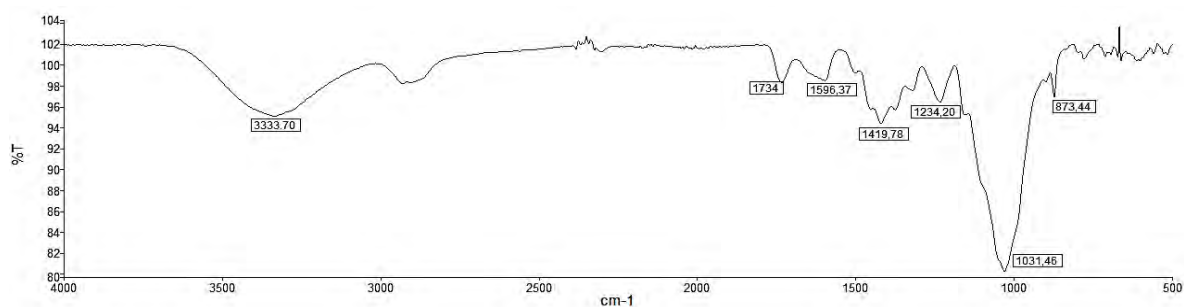


Рис. 1. ИК-спектры пропускания контрольного образца сосновой муки

На графике (см. рис. 1) видны различные пики поглощения, которые характерны для определенных химических групп в анализируемом образце. Некоторые из этих пиков имеют отметки с указанием волнового числа и интенсивности поглощения: широкий пик около 3330 см^{-1} – соответствует растягивающим вибрациям О–Н связей, что присуще соединениям, содержащим гидроксильные группы, например, воде, спиртах и фенолах. В контексте сосновой муки целлюлоза и лигнин могут содержать такие группы.

Пик в районе 1736 см^{-1} связан с растягивающими вибрациями карбонильных групп С=О или их производных, например, в карбонильных группах кислот, альдегидов, кетонов или эстеров.

Пики в районе $1600\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ могут быть связаны с растягивающими вибрациями ароматических кольцевых структур, присущих лигнину и другим ароматическим соединениям.

Явный пик в районе 1050 см^{-1} связан с деформационными вибрациями одиночных связей С–О или С–О–Н связей, характерных для целлюлозы и гемицеллюлозы.

На рис. 2 представлен ИК-спектр пропускания образца термически модифицированной сосновой муки.

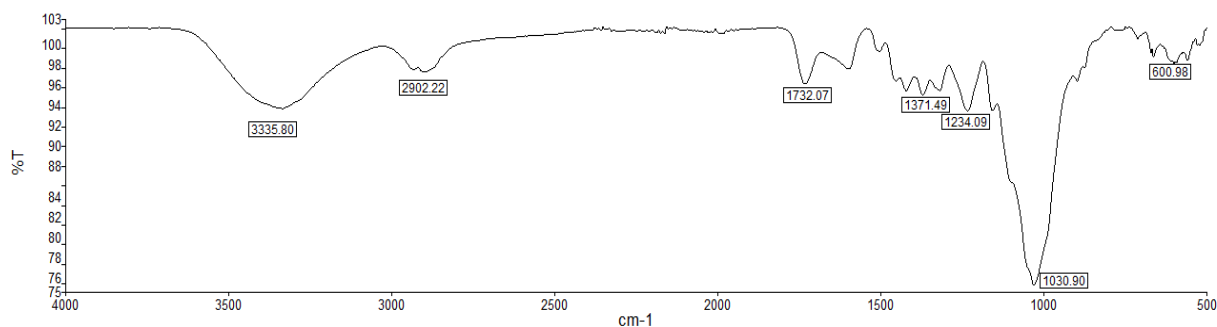


Рис. 2. ИК-спектры пропускания образца термически модифицированной сосновой муки

Широкий пик в области около 3300 см^{-1} указывает на наличие О–Н связей, присущих соединениям с гидроксильными группами, пик в районе 2920

и 2850 см^{-1} может быть связан с С–Н вибрациями. Полоса поглощения около 1735 см^{-1} чаще всего соответствует С=О группе, возможно присутствие ацетильных или других карбонильных групп. Пики около 1371 и 1234 см^{-1} также указывают на наличие различных функциональных групп, таких как фенолы, эфиры или спирты. В таблице представлены данные о пропускной способности всех образцов.

Пропускная способность образцов древесной муки

№ п/п	Контрольный образец	Термически модифицированный образец
1	3333,70	3335,80
2	1734,05	1732,07
3	1596,37	сл.
4	1419,78	сл.
5	сл.	1371,49
6	1234,26	1231,93
7	1031,46	1030,90
8	873,44	сл.
9	сл.	600,98

Примечание. сл. – интенсивность полосы слабая/размытая.

Анализируя данные из таблицы, можно сделать следующие выводы.

Значения волновых чисел для полос пропускания контрольного образца свидетельствуют о характерном состоянии древесной муки без обработки. Пики в области $3333,70\text{ см}^{-1}$ и $1234,26\text{ см}^{-1}$ относятся к вибрациям О–Н и С–О связей, соответственно, что характерно для целлюлозы и лигнина в древесной муке.

У термически обработанного образца наблюдаются некоторые изменения в интенсивности и положении полос пропускания, что указывает на химические изменения в структуре полимеров после воздействия высокой температуры. Полосы в области $1732,07\text{ см}^{-1}$ могут быть связаны со снижением содержания влаги и с изменением в карбонильных группах.

Во время термической обработки при высоких температурах происходят изменения в химической структуре целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Эти изменения могут включать удаление связанной воды, разрыв водородных связей между полимерными цепями и деполимеризацию гемицеллюлозы. Термическая модификация может также привести к частичному разложению лигнина и изменению его химического состава, уменьшая количество функциональных групп, способных вступать в водородные связи. Помимо этого, в ходе воздействия температуры снижается количество экстрактивных веществ, таких как смолы, жиры, воски и терпеноиды.

В ходе проведенного исследования была осуществлена оценка изменений в химическом составе необработанной и термически модифицированной сосновой муки с использованием метода ИК-спектроскопии. Анализ полученных спектров показал значительные трансформации, происходящие в результате воздействия температуры на материал.

В частности, были выявлены изменения в содержании гидроксильных групп, что свидетельствует о деградации целлюлозы и лигнина. Уменьшение содержания влаги и изменение структуры указывают на физико-химическую модификацию материала, которая обуславливает его улучшенные механические и термостойкие свойства. Это превращение может привести к повышению стабильности и долговечности сосновой муки, а также расширению ее функциональных возможностей.

Результаты исследования открывают новые перспективы применения термически модифицированной сосновой муки в таких отраслях, как строительство и производство биоразлагаемых материалов [4]. Учитывая потенциальные преимущества, связанные с изменением химического состава, термически модифицированная мука представляет интерес как экологически чистый и высокофункциональный материал, что подтверждает необходимость дальнейших исследований в данной области.

Список источников

1. Исследование изменения химического состава древесины, подвергнутой термомодификации, с помощью ИК-спектрометра / Е. Ю. Разумов, Р. Р. Хасаншин, Р. Р. Сафин, П. А. Кайнов // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 10. С. 100–103.
2. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов, созданных на основе термически модифицированной древесины / Р. Р. Хасаншин, Р. Р. Сафин, Ф. Г. Валиев, Р. В. Данилова // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 7. С. 64–66.
3. Сафин Р. Р., Белякова Е. А., Разумов Е. Ю. Разработка новой технологии получения термодревесины // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 1. С. 157–162.
4. Использование термической обработки древесного наполнителя в производстве древесно-стружечных плит / А. Л. Тимербаева, Р. Р. Сафин, Р. Т. Хасаншина, Р. Р. Зиятдинов // Деревообрабатывающая промышленность. 2017. № 2. С. 54–60.