

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.1>

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-КОМПОЗИЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ОТ ПЛОТНОСТИ

Научная статья

Опара М.В.^{1,*}, Лавлинская О.В.², Черных А.С.³³ ORCID : 0000-0002-1601-420X;^{1, 2, 3} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (filichkinam[at]yandex.ru)

Аннотация

Статья посвящена проблеме утилизации древесных отходов Лесопромышленного комплекса РФ. Предложена технология получения строительного материала на основе древесных мелкодисперсных отходов с использованием цементного связующего. Производство древесно-композитных материалов позволяет решить экологические задачи, сокращая объемы утилизации отходов и образования выбросов CO² при их сжигании. В работе приведены методики изготовления и испытания образцов с различными составами строительной смеси. Установлена зависимость теплопроводности полученных образцов от плотности. Результаты исследований подтверждают целесообразность производства материалов на основе древесных опилок и их использования в строительстве в качестве конструкционных или теплоизоляционных.

Ключевые слова: древесные отходы, теплопроводность, плотность, химические добавки, композиционный материал, цементное связующее.

ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF WOOD-COMPOSITE BUILDING MATERIALS ON DENSITY

Research article

Opара M.V.^{1,*}, Lavlinskaya O.V.², Chernykh A.S.³³ ORCID : 0000-0002-1601-420X;^{1, 2, 3} Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russian Federation

* Corresponding author (filichkinam[at]yandex.ru)

Abstract

The article is devoted to the problem of wood waste disposal in the Timber Processing Complex of the Russian Federation. A technology for producing building materials based on finely divided wood waste using cement binder is suggested. The production of wood-composite materials allows to solve environmental problems by reducing the volume of waste disposal and CO² emissions during incineration. The paper describes methods for manufacturing and testing samples with different compositions of the building mixture. The dependence of the thermal conductivity of the obtained samples on density has been established. The research results confirm the feasibility of producing materials based on wood sawdust and their use in construction as structural or thermal insulation ones.

Keywords: wood waste, thermal conductivity, density, chemical additives, composite material, cement binder.

Введение

В настоящее время вопросы рационального использования древесины в Лесопромышленном комплексе являются наиболее актуальными. На территории РФ произрастает около 50% всех мировых запасов леса. Как известно, в процессе лесозаготовки и переработки древесины образуется значительное количество отходов, часть которых не используется как вторичное сырье, а сжигается или вывозится в отвалы.

Следует отметить, что в деревообрабатывающей промышленности, где задействован широкий спектр технологического оборудования, включающего раскряжевочные установки, лесопильные рамы, ленточнопильные, круглопильные станки и др., при производстве основной продукции образуется 38–40% древесных отходов, на долю опилок приходится 12%. В 2024 году объемы лесозаготовки в России достигли более 148 млн.м³. Из них на производство пиломатериалов пришлось 23,9 млн.м³, таким образом, количество мелкодисперсных отходов составило более 2,86 млн.м³ [1].

Современная практика утилизации данного вида отходов, заключающаяся преимущественно в их термической деструкции или складировании в отвалах, представляется экологически и экономически не целесообразной. Подобные методы приводят к негативному антропогенному воздействию на окружающую среду. Транспортировка данного вида отходов, характеризующихся высокой насыпной плотностью, сопряжена со значительными материальными затратами для предприятий.

С точки зрения рационализации лесопользования и необходимости устойчивого управления лесными ресурсами, разработка комплексных систем безотходной переработки древесного сырья приобретает особую актуальность. Реализация таких технологических решений позволит не только минимизировать экологический ущерб от деятельности деревообрабатывающих предприятий, но и повысить их экономическую эффективность за счет вовлечения вторичных ресурсов в производственный цикл.

Композиционные материалы на основе древесных отходов находят широкое применение в строительной отрасли, включая возведение несущих конструкций и межкомнатных перегородок, в малоэтажном домостроении и т.д. Знаменитые ученые (И.Х. Назанашвили, П.Н. Ершов, и др.) [9], [10] внесли особый вклад в вопросы рационального использования древесных отходов в получении композиционных материалов различного назначения. Известен мировой опыт применения композиционных материалов на основе древесных отходов в строительстве, таких как дюрисол, вудстоун, арболит, королит и др. Что касается национальной практики, то в СССР действовали более сотни участков по производству блоков из арболита. Для его производства используют крупные фракции древесных отходов, такие как технологическая щепка. В цементно-стружечных плитах применяют древесную стружку, полученную на специализированном технологическом оборудовании. Таким образом, для производства наиболее распространенных композиционных материалов требуется дополнительное оборудование для измельчения древесины. Опилкобетоны, производимые на основе древесных опилок в своем составе содержат песок, который необходимо дополнительно транспортировать на предприятия, что экономически не выгодно [2], [4], [5].

Поэтому целью нашей работы является получение древесно-композиционных материалов на основе мелкодисперсных отходов древесины без применения специального оборудования для их доизмельчения и исследование их теплофизических свойств.

Методы и принципы исследования

В нашем исследовании были разработаны составы строительных смесей с возможностью их использования в производстве строительных блоков.

Образцы для определения теплофизических свойств были изготовлены в виде кубов с размерами ребра 100 мм. Состав смесей включал: портландцемент марки М400 в качестве основного связующего компонента (насыпная плотность 1160 кг/м³), древесные опилки хвойных пород, размером 2–5 мм (насыпная плотность 118 кг/м³) и химические добавки для улучшения свойств получаемых материалов.

Опилки предварительно высушивались до влажности 25%. Химические добавки, такие как жидкое стекло и сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ разводили в воде до полного растворения. В емкость для замеса раствора, укладывалось необходимое количество древесного наполнителя. Далее в нее заливалась вода с растворенными добавками. Опилки в растворе вымачивались в течение одних суток. Через 24 часа добавляли цемент и тщательно перемешивали раствор до однородного состояния. После этого опалубка для изготовления образцом заполнялась смесью на 1/3 и трамбовалась стальной болванкой с высоты 100 мм. Затем укладывался второй слой раствора и трамбовался и т.д. до полного заполнения формы. Распалубка образцов производилась через 24 ч. Образцы укладывали на прокладки и высушивались до постоянной влажности при температуре 20-23°C. При проведении эксперимента было изготовлено 3 серии образцов (по 5 шт. каждого вида) с составами смесей, приведенных в таблице 1. На 28-е сутки определяли плотность и теплопроводность полученных образцов в соответствии с ГОСТ 17177-94.

Таблица 1 - Состав смеси для образцов древесно-композиционного материала

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.1.1>

Серия	Опилки, кг	Цемент, кг	Вода, кг	Сернокислый алюминий, кг	Жидкое стекло, кг
1	0,393	1,771	1,848	0,012	0,177
2	0,393	1,997	2,077	0,012	0,198
3	0,393	2,186	2,305	0,012	0,219



Рисунок 1 - Образцы строительного материала на основе древесных отходов
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.1.2>

Методика определения теплопроводности заключалась в создании теплового потока, направленного перпендикулярно к наибольшим граням плоского образца определенной толщины, измерении плотности стационарного теплового потока и температур на противоположных гранях образца. Нами применялись следующие средства испытаний: установка ИТСМ-1, электрошкаф, штангенциркуль, линейка, весы лабораторные технические, машина шлифовальная. Температура помещения, в котором проводились испытания, составляла 25°C. Теплопроводность определялась на образцах, высушенных до постоянной массы при температуре 105°C. Образцы считались высушенными до постоянной массы, если потеря их массы после повторного высушивания в течение 0,5 ч не превышала 0,1% [3], [8].

Образцы, имеющие разнотолщинность и отклонение от плоскостности более 0,5 мм, шлифовали, а затем высушивали. Толщину образца измеряли штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм в четырех углах на расстоянии (50±5) мм от вершины угла и посередине каждой стороны. За толщину образца принималось среднее арифметическое значение результатов всех измерений.

Перед началом испытаний образцы взвешивались. Образец устанавливался между теплообменниками. Устанавливались заданные значения температуры теплообменников. Перепад температуры на поверхностях высушенного образца должен быть 10–30°C при средней температуре испытания образца от - 40°C до + 40°C. После установления стационарного теплового состояния образца в течение 30 мин последовательно проводили десять измерений термо-ЭДС преобразователей теплового потока и температуры. Тепловое состояние образца считалось стационарным, если три последовательных измерения термо-ЭДС от преобразователей теплового потока, производимые через каждые 10 мин имели отклонения не более 5% их среднего значения. После окончания измерений образцы взвешивались.

Основные результаты

В результате проведенного исследования были определены плотность и коэффициенты теплопроводности трех серий образцов древесно-композиционных материалов с различными составами строительных смесей. Полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Тепло-физические свойства древесно-композиционного материала

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.1.3>

Серия	№ образца	Объем, м ³	Масса, кг	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м*°C
1	1	0,0009506	0,771	811	0,153
	2	0,0009603	0,784	816	0,159
	3	0,0009604	0,784	816	0,161
	4	0,0009606	0,786	818	0,162
	5	0,001000	0,820	820	0,163
2	1	0,0009488	0,793	836	0,168
	2	0,0009488	0,795	838	0,168
	3	0,0009504	0,804	846	0,17

Серия	№ образца	Объем, м ³	Масса, кг	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м*°С
	4	0,0009506	0,804	846	0,17
	5	0,0009604	0,816	850	0,172
3	1	0,0009488	0,888	936	0,183
	2	0,0009502	0,901	948	0,188
	3	0,0009506	0,903	950	0,19
	4	0,0009608	0,915	952	0,193
	5	0,0009608	0,915	952	0,192

Анализируя данные таблицы 2 можно сделать выводы, что для древесно-композиционных материалов на основе древесных опилок с увеличением плотности увеличивается теплопроводность.

На основании полученных данных был построен график зависимости среднего коэффициента теплопроводности от их плотности для каждой серии образцов, приведенный на рисунке 2.

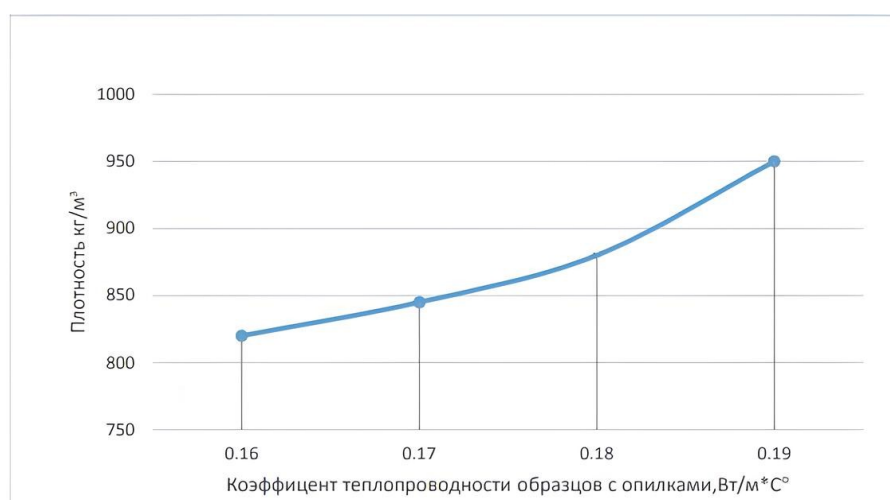


Рисунок 2 - График зависимости коэффициента теплопроводности древесно-композиционного материала от плотности

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.66.1.4>

График зависимости показывает, что у образцов 3 серии со средней плотностью 948 кг/м³ наибольший коэффициент теплопроводности составил 0,19 Вт/м*°С.

Заклучение

Полученные древесно-композиционные материалы на основе древесных опилок серий 1 и 2 имеют коэффициенты теплопроводности 0,16-0,17 Вт/м*°С, что позволяет отнести их к теплоизоляционным строительным материалам. Чем ниже показатель теплопроводности, тем лучше материал удерживает тепло. Таким образом, составы смесей этих серий могут быть рекомендованы для производства стеновых материалов используемых без дополнительного утепления.

Состав смеси для образцов серии 3 позволяет получить строительный материал с коэффициентом теплопроводности 0,19 Вт/м*°С, который может быть рекомендован к использованию в качестве конструкционного.

В настоящее время вопросы утилизации и переработки древесных отходов являются актуальными. Предложенный вариант применения древесных отходов позволит решить проблему сохранения окружающей среды, минимизировать количество выбросов CO₂ образующихся при сжигании древесных отходов, эффективно использовать природные ресурсы.

В результате работы мы получили образцы древесно-композиционных материалов на основе мелкодисперсных отходов древесины трех серий, отличающихся различным составом и провели исследования их теплофизических свойств. Результаты проведенных исследований показали, что данные материалы можно использовать в строительстве в качестве теплоизоляционного или конструкционного материала. В дальнейших исследованиях планируем продолжить работу в данном направлении и изучить физико-механические свойства (прочность, водопоглощение, морозостойкость и др.).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Туровский Р. Бюллетень EastRussia: отраслевой обзор лесной промышленности — зима 2025 / Р. Туровский // EastRussia. — URL: www.eastrussia.ru/material/byulleten-eastrussia-otraslevoy-obzor-lesnoy-promyshlennosti-zima-2025/ (дата обращения: 04.08.2025).
2. Филичкина М.В. Отходы древесно-подготовительного цикла производства газетной бумаги, как сырье для изготовления древесно-композиционных материалов / М.В. Филичкина // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии. — Петрозаводск : Петропресс, 2015. — С. 66–81.
3. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. — Введ. 2025-10-27. — Москва : Госстрой России, 2002. — 27 с.
4. Opara M.V. Formation of Mechanisms for Creating Innovative National Polygons Formation of Mechanisms for Creating Innovative National Polygons / M.V. Opara, N.A. Azarova, L.A. Tretyakova // The Russian Presidential Academy Of National Economy And Public Administration. — 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/808/1/012066
5. Пошарников Ф.В. Анализ структуры смеси для опилкобетона на основании многофакторного планирования эксперимента / Ф.В. Пошарников, М.В. Филичкина // Лесной Вестник. — 2010. — № 1(70). — С. 111–115.
6. Poskrobko S. Thermogravimetric Research of Dry Decomposition Thermogravimetric Research of Dry Decomposition / S. Poskrobko, D. Krol // J. Therm. Anal. Calorim. — 2012. — P. 629–638.
7. Kymalainen H.R. Thermal insulation properties of wood-based particleboards. / H.R. Kymalainen // Building and Environment. — 2022. — № 207.
8. ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. — Введ. 2025-10-27. — Москва : ИПК Издательство стандартов, 2002. — 35 с.
9. Ершов П.Н. Фибролитовые плиты на портландцементе в стандартном домостроении / П.Н. Ершов. — Москва : Гослесбумиздат, 1985. — 8 с.
10. Наназашвили И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции / И.Х. Наназашвили. — Москва : Высшая школа, 1990. — 495 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Turovsky R. Bjuulleten' EastRussia: otraslevoy obzor lesnoj promyshlennosti — zima 2025 [Bulletin of EastRussia: an industry overview of the forest industry — winter 2025] / R. Turovsky // EastRussia. — URL: www.eastrussia.ru/material/byulleten-eastrussia-otraslevoy-obzor-lesnoy-promyshlennosti-zima-2025/ (accessed: 04.08.2025).
2. Filichkina M.V. Otkhodi drevesno-podgotovitel'nogo tsikla proizvodstva gazetnoi bumagi, kak sire dlya izgotovleniya drevesno-kompozitsionnikh materialov [Waste from the wood preparation cycle of newspaper paper production as a raw material for the production of wood composite materials] / M.V. Filichkina // Derevjannoe malojetazhnoe domostroenie: jekonomika, arhitektura i resursosberegajushhie tehnologii [Wooden low-rise house construction: economics, architecture, and resource-saving technologies]. — Petrozavodsk : Petropress, 2015. — P. 66–81. [in Russian]
3. GOST 7076-99. Materiali i izdeliya stroitelnie. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime [Building materials, products and constructiongost 7076-99. Building materials and products. Method of determination thermal conductivity and thermal resistance at steady state thermal mode]. — Introd. 2025-10-27. — Moscow : Gosstroj Rossii, 2002. — 27 p. [in Russian]
4. Opara M.V. Formation of Mechanisms for Creating Innovative National Polygons Formation of Mechanisms for Creating Innovative National Polygons / M.V. Opara, N.A. Azarova, L.A. Tretyakova // The Russian Presidential Academy Of National Economy And Public Administration. — 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/808/1/012066
5. Posharnikov F.V. Analiz strukturi smesi dlya opilkobetona na osnovanii mnogofaktornogo planirovaniya eksperimenta [Analysis of the mixture structure for sawdust concrete based on multifactorial experimental planning] / F.V. Posharnikov, M.V. Filichkina // Lesnoi Vestnik [Forestry Bulletin]. — 2010. — № 1(70). — P. 111–115. [in Russian]
6. Poskrobko S. Thermogravimetric Research of Dry Decomposition Thermogravimetric Research of Dry Decomposition / S. Poskrobko, D. Krol // J. Therm. Anal. Calorim. — 2012. — P. 629–638.
7. Kymalainen H.R. Thermal insulation properties of wood-based particleboards. / H.R. Kymalainen // Building and Environment. — 2022. — № 207.
8. GOST 17177-94 Materiali i izdeliya stroitelnie teploizolyatsionnie. Metodi ispitaniy [GOST 17177-94 Thermal insulation materials and products. Test methods]. — Introd. 2025-10-27. — Moscow : IPK Izdatelstvo standartov, 2002. — 35 p. [in Russian]
9. Yershov P.N. Fibrolitovie pliti na portlandtsemente v standartnom domostroenii [Fiberboard panels based on Portland cement in standard housing construction] / P.N. Yershov. — Moscow : Goslesbumizdat, 1985. — 8 p. [in Russian]
10. Nanazashvili I.Kh. Stroitelnie materialy, izdeliya i konstruksii [Building materials, products and structures] / I.Kh. Nanazashvili. — Moscow : Visshaya shkola, 1990. — 495 p. [in Russian]