Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 162–172.
Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 162–172.

Научная статья
УДК 666.973.2
DOI: 10.51318/FRET.2026.97.2.017

ОПИЛКОБЕТОН ИЗ КАВИТИРОВАННОГО ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Сергей Николаевич Долматов[1], Николай Витальевич Смертин[2]

[1, 2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
[1] pipinaskus@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9297-3699
[2] kolya.smertin@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-1566-669X

Аннотация. Обязательное вовлечение в переработку вторичных древесных ресурсов – современная тенденция, имеющая не только декларативный характер, но и подкрепленная принятыми федеральными законами. Помимо задачи снижения негативного экологического влияния, такая переработка позволяет повысить полезный выход готовой продукции, увеличить рентабельность лесопромышленного производства. Строительные материалы в виде древесно-минеральных композитов, изготовленных из вторичных древесных ресурсов, позволяют не только утилизировать опилки или щепу, но и получить доступный высокоэффективный конструкционно-теплоизоляционный материал. Для повышения теплоизоляционных показателей такой материал должен иметь низкую плотность, что чаще всего снижает прочностные показатели. Кавитационная обработка древесного сырья позволяет увеличить площадь активного контактного взаимодействия древесины и вяжущего материала, существенно повышает прочность композита. В работе исследованы физико-механические свойства (плотность, прочность, теплопроводность, морозостойкость) древесно-минерального композита, изготовленного на основе кавитированных древесных опилок и портландцемента. Такая подготовка древесного сырья позволяет увеличить прочность опилкобетона. Прочность опилкобетона при доле цемента в 50 и 67 % превысила конкурирующую величину для арболита в 5,4 и в 8 раз при лучших показателях теплопроводности – 0,161 Вт/(м^{2}·°С) и 0,18 Вт/(м^{2}·°С). Кавитационная обработка древесного сырья исключает влияние «цементных ядов» – водорастворимых веществ, содержащихся в клетках древесины. Морозостойкость полученного материала (при проверке по ГОСТ 31359–2007) соответствует показателю F35, что позволяет использовать его в качестве стенового материала даже без мер вторичной защиты в виде облицовочных или защитных слоев.

Ключевые слова: вторичные древесные ресурсы, кавитация, опилкобетон, плотность, прочность, теплопроводность, морозостойкость

Для цитирования: Долматов С. Н., Смертин Н. В. Опилкобетон из кавитированного древесного сырья // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 162–172.

© Долматов С. Н., Смертин Н. В., 2026

Original article

SAWDUST CONCRETE FROM CAVITATED WOOD RAW MATERIALS

Sergey N. Dolmatov[1], Nikolay V. Smertin[2]

[1, 2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

[1] pipinaskus@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9297-3699

[2] kolya.smertin@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-1566-669X

Abstract. Mandatory recycling of recycled wood resources is a modern trend, not only declarative but also supported by federal laws. In addition to reducing negative environmental impacts, such recycling increases the yield of finished products and improves the profitability of forestry production. Building materials in the form of wood-mineral composites made from recycled wood resources not only allow for the recycling of sawdust or chips but also provide an affordable, highly effective structural and thermal insulation material. To improve thermal insulation performance, such a material must have a low density, which often reduces its strength. Cavitation treatment of wood raw materials increases the area of active contact between the wood and the binder, significantly increasing the strength of the composite. This research investigated the physical and mechanical properties (density, strength, thermal conductivity, and frost resistance) of a wood-mineral composite made from cavitated sawdust and portland cement. This wood preparation increases the strength of sawdust concrete. The strength of sawdust concrete with a cement content of 50 % and 67 % exceeded the competing value for wood concrete by 5,4 and 8 times, respectively, while boasting better thermal conductivity – 0,161 W/(m^2·°C) and 0,18 W/(m^2·°C). Cavitation treatment of the wood raw materials eliminates the effects of "cement poisons" – water-soluble substances contained in wood cells. The frost resistance of the obtained material (when tested according to GOST 31359–2007) corresponds to the F35 indicator, which allows it to be used as a wall material even without secondary protection measures in the form of facing or protective layers.

Keywords: recycled wood resources, cavitation, sawdust concrete, density, strength, thermal conductivity, frost resistance

For citation: Dolmatov S. N., Smertin N. V. Sawdust concrete from cavitated wood raw materials // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). С. 162–172.

Введение

Современные ученые, занятые проблемами лесного комплекса, уделяют все больше внимания вопросу комплексной переработки древесного сырья, в том числе низкокачественной древесины и древесных отходов с выходом на производство высокодоходной продукции глубоких переделов. Отмечается острая необходимость комплексной переработки древесного сырья как механизма повышения рентабельности производства (Обоснование…, 2020). Комплексная переработка может быть реализована по различным направлениям и технологиям выпуска материалов. Перспективна переработка древесины мягколиственных пород с получением древесных композитов конструкционно-теплоизоляционного назначения (Лукаш и др., 2009). Научно обосновано (Титунин, 2009, Наназашвили, 1990) получение конкурентоспособных строительных материалов из низкосортной древесины и древесных отходов. Также дается методологический подход в области ресурсосбережения, комплексной переработки низкокачественной древесины и древесных отходов.

Основу нормативно-правового обеспечения переработки вторичных древесных ресурсов в России составляют три ключевых элемента: регулирование деятельности в лесах, учет и прослеживаемость древесины, а также законодательство об отходах. Ключевое нововведение современности – это переход от добровольной утилизации к обязательной переработке вторичных древесных ресурсов.

Структура нормативной базы по основным направлениям регулирования лесопользования включает нормативную базу в виде приказов и постановлений, а также действующие стратегии развития. Обращение с древесными отходами и вторичными ресурсами попадает под юрисдикцию статьи 17.1 Федерального закона «Об отходах производства и потребления». Закон в последней редакции вводит определения «вторичные ресурсы» (отходы, пригодные для повторного использования) и «вторичное сырье» (продукция из них). Важнейшее положение закона – это то, что с 2030 г. захоронение вторичных ресурсов, к которым относятся и древесные отходы, будет запрещено. Это делает их переработку обязательной. Закон должен стимулировать создание безотходных производств. Согласно п. 4 ст. 4 (488-ФЗ), требуется обеспечить стимулирование субъектов деятельности в сфере промышленности, рационально и эффективно использовать материальные, финансовые и природные ресурсы (в том числе за счет повышения уровня вовлечения отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья), трудовые ресурсы, обеспечивать повышение производительности труда, внедрение импортозамещающих, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий.

Стратегии развития федерального и регионального уровня декларируют повышенное внимание к технологиям комплексного освоения древесного сырья. Согласно постановлению правительства Красноярского края № 647-п от 30.10.2018 г. «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Красноярского края до 2030 года» (Стратегия социально-экономического развития…, 2026) планируется содействие обеспечению населения доступным и качественным жильем, стимулирование применения в жилищном строительстве новых технологий и материалов, отвечающих требованиям энергосбережения. Для повышения эффективности в лесном секторе необходимо увеличить доходность с кубометра заготовленной древесины за счет внедрения комплексной переработки древесины с вовлечением в производство вторичных древесных ресурсов. Запланировано стимулирование развития внутреннего рынка потребления, в том числе за счет развития домостроения.

Понимание необходимости активного освоения вторичных древесных ресурсов отражено в повестке работы федеральных органов власти. 3 апреля 2025 г. в Совете Федерации РФ прошло заседание «О ходе разработки комплексной программы мероприятий, направленных на создание отрасли утилизации низкотоварной древесины, отходов лесопиления и лесопереработки» (В Совете Федерации обсудили…, 2026). Мероприятие было посвящено разработке комплексной программы по развитию отрасли утилизации низкотоварной древесины и отходов лесопиления. В качестве основных проблем были озвучены вопросы переработки древесных отходов и тонкомерной древесины. Из доклада следует, что «при ежегодном объеме заготовки порядка 200 млн кубических метров древесины объем отходов может достигать 140 млн кубических метров».

Принципиальным отличием нового подхода к переработке вторичных ресурсов является разработка комплексной программы по утилизации низкотоварной древесины и отходов лесопиления с фокусом на создании новой отрасли промышленности, а не на сжигании и захоронении таких ресурсов. На заседании было выделено три ключевых направления переработки, одним из которых стало производство строительных материалов (арболит, ДСП, ЦСП, древесно-полимерные композиты, строительные панели и песчано-опилочный бетон).

Следовательно, необходимы дальнейшие исследования по совершенствованию технологии производства строительных материалов из вторичных древесных ресурсов. Ранее нами были

проведены исследования, доказывающие хорошие перспективны производства опилкобетонов из механоактивированных кавитацией древесных опилок (Долматов, Смертин, 2025). Эта работа является продолжением тематики.

Цель, задачи, методика и объекты исследования

Цель работы – определить плотность, прочность, теплопроводность, морозостойкость опилкобетона, изготовленного из кавитированного древесного сырья.

Цель исследования требует решения следующих задач:

1) оценить воздействие кавитации на опилки;

2) изготовить и испытать образцы опилкобетона.

Методика работы предусматривает анализ нормативных документов, публикаций в области исследования, натурный эксперимент. Объект исследования – опилкобетон, изготовленный из кавитированных древесных опилок. Предмет исследования – физико-механические показатели древесно-минерального композита.

Результаты и их обсуждение

Ряд исследователей в России и за ее пределами выполняли работы в рамках повышения эксплуатационных показателей песчано-цементных блоков и панелей, обоснованно считали рациональную долю замещения песка опилками в размере 20–25 %. Однако для условий Сибири, где температура окружающей среды до –40 °С достаточно частое явление, сложно рекомендовать к применению материал с показателем теплопроводности 0,39–0,55 Вт/(м·°С) и плотностью 1400–1700 кг/м^3. Поэтому интересны материалы, вовсе не содержащие в своем составе минеральные инертные компоненты. При изготовлении арболита прочность материала обеспечивается за счет адгезии древесного наполнителя игольчатой формы. При производстве опилкобетона добавление песка практически обязательно, поскольку сами по себе частицы опилок и минеральное вяжущее не обеспечивают получение материалов достаточной прочности (Справочник, 1987).

Резко увеличить поверхность активного взаимодействия древесных частиц и извлечь водорастворимые компоненты позволяет процесс кавитационной обработки в водной суспензии. Кавитация – это явление образования в жидкостях пустот или пузырей, заполненных газом. Явление кавитации возникает при резком снижении давления в очаге ограниченного объема. Известны гидродинамическая кавитация, характерная для жидких сред, движущихся с большими скоростями, и акустическая кавитация, возникающая при прохождении через среду волн определенной длины. При перемещении в область с более высоким давлением газовый пузырь разрушается с выделением большого объема энергии и генерацией ударной волны. Обычно кавитация вредна, поскольку приводит к разрушению судовых винтов, частей турбин, крыльчаток насосов. Вместе с тем кавитация является мощным средством активации процессов.

Технология кавитационной обработки позволяет получать целлюлозо-лигносодержащие композиты вообще без введения в рецептуру вяжущих веществ (Древесно-композитные плиты…, 2024). Такая обработка, сопровождающаяся самопроизвольным разогреванием смеси, обеспечивает необходимую интенсификацию процессов «расщепления» частиц и быстрый гидролиз гемицеллюлоз, деградацию лигнина с образованием более реакционноспособных соединений, способствующих образованию устойчивой матрицы древесного композита. Установлено (Катраков и др., 2014), что обработка кавитацией растительного сырья сопровождается разрушением полисахаридов. А это очень важно, поскольку полисахариды являются «цементными ядами» и весьма нежелательны в составе древесно-минеральных композитов на портландцементе.

Методика исследования в целом соответствовала работе (Долматов, Смертин, 2025). Кавитационная обработка суспензии из опилок и воды проводилась в лабораторном гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа (рис. 1).

Опилки (сосновые) смешивались с водой до концентрации 6–8 %. Включался привод. Ротор начинал вращаться.

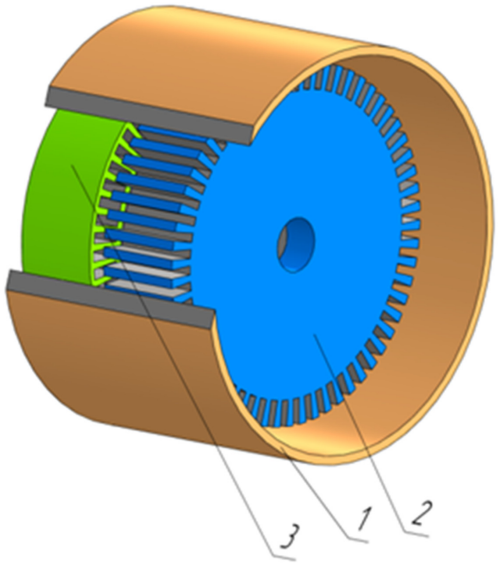


Рис. 1. Схема рабочей камеры гидродинамического диспергатора:
1 – оболочка; *2* – ротор; *3* – статор
Fig. 1. Schematic diagram of the working chamber of a hydrodynamic disperser:
1 – shell; *2* – rotor; *3* – stator

При этом происходило перекрытие полостей образованными резонансными камерами ротора. Формировалось высокочастотное пульсирующее изменение давления в этих полостях. Расчетное число кавитатора – 0,4. Число кавитации 0,36, согласно критериям, обозначает интенсивную кавитацию в гидродинамических системах, находящуюся в диапазоне $0,1 < \sigma < 0,5$; это режим, когда пузырьки кавитации активно образуются, объединяются в каверны. Обработка длилась 10 мин.

Клетки древесины подвергаются гидроудару и в условиях турбулентного потока и явлений кавитации. Увеличенное изображение древесной пульпы до и после кавитации показано на рис. 2.

Исходя из изображения на рис. 2, нужно констатировать резкое увеличение активной поверхности взаимодействия древесных клеток, разрушенных кавитацией. За счет этого увеличивается площадь контактного взаимодействия древесины и цементного камня.

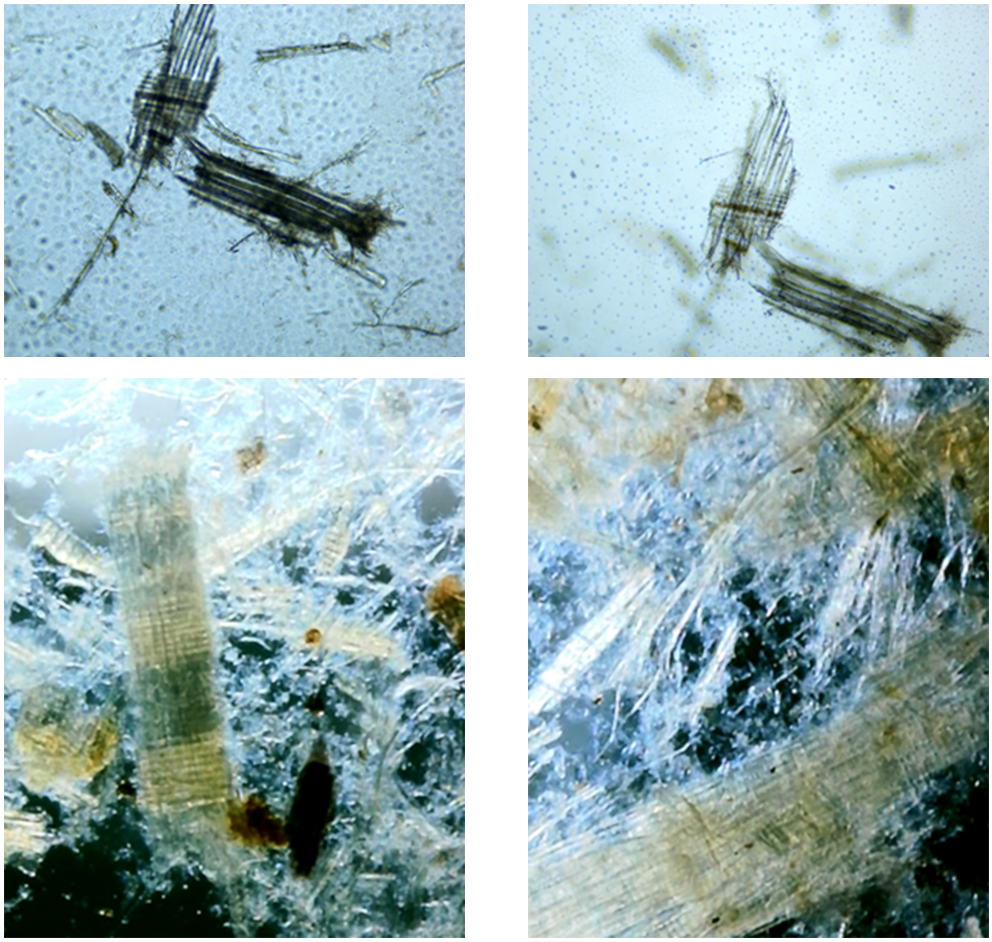


Рис. 2. Частицы опилок до и после кавитации (микроскоп МИКМЕД 6 ×100)
Fig. 2. Sawdust particles before and after cavitation (MICMED 6 ×100 microscope)

Затем были изготовлены и испытаны образцы опилкобетона. После обезвоживания кавитированных опилок до влажности 160 % в смесь добавлялся портландцемент ПЦ-500, проводилось перемешивание. Использовался ПЦ 500/42,5Н ГОСТ 31108–2020. Соотношение компонентов определяется как массовая доля ПЦ 500 относительно влажной кавитированной древесной массы. Использовалось несколько вариантов массовой доли ПЦ 500 в рецептуре. Это 20, 33, 50, 67 % от массы влажных кавитированных опилок. Полученной смесью заполнялись разъемные металлические формы кубической формы 100 × 100 × 100 мм. Согласно ГОСТ 19222–2019, изготавливалось по шесть образцов каждого вида. Сушка образцов проводилась при комнатной температуре. После 7 сут выдержки в формах образцы освобождались из форм и маркировались. Затем набирали прочность 28 сут. В лаборатории образцы были испытаны на прочность при сжатии (на гидропрессе) по ГОСТ 10180–90, теплопроводность (зондовый способ, прибором МИТ-1 по ГОСТ 30256–94), определена плотность весовым способом (таблица).

Результаты исследования
Research results

Показатель Indicator	Доля портландцемента ПЦ-500, % от кавитированной древесной массы влажностью 160 % The share of portland cement PC-500, % of cavitated wood mass with a moisture content of 160 %			
	20	33	50	67
Плотность кг/м^3 Density kg/m^3	430	538	747	1027
Предел прочности (сжатие), МПа Tensile strength (compression), MPa	0,45	1,1	4,9	8,4
Коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м^2·°С) Thermal conductivity coefficient of the material, W/(m^2·°C)	0,156	0,161	0,188	0,4

Прочность образцов при доле цемента в 50 и 67 % превысила конкурирующую величину для арболита в 5,4 и в 8 раз (при сопоставимой доле вяжущего). Плотность испытуемых образцов и арболита при сопоставимых дозировках цемента практически равна (арболит – 550 и опилкобетон – 538 кг/м^3). Теплопроводность опилкобетона (0,161 Вт/(м^2·°С)) оказалась даже несколько ниже, чем у арболита (по данным (Долматов, Никончук, 2019), 0,18 Вт/(м^2·°С)).

Далее образцы опилкобетона исследовались на морозостойкость. Вода при переходе из жидкого состояния в твердое увеличивается в объеме на 10 %. Кристаллизация воды в материале приводит к потере прочности вплоть до разрушения. Морозостойкость для различных стеновых материалов регулируется нормами и стандартами. Исходя из основных материалов – конкурентов, используемых застройщиком, остановимся на бетоне, кирпиче и газобетоне. Для плотных бетонов – это ГОСТ 10060–2012, для кирпича – это ГОСТ 7025–91. Характерной чертой этих стандартов является испытание на морозостойкость путем оттаивания образцов в воде.

Ячеистые бетоны испытываются по нормативу ГОСТ 31359–2007. Изначально морозостойкость ячеистых (до 1972 г.) бетонов определялась также путем оттаивания их в воде, т. е. как для тяжелых бетонов или кирпича. Результаты таких испытаний свидетельствовали о низкой (F10 и менее) морозостойкости материала. Однако долговечность при эксплуатации строений даже без наружной отделки была сопоставима с таковой у кирпича. В 1970-х годах методика испытаний автоклавного газобетона была пересмотрена. Это объясняется принципиально различной структурой тяжелого бетона или керамического кирпича и поризованных бетонов, в частности газобетона или близких по назначению арболитов и опилкобетонов. Эти материалы, имея существенно больший объем пор (по сравнению с тяжелыми бетонами или керамикой), при

оттаивании в воде получают практически полное заполнение пор водой. И с 1970-х годов оттаивание проводится не в воде, а в воздухе. Подобные требования существуют в Евросоюзе (EN 15304–2010).

Долговечность конструкции определяется условиями эксплуатации согласно СП 28.13330.2017. Выделяются понятия первичной и вторичной защиты от коррозии. Первичная защита – когда сам материал без дополнительной защиты обеспечивает расчетную долговечность. Типичная картина эксплуатации ИЖС объекта – это условия Х0 (СП 28.13330.2017). Требования к морозостойкости стеновых конструкций (приложение Ж в СП 28.13330.2017) регламентируют минимальные показатели морозостойкости материала. Для сухих помещений с относительной влажностью воздуха менее 60 % минимальный показатель морозостойкости материала наружной стены из ячеистого или легкого поризованного бетона F35. Это обеспечивает работу материала в виде незащищенной необлицованной кладки.

Поскольку прямого действующего ГОСТа, посвященного только опилкобетону, нет, он относится к легким бетонам на органических заполнителях, регулируемым в части конструкционных требований схожим стандартом для арболитов (ГОСТ 19222–2019). Согласно требованиям ГОСТ 19222–2019 марку по морозостойкости арболита, применяемого в конструкциях конкретных видов, устанавливают в стандартах или технических условиях на эти конструкции и назначают по нормам строительного проектирования в зависимости от режима эксплуатации конструкций и расчетных зимних температур наружного воздуха в районе строительства. Если обратиться к СП 15.13330.2020, то согласно нормативам для лицевого слоя кладки наружной однослойной стены в зданиях с сухим и нормальным режимом при фактической величине морозостойкости F25 обеспечивается срок службы конструкции 100 лет. По ГОСТ 19222–2019 марка по морозостойкости арболита должна быть не менее F25. Таким образом требования даже ниже, чем по СП 28.13330.2017 для легких поризованных бетонов, и нормы проектирования допускают конструкцию однослойной стены без облицовки защитными покрытиями. И вовсе (по ГОСТ 19222–2019), если блоки по назначению обеспечивают только ограниченную защиту от проникновения воды (например, блоки имеют наружную штукатурку, применяются для внутренних перегородок, внутренних стен), допускается морозостойкость не нормировать.

Однако требования ГОСТ 19222–2019 обязывают проверять арболит на морозостойкость по ГОСТ 10060–2012, т. е. как для тяжелых бетонов, пористость которых на порядок ниже, чем арболита или опилкобетона. Это требование ставит древесно-минеральные композиты в заведомо невыгодное положение по сравнению с газобетоном. Следовательно, испытывать материал следует в области материалов-конкурентов и реальных конструкций, возводимых из этого материала. То есть арболит или опилкобетон с плотностью D600 следует испытывать по методикам и сравнивать с газобетоном соответствующей плотности, но не с тяжелыми бетонами высокой плотности (D1500 и более). Нормативные условия по ГОСТ 10060–2012 весьма жесткие, и они часто не соответствуют реальным условиям эксплуатации. Кроме того, реальный объект ИЖС из арболита или опилкобетона практически всегда имеет меры вторичной защиты (СП 28.13330.2017) или отделочный или изолирующий слой, например штукатурку.

Исходя из вышесказанного, нами применялась методика испытаний по ГОСТ 31359–2007, что наш взгляд, является более правильным, нежели по ГОСТ 10060–2012, и соответствует как назначению и области применения материала, так и его структуре. То есть образцы насыщались водой до влажности 35 %, затем замораживались, а оттаивание проводилось на воздухе. Из-за отсутствия морозильной камеры замораживание образцов осуществлялось в естественных условиях при температурах до –26 °С, т. е. еще более суровых, чем того требует стандарт. Испытывалось девять образцов. Исследование опилкобетона плотностью D750 выявило соответствие показателю морозостойкости F35. Образцы не раскололись, не получили трещин. Среднее снижение прочности относительно таковой у контрольных образцов составило 14,2 %.

Полученные древесно-минеральные композиты из кавитированных опилок можно отнести к категории низкоплотных высокоэффективных конструктивно-теплоизоляционных материалов. Для ИЖС домостроения древесно-минеральный композит из кавитированных опилок достаточно перспективен, поскольку сочетает низкую теплопроводность и достаточную прочность. На древесно-минеральный композит из кавитированного сырья получен патент (Патент № 2854429).

Выводы

Совершенствование технологий переработки вторичных древесных ресурсов требует решения ряда организационных и технологических вопросов, создания методик и прикладных инструментов. По вопросу производства древесно-минеральных композиционных материалов необходимы научные исследования как в части совершенствования самого материала, его рецептур, технологии изготовления, так и сырьевого обеспечения и расширения области применения в народном хозяйстве.

Кавитационная обработка древесного сырья позволяет получать опилкобетон высокой прочности и низкой теплопроводности, при этом исключается негативное влияние растворимых веществ, находящихся в древесной клетке. Такие композиты позволяют убрать из технологической схемы производства органобетонов процессы введения химических добавок – минерализаторов (при равной конкурирующей плотности) за счет улучшения адгезии активированных древесных частиц, имеющих большую поверхность взаимодействия.

Список источников

В Совете Федерации обсудили вопросы утилизации низкотоварной древесины, отходов лесопиления и лесопереработки // СФ [сайт]. URL: http://council.gov.ru/events/news/165475/ (дата обращения: 15.01.2026).

ГОСТ 10060–2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. М. : Стандартинформ, 2012. 19 с.

ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М. : Стандартинформ, 2006. 31 с.

ГОСТ 19222–2019. Арболит и изделия из него. М. : Стандартинформ, 2019. 31 с.

ГОСТ 30256–94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом. М. : МИТКС, 1996. 16 с.

ГОСТ 31108–2020. Цементы общестроительные. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2020. 30 с.

ГОСТ 31359–2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия / Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС). М., 2008. 15 с.

ГОСТ 7025–91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. М. : Стандартинформ, 2006. 12 с.

Долматов С. Н., Никончук А. В. Исследование показателей теплопроводности древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37, № 5. С. 341–346.

Долматов С. Н., Смертин Н. В. Исследование прочности и теплопроводности древесно-минерального композита, изготовленного из механоактивированного древесного сырья // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 170–184. DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.017

Древесно-композитные плиты с низким коэффициентом линейного теплового расширения / *В. Н. Ермолин, М. А. Баяндин, А. В. Намятов, Н. В. Смертин* // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 2 (398). С. 142–151. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-142-151

Катраков И. Б., Маркин В. И., Базарнова Н. Г. Получение пресс-масс и плитных материалов на основе кавитированного растительного сырья // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 3–1 (83). С. 204–208. DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.1-37

Лукаш А. А., Дьячков К. А. Строительные изделия из измельченной древесины // Строительные материалы. 2009. № 1. С. 54–55.

Лукаш А. А., Плотников В. В., Ботаговский М. В. Ячеистые стеновые панели из древесных материалов // Строительные материалы. 2009. № 2. С.72–73.

Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементных композиций. Л. : Стройиздат, 1990. 416 с.

О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 16.12.2014 № 268-ФЗ // Официальное опубликование правовых актов : [сайт]. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140034 (дата обращения: 20.01.2026).

Обоснование необходимости внедрения процессов комплексного использования древесины на лесопильных предприятиях / *А. А. Тамби, С. А. Угрюмов, А. Р. Бирман* [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). С. 47–54. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-2-47-54

Патент № 2854429 C1 Российская Федерация, МПК C08L 97/02. Древесно-минеральный композит из кавитированных опилок : № 2025117807 / *С. С. Ш. Саая, С. Н. Долматов, Н. В. Смертин* : заявл. 27.06.2025 : опубл. 12.01.2026 ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тувинский государственный университет // Роспатент платформа : [сайт]. URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/patents (дата обращения: 15.01.2026).

СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции. Правила проектирования / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М., 2020. 104 с.

СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. М., 2017. 118 с.

Справочник по производству и применению арболита / *П. И. Крутов, И. Х. Наназашвили, Н. И. Склизков, В. И. Савин* ; под ред. И. Х. Наназашвили. М. : Стройиздат, 1987. 208 с.

Стратегия социально-экономического развития Красноярского края до 2030 года // Красноярский край. Министерство экономики и регионального развития : [сайт]. URL: http://www.econ.krskstate.ru/ser_kray/2030 (дата обращения: 24.01.2026).

Титунин А. А. Методологический подход к оценке эффективности использования древесных ресурсов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2009. № 3. С. 74–79.

Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция) // Консультант плюс : [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 24.01.2026).

EN 15304–2010. Determination of the freeze-thaw resistance of autoclaved aerated concrete European committee for standardization comité européen de normalisation europäisches komitee für normung. Brussels, 2010. 11 p.

References

Dolmatov S. N., Nikonchuk A. V. Research of thermal conductivity indicators of wood-cement composites // Conifers of the boreal zone. 2019. Vol. 37, № 5. P. 341–346. (In Russ.)

Dolmatov S. N., Smertin N. V. Research of strength and thermal conductivity of a wood-mineral composite made from mechanically activated wood raw material // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 170–184. DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.017 (In Russ.)

EN 15304–2010. Determination of the Freeze-Thaw Resistance of Autoclaved Aerated Concrete. European Committee for Standardization. Brussels, 2010. 11 p.

GOST 10060–2012. Concretes. Methods for Determining Frost Resistance. Moscow : Standartinform, 2012. 19 p.

GOST 10180–90. Concretes. Methods for Determining Strength Using Control Specimens. Moscow : Standartinform, 2006. 31 p.

GOST 19222–2019. Arbolite and Products Made of It. Moscow : Standartinform, 2019. 31 p.

GOST 30256–94. Building Materials and Products. Method for Determining Thermal Conductivity with a Cylindrical Probe. Moscow : ISTCS, 1996. 16 p.

GOST 31359–2007. Autoclaved Aerated Concretes. Specifications. Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Regulation, and Certification in Construction (MNTKS). Moscow, 2008. 15 p.

GOST 7025–91. Ceramic and Silicate Bricks and Stones. Methods for Determining Water Absorption, Density, and Frost Resistance Control. Moscow : Standartinform, 2006. 12 p.

GOST 31108–2020. General construction cements. Specifications. M. : Standartinform, 2020. 30 p.

Handbook of Arbolite Production and Application / *P. I. Krutov, I. Kh. Nanazashvili, N. I. Sklizkov, V. I. Savin* ; Ed. by I. Kh. Nanazashvili. Moscow : Stroyizdat, 1987. 208 p.

Justification of the Need to Implement Integrated Wood Utilization Processes at Sawmills / *A. A. Tambi, S. A. Ugryumov, A. R. Birman* [et al.] // Systems. Methods. Technologies. 2020. № 2 (46). P. 47–54. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-2-47-54 (In Russ.)

Katrakov I. B., Markin V. I., Bazarnova N. G. Production of molding masses and board materials based on cavitated plant raw materials // Bulletin of the Altai State University. 2014. № 3–1 (83). P. 204–208. DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.1-37 (In Russ.)

Lukash A. A., Plotnikov V. V., Botagovsky M. V. Cellular wall panels from wood materials // Construction materials. 2009. № 2. P. 72–73. (In Russ.)

Lukash A. A., Dyachkov K. A. Construction products from crushed wood // Construction materials. 2009. № 1. P. 54–55. (In Russ.)

Nanazashvili I. Kh. Construction materials from wood-cement composites. Leningrad : Stroyizdat, 1990. 416 p.

On Amendments to the Federal Law “On Production and Consumption Waste” and Certain Legislative Acts of the Russian Federation: Federal Law of 16.12.2014 № 268-FZ // Official publication of legal acts : [website]. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207140034 (accessed 20.01.2026).

On Production and Consumption Waste : Federal Law of June 24, 1998 № 89-FZ (latest revision) // Consultant plus : [website]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (accessed 24.01.2026).

Patent № 2854429 C1 Russian Federation, IPC C08L 97/02. Wood-mineral composite from cavitated sawdust : № 2025117807 : declared. 06.27.2025 : publ. January 12, 2026 / *S. S. Sh. Saaya, S. N. Dolmatov, N. V. Smertin* ; applicant : Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tuva State University” // Rospatent platform : [website]. URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/patents (accessed 15.01.2026).

SP 15.13330.2020. Masonry and Reinforced Masonry Structures. Design Rules. Kucherenko Central Research Institute of Building Structures. Moscow, 2020. 104 p.

SP 28.13330.2017. Protection of Building Structures from Corrosion. Ministry of Construction, Housing, and Communal Services of the Russian Federation. Moscow, 2017. 118 p.

Strategy for the Socioeconomic Development of Krasnoyarsk Krai until 2030 // Krasnoyarsk Region. Ministry of Economy and Rgional Bevelopment : [website]. URL: http://www.econ.krskstate.ru/ser_kray/2030 (accessed 24.01.2026).

The Federation Council discussed the recycling of low-grade timber, sawmill waste, and timber processing waste // The Federation Council : [website]. URL: http://council.gov.ru/events/news/165475/ (accessed 15.01.2026).

Titunin A. A. Methodological Approach to Assessing the Efficiency of Wood Resource Use // Bulletin of the Moscow State Forest University – Forest Bulletin. 2009. № 3. P. 74–79. (In Russ.)

Wood-composite boards with a low coefficient of linear thermal expansion / *V. N. Ermoolin, M. A. Bayandin, A. V. Namyatov, N. V. Smertin* // Bulletin of higher educational institutions. Forest journal. 2024. № 2 (398). P. 142–151. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-142-151 (In Russ.)

Информация об авторах

С. Н. Долматов – кандидат технических наук, доцент;

Н. В. Смертин – аспирант.

Information about the authors

S. N. Dolmatov – candidate of technical sciences, associate professor;

N. V. Smertin – postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 31.01.2026; принята к публикации 20.02.2026.

The article was submitted 31.01.2026; accepted for publication 20.02.2026.