

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.11

БИОКОМПОЗИТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ. ЧАСТЬ 2 (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОФЕРМЕНТАЦИИ ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ)

В.В. Белов*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Белов В.В., 2023

Аннотация. Изучены способы биоферментации древесного заполнителя с целью его использования в качестве заполнителя для легких бетонов и других строительных материалов. Указано, что такая обработка древесного сырья может позволить получить строительные материалы, удовлетворяющие требованиям стандарта (даже на основе широко распространенных отходов деревообработки – опилок). Биоремедиация опилок по разработанному способу значительно (в два раза и более) снижает содержание в них сахаров, что способствует получению образцов опилкобетона с плотностью, соответствующей плотности легких бетонов, и с достаточной прочностью на сжатие. Отмечено, что получены опытные образцы биологически активированного древесного заполнителя и определены его основные физико-химические свойства.

Ключевые слова: отходы деревообработки, древесный заполнитель, биоферментация, свойства.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-2-5-12

ВВЕДЕНИЕ

Наши предварительные исследования по теме [1–5]¹ позволили установить возможность улучшения древесного заполнителя путем его биоферментации с помощью микроорганизмов, содержащихся в субстрате животного происхождения – отходе животноводства. Такая обработка древесного сырья может обеспечить получение строительных материалов, удовлетворяющих требованиям стандарта (даже на основе широко распространенных отходов деревообработки – опилок).

В части 1 настоящей работы [6] на основе изучения литературы установлено, что технологии получения древесных композиционных материалов на основе химически и механически активированного древесного заполнителя достаточно сложны и не позволяют получить материалы с высокими строительно-техническими свойствами. Выход из сложившейся ситуации видится в применении новых методов предварительной обработки

¹ В экспериментах по данной теме активное участие принимала Н.Н. Куделя (на тот момент заведующая лабораторией кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Тверского государственного технического университета).

древесного и другого растительного сырья, дающих возможность экономить энергоноситель и исходное сырье, улучшить физико-механические и санитарно-гигиенические свойства материалов, избежать использования дефицитных и в некоторых случаях вредных химических веществ.

Показано, что с современных позиций наиболее перспективным методом предварительной обработки древесного сырья является биологическая обработка, что связано с уникальной способностью биологических систем распознавать определенные химические соединения и осуществлять широкий спектр химических реакций в мягких условиях.

Цель данной научно-исследовательской работы – разработка оптимальных режимов биоферментации древесного заполнителя с целью его использования в качестве заполнителя для легких бетонов и других строительных материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве древесного заполнителя древесно-цементной композиции использовались опилки древесины хвойных пород. Влажность и гранулометрический состав опилок определялись по стандартным методикам.

Влажность опилок составляла 8,5 %. Насыпная плотность 90 г/дм³. Гранулометрический состав опилок приведен ниже:

Остатки в процентах на ситах с размером ячейки, мм						Прошло через сито 0,14 мм
5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
25	42,5	7,5	10	10	5	1

Анализ на содержание водорастворимых редуцирующих веществ в опилках производился в соответствии с ГОСТ 19222 методом восстановления сахарами основной соли двухвалентной меди до ее закиси. Содержание сахара находили по количеству перманганата калия, пошедшего на титрование двухвалентного железа закисью меди.

Из опилок отбирали среднюю пробу, после чего ее подвергали испытаниям. Количество редуцирующих веществ в древесине РВ в процентах от сухой навески определяли по формуле

$$РВ = \frac{b \cdot V_0 \cdot 100}{V_1 \cdot g},$$

где b – количество сахара, соответствующее объему перманганата калия, пошедшего на титрование пробы, найденное по таблице из ГОСТ 19222, мг; V_0 – объем воды, использованный для приготовления водной вытяжки, мл; V_1 – объем водной вытяжки, взятой для анализа, мл; g – навеска сухой древесины, мг.

Результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения водорастворимых редуцирующих веществ в опилках

Наименование показателей	Значения
Масса влажной навески, г	2,0000
Масса навески в пересчете на сухое вещество, г	1,7621
Объем титра перманганата калия, мл	2,6
Количество сахара, соответствующее титру, мг	8
Содержание водорастворимых редуцирующих веществ, %	0,7306

Методика биоферментации древесного заполнителя

Снижение содержания водорастворимых редуцирующих веществ в опилках требует применения специальных мер, к наиболее эффективным из которых следует отнести биологические преобразования древесного заполнителя, осуществляемые в процессе его ферментации, с помощью микроорганизмов.

Процесс биоферментации опилок в смеси с субстратом животного происхождения реализовывался в специальном биореакторе, в качестве которого была использована лабораторная пропарочная камера с полезным объемом 50 дм³. В камеру устанавливалась емкость из нержавеющей стали, в которую помещалось обрабатываемое сырье. На крышке биореактора имеется отверстие для термометра. Отверстие расположено с таким расчетом, чтобы термометр регистрировал среднюю температуру по всему объему смеси.

Для процесса биоферментации готовили смесь из опилок и субстрата животного происхождения. Например, для получения смеси объемом 30 дм³, которая на 60 % (мас.) состоит из опилок и на 40 % (мас.) – из субстрата, брали соответственно 3,6 кг опилок и 2,4 кг субстрата. Компоненты тщательно перемешивали, затем добавляли воду, смесь снова перемешивали, после чего загружали в биореактор. Затем настраивали необходимую температуру реактора и проводили обработку сырья. Для снабжения микроорганизмов воздухом один раз в сутки в течение всего процесса биоферментации производили перемешивание смеси вручную в течение 10 мин.

В ходе экспериментов по биоферментации растительного сырья необходимо постоянство температуры смеси. Для этого использовали термометр и датчик температуры, входившие в комплект пропарочной камеры. Температура поддерживалась с отклонением от заданной на не более чем 1 °С. Процесс биоферментации производился при заданной температуре (в диапазоне от 36 до 45 °С).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты по изучению влияния продолжительности биоферментации на содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках проводились на двух составах сырьевой смеси: 62,5 % опилок в пересчете на сухое вещество и 37,5 % субстрата животного происхождения (I состав) и 50 % опилок и 50 % субстрата (II состав). Содержание воды было выбрано соответственно 52 % и 35 % от массы смеси. Дозирование опилок и воды в замесах производилось с учетом фактической влажности опилок по формулам:

$$P_{\text{вл. оп}} = P_{\text{сух. оп}} \cdot \left(1 + \frac{W}{100}\right);$$

$$P_{\text{в}} = B - \frac{P_{\text{сух. оп}} \cdot W}{100},$$

где $P_{\text{вл. оп}}$ и $P_{\text{сух. оп}}$ – расходы соответственно влажных и сухих опилок, кг; $P_{\text{в}}$ и B – соответственно фактический и номинальный расходы воды, л; W – влажность опилок, %.

Составы обрабатывались параллельно в двух емкостях в одном биореакторе при температуре 42 °С. Через 2, 3, 4 и 5 сут после начала обработки отбирали пробы сырья, для которых определяли влажность, содержание редуцирующих веществ, насыпную плотность.

Результаты испытаний приведены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2

Результаты определения влияния продолжительности биоферментации на содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках и на их насыпную плотность

Номер состава	Продолжительность обработки, сут	Содержание редуцирующих веществ, %	Насыпная плотность, кг/м ³
I	2	0,535	470
	3	0,446	520
	4	0,412	500
	5	0,365	580
II	2	0,521	510
	3	0,427	510
	4	0,407	530
	5	0,355	580

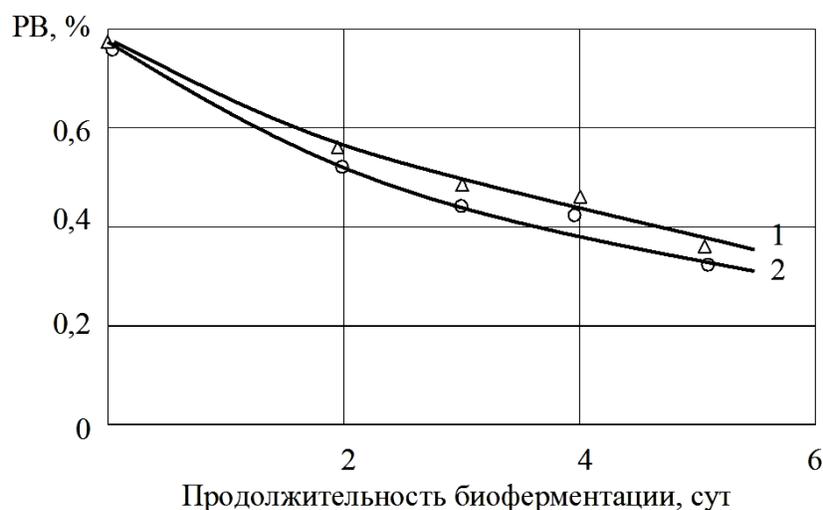


Рис. 1. Содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках в зависимости от продолжительности биоферментации: 1 – I состав; 2 – II состав

Результаты экспериментов показывают, что с увеличением продолжительности биоферментации содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках заметно снижается. В то же время динамика этого снижения уменьшается при продолжительности биоферментации около 5 сут. Таким образом, технически и экономически целесообразно установить продолжительность биоферментации не более 5 сут, а именно от 4 до 5 сут в зависимости от требований реального производства. Увеличение продолжительности биоферментации в указанных пределах позволяет снизить содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках примерно на 10 %, однако удлиняется производственный цикл.

Результаты испытаний (см. табл. 2) свидетельствуют также, что с увеличением продолжительности биоферментации повышается насыпная плотность обработанных опилок, что можно объяснить изменением реологических свойств древесного сырья. Оно становится более податливым, то есть величина пластической деформации у сырья, подвергнувшегося биологическому воздействию, значительно выше, чем у сырья, не испытывавшего это воздействие.

Поскольку содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках связано с прочностью опилкобетона, важное значение имеет установление влияния температуры биоферментации на содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках с целью их снижения. Результаты исследований данного фактора по испытаниям I состава (рис. 2) позволяют судить об оптимальном значении температуры биоферментации, которая оказалось равной 42 °С.

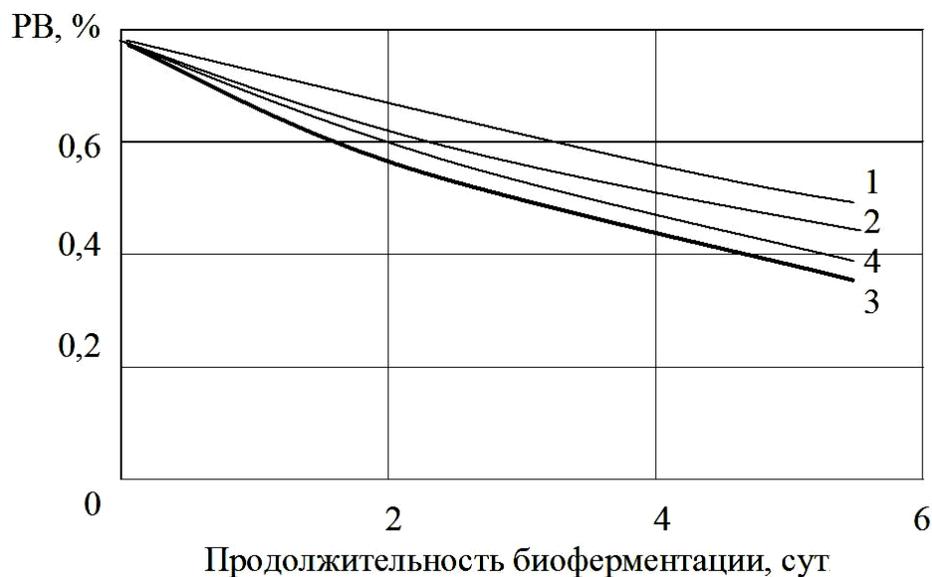


Рис. 2. Содержание редуцирующих веществ в обработанных опилках I состава в зависимости от продолжительности биоферментации при температуре, °С: 1 – 36; 2 – 39; 3 – 42; 4 – 45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, биоферментация древесного сырья микроорганизмами, содержащимися в навозе и обладающими высокой целлюлозолитической активностью, дает возможность получать продукты со сниженным (по сравнению с исходным субстратом) содержанием углеводов. Содержание сахаров в опилках за счет их биоферментации по разработанной методике возможно уменьшить более чем в два раза (с 0,731 до 0,355 %). Такая обработка древесного сырья может позволить изготавливать строительные материалы, удовлетворяющие требованиям стандарта, даже на основе широко распространенных отходов деревообработки – опилок, а именно опилкобетона с плотностью, соответствующей плотности легких бетонов, и с достаточной прочностью на сжатие. Полученные материалы будут отличаться экологической безопасностью, малой энергоемкостью и стоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов В.В., Миронов В.А., Сухарев Ю.В. Биологически активный опилкобетон для сельскохозяйственного строительства // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика*. 2011. № 9. С. 76–82.
2. Белов В.В., Сухарев Ю.В. Использование биологически активированного опилкобетона для утепления эффективной металлодеревянной панели // *Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение*. 2006. № 3. С. 102–106.
3. Миронов В.А., Белов В.В., Сухарев Ю.В. Биологически активированный опилкобетон для утепления эффективной металлодеревянной панели // *Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2007. № 6. С. 112–120.
4. Патент РФ 2230049 С2. *Способ получения древесно-цементной композиции* / Миронов В.А., Белов В.В., Сухарев Ю.В.; Заявл. 05.08.2002. Опубл. 10.06.2004.
5. Миронов В.А., Белов В.В., Сухарев Ю.В. Актуальные вопросы биотехнологии в строительстве. *Строительство и архитектура: Сборник научных трудов инженерно-строительного факультета*. Тверь: ТГТУ. 2001. С. 173–175.
6. Белов В.В. Биокompозиты строительного назначения с использованием отходов деревообработки. Часть 1 (обзор) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 1 (17). С. 14–26.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных изделий и конструкций», ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В. Биокompозиты строительного назначения с использованием отходов деревообработки. Часть 2 (экспериментальные исследования биоферментации древесного заполнителя) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 2 (18). С. 5–12.

**CONSTRUCTION BIOCOMPOSITES USING WOODWORKING WASTE.
PART 2 (EXPERIMENTAL STUDIES
BIOFERMENTATION OF WOOD AGGREGATE)****V.V. Belov***Tver State Technical University (Tver)*

Abstract. The methods of biofermentation of wood aggregate for the purpose of its use as a filler for light concrete and other building materials have been studied. It is indicated that such processing of wood raw materials can make it possible to obtain building materials that meet the requirements of the standard (even on the basis of widespread woodworking waste – sawdust). Bioremediation of sawdust according to the developed method significantly (twice or more) reduces the sugar content in them, which contributes to obtaining sawdust concrete samples with a density corresponding to the density of light concrete and with sufficient compressive strength. It is noted that experimental samples of biologically activated wood filler have been obtained, and its basic physico-chemical properties have been determined

Keywords: woodworking waste, wood aggregate, biofermentation, properties.

REFERENCES

1. Belov V.V., Mironov V.A., Sukharev Yu.V. Biologically active sawdust concrete for agricultural construction. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika*. 2011. No. 9, pp. 76–82. (In Russian).
2. Belov V.V., Sukharev Yu.V. The use of biologically activated sawdust concrete for the insulation of an effective metal-wood panel. *Izvestiya OryolGTU. Mashinostroenie. Priborostroenie*. 2006. No. 3, pp. 102–106. (In Russian).
3. Mironov V.A., Belov V.V., Sukharev Yu.V. Biologically activated sawdust concrete for insulating an efficient metal-wood panel. *Vestnik central'nogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk*. 2007. No. 6, pp. 112–120. (In Russian).
4. Patent RF 2230049 C2. *Sposob polucheniya drevesno-cementnoj kompozicii* [Method for producing wood-cement composition]. Mironov V.A., Belov V.V., Sukharev Yu.V. Declared 05.08.2002. Published 10.06.2004. (In Russian).
5. Mironov V.A., Belov V.V., Sukharev Yu.V. Topical issues of biotechnology in construction. *Construction and architecture: Collection of scientific works of the Faculty of Civil Engineering*. Tver: TGTU. 2001, pp. 173–175. (In Russian).
6. Belov V.V. Biocomposites for construction purposes using waste wood processing. Part 1 (Overview). *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotekhnika i himicheskie tekhnologii»*. 2023. No. 1 (17), pp. 14–26. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V. Construction biocomposites using woodworking waste. Part 2 (experimental studies biofermentation of wood aggregate) // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 2 (18), pp. 5–12.

УДК 691**ЗОЛОЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ**

*В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова,
Х.А. Микаелян, К.С. Петропавловский*

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б.,
Микаелян Х.А., Петропавловский К.С., 2023

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния выделенного алюмосиликатного компонента золошлакового отхода гидроудаления на свойства цементных смесей. В ходе анализа результатов исследования водопотребности и сроков схватывания указанных смесей с включением алюмосиликатной добавки выявлено, что введение высокодисперсного зольного компонента отражается на свойствах сырьевых смесей на основе портландцемента. Полученные результаты демонстрируют, что использование добавки влечет за собой регулирование свойств вяжущего путем введения дополнительных компонентов, дающих возможность оптимизировать технологические свойства образующихся смесей.

Ключевые слова: портландцемент, золошлаковые отходы, флотация, алюмосиликатная добавка, водопотребность, сроки схватывания.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-2-12-21

В развитых странах производство строительных материалов на основе цементного клинкера ориентировано на увеличение в составе вяжущего доли вторичного минерального сырья [1]. В настоящее время эта тенденция также просматривается применительно к таким крупнотоннажным отходам, как зола-уноса и золошлаковые смеси (ЗШС), образующиеся при сжигании твердого топлива в котлах тепловых электростанций (ТЭС). Необходимость использования ЗШС обосновывается возрастающей опасностью нарушения экологической обстановки вблизи этих производств, а также проблемой утилизации зол. Особенно все это актуально для России, где большая часть электроэнергии вырабатывается ТЭС, сжигающими твердое топливо с образованием многотоннажных объемов зольных отходов [2].

Зола-уноса – это остаток с зернами, чей размер меньше 0,16 мм, образующийся при сгорании топлива и скапливающийся в золоулавливающих устройствах. Золошлаковая смесь гидроудаления имеет гранулометрический состав с более широким распределением частиц по размерам [1]. В зависимости от вида топлива зола подразделяется на