

УДК 691.11

**БИОКОМПОЗИТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ
ЧАСТЬ 1 (ОБЗОР)*****В.В. Белов****Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Белов В.В., 2023

Аннотация. Изучены способы применения отходов деревообработки, перспективы их использования в качестве заполнителя для легких бетонов и других строительных материалов. Рассмотрены возможные технологии получения строительных материалов на основе химически и механически активированного древесного заполнителя. Показано, что многие из этих технологий достаточно сложны и не позволяют получить материалы с высокими строительно-техническими свойствами. Сделан вывод, что если будут найдены нетрадиционные способы активации древесного заполнителя, в том числе за счет использования приемов биотехнологии, указанные отходы, плотность которых значительно ниже плотности традиционных заполнителей, смогут служить отличным сырьем для производства легкого бетона и способствовать уменьшению затрат на добычу природных ресурсов и энергии для их переработки.

Ключевые слова: отходы деревообработки, опилкобетон, древесный заполнитель, свойства, технология.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-1-14-26**ВВЕДЕНИЕ**

Основными направлениями экономического развития России предусмотрена программа развития топливно-энергетического комплекса и экономии энергоресурсов. В частности, планируется переход на энергосберегающие технологии производств, сокращение всех видов энергетических потерь и повышение уровня использования вторичных энергоресурсов (ВЭР) [1]. Применению ВЭР в последние годы уделяется значительное внимание. Вместе с тем вопросы рационального использования ВЭР освещены недостаточно [2].

Можно выделить новую, перспективную и развивающуюся технологию утилизации важнейших ВЭР, к которым относятся промышленные отходы и которые более правильно называть вторичными техногенными ресурсами, – депонирование. Этот метод представляет собой добавление строительных отходов в структуру новых материалов, при этом получают совершенно новые их модификации с улучшенными характеристиками. Депонирование является методом, основывающимся на методе рециклинга с использованием уже отсортированного или переработанного сырья [1].

При исследовании вопроса получения строительных материалов на основе промышленных отходов нельзя не обратить внимание на их технико-экономическую эффективность и безопасность для человека и окружающей среды. Натуральное дерево, камень, солома, глина, песок и другие природные материалы и полезные ископаемые,

непосредственно используемые для строительства, экологически безопасны, но приводят к изъятию природных ресурсов из природной среды, истощая ее запасы.

Применение в строительстве и отделке дома экологически безвредных строительных материалов на основе промышленных отходов, не оказывающих прямого или косвенного воздействия на здоровье человека и на природную среду, является важнейшим фактором обеспечения экологической безопасности зданий и сооружений, а также технико-экономической эффективности строительства в целом. Предпочтительно использование местных сырья и промышленных отходов (целлюлозы, войлока, стружки, опилок, хлопка, пробки, базальта), изготовление материалов – цементно-стружечных, фибролитовых и базальтовых плит, блоков, панелей, стекломгнезиевого листа и других конструкционных и изоляционных материалов, – по доступной технологии, в том числе непосредственно на строительной площадке, с учетом необходимых экологических и санитарных требований [3].

В целом использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40 % потребности строительства в сырьевых ресурсах. Применение промышленных отходов позволяет на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, создавать новые строительные материалы с высокими технико-экономическими показателями и, кроме того, уменьшить загрязнение окружающей среды. В то же время их грамотное применение требует реализации системы управления обращения с отходами с помощью методов экономико-математического моделирования, позволяющих оптимизировать потоки обрабатываемых отходов. При выполнении указанных условий вторичное сырье, материалы, которые перерабатываются или повторно используются, дадут возможность бюджетам различных уровней получить доход, а бизнесу – дополнительную прибыль [4, 5].

Одними из многотоннажных техногенных отходов являются отходы деревообработки, которые представляют собой трудно утилизируемый материал, практически не используемый повторно. В лучшем случае он сжигается, что также требует специальной технологии (в частности, изготовления древесных гранул – пеллет). Следовательно, в силу того, что ресурсная база отходов деревообработки весьма значительна, их применение для производства строительных материалов, в том числе в качестве заполнителей легких бетонов, представляется достаточно привлекательным. Потенциальными потребителями данных отходов могут быть предприятия по выпуску строительных материалов, изделий и конструкций.

ХИМИЧЕСКАЯ АГРЕССИВНОСТЬ ЗАПОЛНИТЕЛЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ЦЕМЕНТУ И МЕРЫ ПО ЕЕ СНИЖЕНИЮ

В практике малоэтажного строительства все большее применение находят цементно-древесные композиции для изготовления стеновых материалов. По причине развития технологии устройства монолитных, а также каркасно-монолитных стен, изготовленных на базе цементно-древесных композиционных материалов, необходимо установить закономерности взаимодействия древесного заполнителя (каркаса) с цементным тестом при обычной температуре. При управлении качеством материалов возникают сложности, связанные с химической агрессивностью древесного заполнителя и его подверженностью значительным влажностным деформациям, что существенным образом сказывается на прочности контакта заполнителя с минеральным вяжущим.

Из всех специфических особенностей целлюлозосодержащих наполнителей наиболее хорошо изучена их агрессивность по отношению к клинкерному цементу. Исследование свойств композиции «древесина – цементный камень» началось с 1924 г. Было выдвинуто предположение, что низкая прочность этой композиции связана с химическим составом древесины (табл. 1) [6].

Таблица 1

Химический состав некоторых пород древесины [6]

Составные части, %	Ель	Сосна	Осина	Бук
Целлюлоза (определяется по хлорному методу без пентозанов)	58,3	55,6	54,1	47,9
Лигнин (определяется по сернокислому методу)	28,3	26,5	20,1	22,5
Гемицеллюлоза (легкогидролизуемые пентозаны)	10,3	9,6	22,4	26,0
Экстрактивные вещества, растворимые в горячей воде	1,9	2,3	2,3	2,4

Древесина представляет собой сложный комплекс веществ (главным образом органического происхождения). Она состоит из целлюлозы (примерно 50 % всей массы древесины), лигнина, гемицеллюлозы и небольшого количества экстрактивных веществ – таннидов (дубильных и красящих веществ), жиров, эфирных масел, органических кислот, водорастворимых сахаров, минеральных солей [6].

Лигнин древесины почти нерастворим в известных растворителях, не гидролизует кислотами до мономерных единиц, очень чувствителен даже к мягким обработкам и поэтому значительно изменяется при выделении. Все это является препятствием для его изучения [7]. Целлюлоза и лигнин, составляющие основную массу клеточных оболочек растений и определяющие их механическую прочность, являясь достаточно стойкими веществами, вредного влияния на процесс твердения клинкерных цементов не оказывают.

Гемицеллюлозная часть древесины представляет собой сложные органические вещества (полисахариды), способные в щелочной среде (которой является цементный раствор, покрывающий древесный наполнитель) гидролизироваться и переходить в водорастворимые сахара. Водорастворимые сахара – сильнейшие «цементные яды» [6].

К экстрактивным относятся вещества, извлекаемые из древесины нейтральными растворителями (органическими или водой). Они содержатся главным образом в полостях клеток и межклеточных пространствах, а также могут пропитывать клеточные стенки. Содержание экстрактивных веществ в древесине значительно колеблется (от 1 до 40 % и более) и зависит в основном от породы, возраста, условий произрастания дерева и т.д. В обычных отечественных древесных породах содержание экстрактивных веществ невелико (в среднем 2–4 %). Исключением является дуб, древесина которого содержит значительное количество дубильных веществ. Экстрактивные вещества – танниды – имеют большие размеры молекул (порядка 100 мкм). Указанные вещества вымываются из древесины только горячей водой или горячим раствором «минерализатора» и хорошо осаждаются. Вследствие этого танниды не оказывают существенного влияния на процесс твердения цемента [6].

Смолистые вещества, содержащиеся в древесине, также воздействуют на процесс твердения цемента. Смоляные кислоты $C_{19}H_{29}COOH$, выделяющиеся из древесного наполнителя, при взаимодействии со щелочами, которые находятся в цементном тесте,

образуют мыльные растворы. При значительном содержании смолистых веществ в древесине прочность древесно-цементной композиции может несколько снизиться вследствие уменьшения смачиваемости частиц древесины и ухудшения сцепления с цементным тестом (камнем) [6].

Первые исследования показали, что легкогидролизуемые и экстрактивные вещества – цементные «яды», которые содержит древесина, – вредны для цемента, так как замедляют набор прочности изделия. Поэтому все усилия исследователей и практиков были направлены на нейтрализацию такого вредного явления. Позднее в работах, проведенных отечественными и зарубежными исследователями, было установлено, что наиболее вредное воздействие оказывают легкорастворимые простейшие сахара: сахароза, глюкоза, фруктоза и часть гемицеллюлозы, способной в определенных условиях перейти в форму таких сахаров, и в меньшей степени опасны крахмал, таниды и смолы. Щелочная среда цементного теста способствует выделению цементных «ядов», количество которых изменяется в значительных пределах в зависимости от породы древесины, условий и сроков ее хранения.

Выявлено, что воздействие водорастворимых веществ древесины на твердеющий цемент проявляется в стабилизирующем эффекте, аналогичном действию поверхностно-активных веществ. Цементные «яды», состоящие в основном из углеводных групп НОСН, осаждаясь на поверхности частичек минералов цемента 3CaOSiO_2 (трехкальциевый силикат) и $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ (трехкальциевый алюминат), образуют тончайшие оболочки, которые изолируют частицы цемента от воды, замедляют ход процессов гидролиза и гидратации цемента.

Для уменьшения отрицательного влияния водорастворимых экстрактивных и легкогидролизуемых веществ на прочность древесно-цементной композиции были предложены различные способы и технологические приемы, сущность которых заключалась в частичном удалении этих веществ из древесного заполнителя, в переводе простейших сахаров в нерастворимые или безвредные для цементного вяжущего соединения, в ускорении твердения портландцемента (т.е. в сокращении времени воздействия сахаров на процессы твердения). В большинстве своем предложенные способы «минерализации» древесного заполнителя предусматривают достаточно сложные технологические процессы, требующие многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки и др. [6].

Проведены исследования некоторых зависимостей физико-механических свойств арболита от вида применяемого сырья, его зернового состава, минерализатора, сроков распалубочной и отпускной прочности и т.д. При работе с различными древесными заполнителями выяснилось, что наилучшими прочностными показателями обладает арболит с заполнителем из хвойных пород, затем береза и осина [8].

В условиях производства иногда возникает необходимость выпускать арболит из невыдержанной древесины, заготовленной в зимний период, когда запас выдержанной древесины истощается. В этом случае необходимо применять химические добавки, которые нейтрализуют действие вредных для цемента водорастворимых веществ, находящихся в древесине. Применяли хлористый кальций, жидкое стекло, сернокислый алюминий и их сочетание. При работе на невыдержанной древесине введение в дробленку общепринятого минерализатора – хлористого кальция – в количестве 2 % от веса цемента не обеспечивает проектную марку арболита. В результате многократных испытаний

проектная марка была получена с применением комплексной добавки – жидкого стекла плюс сернокислый алюминий, соответственно 20 и 13 кг на 1 м³ арболита. Однако следует отметить, что использование в качестве минерализатора сернокислого алюминия вызывает удорожание продукции [8].

Из многочисленных добавок, опробованных в отечественной и зарубежной практике, приняты такие, при которых «минерализаторами» служат хлористый кальций и жидкое стекло. Однако при том, что применяемые способы «минерализации» древесного заполнителя повышают скорость нарастания прочности в начальный период, все же, как видно из табл. 2, они не позволяют получать достаточно прочный материал. Проведенные исследования показали, что при почти полном удалении легкогидролизуемых веществ из древесного заполнителя прочность арболита удается увеличить на 10–15 %. Следовательно, наличие таких веществ в заполнителе можно рассматривать лишь как один из его недостатков [6].

Таблица 2

Прочность и расход компонентов композиции
«древесина – цементный камень» [6]

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Расход компонентов, кг на 1 м ³ арболита			
		при изгибе	при сжатии	Древесный заполнитель	Цемент	Химическая добавка	Вода
Арболит М 10...35	500–800	0,5–0,95	1,0–3,5	180–240	280–400	8	300–400
Дюризол	600–700	0,9–1,2	1,5–3,5	200–230	325–350	37	70–100
Велокс	550–600	1,2–2,2	–	366–414	200	16	150
Пилино бетон	700	1,45	1,97	166	411	16,5	284

Установлено, что сцепление древесины с цементным раствором и бетоном зависит от В/Ц смеси, условий хранения конструкций, влажности, шероховатости и формы деревянных стержней (брусков). В зависимости от принятых условий величина сцепления колебалась от 0,05 до 1,25 МПа [6].

В работе М.М. Сычева [9] предприняты попытки выяснить возможности активации формирования и упрочнения адгезионных контактов и наметить пути повышения адгезии цементов. Установлено, что образование адгезионных контактов химической природы между наполнителем-связующим и цементирующей фазой связано с кислотными или основными свойствами наполнителя, влияющими на величину рН в контактной зоне и кислотно-основное взаимодействие между наполнителями и цементирующей фазой. Силу поверхностных центров, участвующих в адгезии (кислотных, основных, электронодонорных или электроноакцепторных, протондонорных или протонакцепторных), можно регулировать путем адсорбционного легирования, ионным обменом, ионсорбцией или адсорбцией специфических молекул, управляя тем самым химическими и электрическими свойствами поверхности заполнителя и армирующего материала.

Полимеризационные явления в пленочных гелях на границе раздела фаз «наполнитель – связующее» определяются величиной рН. Это также подчеркивает перспективность обработки заполнителя (в зависимости от его кислотно-основных свойств) кислотами и щелочами. Следовательно, используя обработку кислотами, щелочами или ионсорбцию, можно искусственно повысить концентрацию центров, участвующих в адгезии, или усилить адгезионные свойства уже имеющихся центров [9].

В исследованиях А.И. Кудякова, Л.Н. Пименовой и В.В. Кривды [10] выявлялись закономерности формирования адгезионного контакта древесины с цементным тестом в ранние сроки, т.е. до начала его схватывания, поскольку образование первичных структур во многом обуславливает «работоспособность» контакта в процессе эксплуатации композиционного материала. Объектами исследования служили единичные образцы-пластины 40x40x10 мм, изготовленные из выдержанной в комнатных условиях древесины хвойных пород (сосны, ели и лиственницы) распиловкой в поперечном и тангенциальном направлениях с последующим шлифованием. Цементное тесто (В/Ц = 0,4) готовили из портландцемента М400 Топкинского завода и водопроводной воды. Величину адгезии цементного теста к срезу древесины определяли по усилию отрыва образца от поверхности теста. Усилие отрыва измеряли с помощью установки, смонтированной на базе весов ВЛА-200.

При установлении закономерностей формирования адгезионного контакта использовались различные способы предварительной обработки древесных образцов: высушивание до постоянной массы, выдерживание в воде до достижения предела гигроскопической влажности, в насыщенном растворе гидроксида кальция, в растворах хлорида кальция и сульфата алюминия. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что процесс формирования контакта древесного заполнителя с цементным тестом осуществляется в более сложных условиях, чем в цементных бетонах на плотных заполнителях, и может быть представлен в виде системы взаимосвязанных и обусловленных явлений, приводящих к конструктивным и деструктивным последствиям. Большое значение в формировании контактной зоны имеют химические процессы. К ним относятся адсорбция ионов Ca^{2+} гидратированного цемента на гидроксильных группах целлюлозы и лигнина (процесс, способствующий упрочнению адгезионного контакта), а также экстракция из древесины цементных «ядов» – водорастворимых соединений и их адсорбция на поверхности клинкерных минералов, приводящая к замедлению гидратации и препятствующая схватыванию и твердению цемента (процесс, снижающий адгезионную прочность контакта). Для оценки роли химических процессов в формировании адгезионного контакта производили предварительную обработку образцов древесины насыщенным раствором гидроксида кальция и двухпроцентными растворами минерализаторов [10].

Предварительная выдержка образцов древесины в насыщенном растворе гидроксида кальция изменяет картину формирования адгезионного контакта. Такая подготовка приводит прежде всего к блокировке активных центров (ОН-групп) древесины за счет преадсорбции ионов Ca^{2+} , вовлекаемых в глубь образца вместе с диффундирующей водой. Следует отметить, что максимальна концентрация этих активных центров у сосны как породы, наиболее богатой целлюлозой – основным носителем ОН-групп, а минимальная – у лиственницы (табл. 3). Кроме того, гидроксид кальция нейтрализует кислые цементные «яды», наибольшее содержание которых характерно для лиственницы, а наименьшее – для ели. Таким образом, происходит нивелирование хода кинетических

кривых: существенное повышение прочности контакта для лиственницы и некоторое ее снижение в поздние сроки для ели при переходе от предварительной выдержки в воде к выдержке в насыщенном растворе гидроксида кальция. По всей вероятности, подавляются негативные явления, связанные с химическим взаимодействием древесного заполнителя с цементным тестом, и увеличивается положительный эффект за счет диффузии воды и цементных частиц, что приводит к заметному росту начальной адгезионной прочности контакта [5].

Таблица 3

Результаты физико-химических исследований взаимодействия древесины с растворами минерализаторов [5]

Вид породы	Средняя плотность, кг/м ³	Примерный состав, %				рН водн. вытяжки древесины	рН растворов минерализаторов после контакта с древесиной в течение 1 ч		
		Целлюлоза	Лигнин	Водораств. вещества	Жир, воск, смола		Ca(OH) ₂	CaCl ₂	Al(SO ₄) ₃
Сосна	507	50,6	27,5	2,3	3,4	5,7	12,6	6,2	3,7
Ель	476	45,2	28,1	1,9	2,5	6,6	12,6	7,2	3,8
Лиственница	765	36,2	28,6	20,0	1,4	5,2	12,6	5,4	3,7

Предварительная выдержка образцов в растворе хлорида кальция аналогичным образом приводит к блокировке ОН-групп активных центров адсорбции, однако не вызывает нейтрализации кислых цементных «ядов». Последнее подтверждается и результатами потенциометрических измерений рН водных вытяжек (см. табл. 3).

Адгезия цементного камня к лиственнице, обработанной раствором CaCl₂, через 15 мин ниже, чем при обработке раствором Ca(OH)₂. Наиболее благотворной такая обработка оказалась для древесины сосны. Хороший эффект получен при обработке лиственницы раствором сульфата алюминия, который, гидролизуясь в воде, образует коллоиды гидроксида алюминия, служащие центрами коагуляции цементных «ядов». Комбинированная обработка путем выдержки древесины последовательно в растворах сульфата алюминия и хлорида кальция, приводящая к кольматации пор древесины продуктом их взаимодействия – гипсом, а в дальнейшем при контакте с цементным тестом – этtringитоподобными соединениями, оказывается малоэффективной по сравнению с выдержкой в воде [10].

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что наиболее целесообразной для рассмотренных случаев является химическая подготовка древесного заполнителя путем его выдержки в известковой воде, когда одновременно достигается преадсорбция ионов кальция на волокнах древесины и нейтрализация водорастворимых цементных «ядов».

В целом, как показывают приведенные выше данные, технологии получения древесных композиционных материалов на основе химически и механически

активированного древесного заполнителя достаточно сложны и не позволяют получить теплоизоляционные материалы с высокими строительно-техническими свойствами.

ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В последние годы в технологии строительных материалов все шире начинают использоваться принципы работы биосистем с целью разработки строительных биотехнологий и биокomпозитов. Это основано, в частности, на определенных аналогиях в работе, восприятии внешних нагрузок и внутреннем строении объектов живой и неживой природы [11, 12]. Задачами, решаемыми методами биотехнологии в настоящее время, являются создание модификаторов бетонной смеси на основе продуктов микробного синтеза [13], эффективных экологически чистых пенообразователей для ячеистых бетонов на основе местного сырья биологического происхождения [14] и др.

К важнейшим задачам биотехнологии относится создание композиционных материалов строительного назначения на основе древесного и другого растительного сырья. Пьезометрическая обработка или тонкое измельчение сырья с целью придания ему вяжущих свойств в производстве этого типа материалов требует больших энергозатрат. Альтернативой этому способу обработки сырья может быть биотехнологический процесс [15]. Таковы древесные биопластики, изготовленные без добавления токсичных синтетических связующих [16]. В основе их получения лежит направленное энзиматическое воздействие дереворазрушающих грибов на компоненты древесины.

Ферментный комплекс, продуцируемый микромицетами в процессе их жизнедеятельности, подвергает частичному разрушению составляющие древесных клеточных стенок (главным образом гемицеллюлозу и лигнин), высвобождая при этом реакционноспособные группы и активные центры природных полимеров, которые участвуют в образовании новых связей между частицами древесины в процессе формирования пластика. Такие дереворазрушающие грибы, как ксилотрофы, способны за 4–6 сут при температуре 20–29 °С произвести активизацию древесного и другого растительного сырья [17, 18].

В процессе образования пластиков из древесного сырья, подвергавшегося ферментации, вместе с гидролизованной полисахаридами и освобожденным лигнином участвуют и биополимеры, вырабатываемые микроорганизмами [19]. Древесные пластики из биологически активированного сырья получают горячим прессованием при давлении 2,5–3 МПа и температуре 180–200 °С. При плотности 900–1 000 кг/м³ биопластики имеют прочность при изгибе 16–20 МПа, разбухание 15–20 % и хорошие санитарно-гигиенические свойства. Таким образом, применение биологического процесса в производстве материалов без добавления вяжущих позволило избежать измельчения сырья, сократить продолжительность и давление прессования, улучшить физико-механические свойства материала [15, 17].

Совершенствование прочностных и эксплуатационных свойств биопластиков возможно за счет введения в состав сырьевой смеси в качестве «сшивающих» агентов неперекисных кислот (в основном акриловой). Установлено, что инициирование привитой сополимеризации акриловой кислоты с лигнином древесины ведет к повышению прочности и водостойкости модифицированных древесных биокomпозитов на 15–20 %, не оказывая заметного влияния на их экологическую чистоту [16].

Биотехнологические принципы могут быть использованы и при получении древесно-цементных композиций. Эффективным способом предварительной обработки древесного заполнителя может стать процесс его биотрансформации с помощью микроорганизмов. В частности, из практики известно, что длительная выдержка (не менее 2 мес.) древесного сырья в окоренном виде ведет к уменьшению в древесине активных легкогидролизуемых веществ за счет биологических преобразований [20]. Задача современной биотехнологии – интенсификация этого процесса путем специальной обработки древесного заполнителя микроорганизмами, способными разрушать в растительном субстрате гемицеллюлозу, являющуюся связующим звеном между лигнином и целлюлозой. Применение этого способа удаления сахаров из органического заполнителя может повысить прочность древесно-цементных композиций в зависимости от продолжительности обработки в 1,5–3 раза [17, 18]. В качестве таких микроорганизмов предложено использовать некоторые лигнинразрушающие грибы [21]. Эти микроорганизмы, в частности высшие базидиальные грибы белой гнили (штамм *P.tigrinus-144*), способны синтезировать и выделять в окружающую среду комплекс активных целлюлозолитических ферментов, разрушающих боковые цепи гемицеллюлозы, что приводит к освобождению лигнина и появлению большого количества реакционноспособных группировок как в самом лигнине, так и в полисахаридах древесины. Все это положительно влияет на физико-механические свойства и скорость твердения биокомпозита [17, 18].

Важным вопросом при осуществлении биотехнологического процесса является экологическая чистота продукта биоферментации. В работе [21] отмечается, что поскольку грибы белой гнили относятся к съедобным, то строительные материалы, созданные с их помощью, не представляют никакой опасности для человека. Актуальной является и экономическая сторона процесса, а именно стоимость исходной биологической культуры, ее сохранения и воспроизводства. С этой точки зрения использование грибов из природной белой гнили может значительно усложнить технологию древесных композиционных материалов и существенно увеличить их стоимость.

В работе [22] исследован процесс твердофазной ферментации растительного сырья (торфа) микроорганизмами, содержащимися в субстрате животного происхождения – навозе. Биоферментация производилась при температуре 37 °С в течение 1–3 сут, после чего проводилась пастеризация в течение 2 сут при температуре 70–80 °С. В экспериментах зафиксированы высокая целлюлозолитическая активность микроорганизмов, участвующих в процессе ферментации, и наличие этой активности в полученных продуктах. При этом следует отметить, что вследствие пастеризации в продуктах целевого назначения не обнаружено вегетативных форм грибов и энтеробактерий, а общая численность живых микроорганизмов существенно снижена, что служит критерием экологической безопасности продуктов. Немаловажными обстоятельствами выступают также распространенность и сравнительно невысокая стоимость использованного в работе [21] источника ферментативной активности микробного происхождения – навоза.

ВЫВОДЫ

Таким образом, весьма перспективным направлением в разработке способов получения строительных материалов на основе местного растительного сырья (древесных отходов, торфа и др.) является использование микроорганизмов для обработки растительного заполнителя. Совершенствование технологии и улучшение физико-механических свойств материалов на основе древесно-цементных композиций без

энергоёмких процессов подготовки сырья и получения изделий возможно путем обработки древесного заполнителя ферментами микробного происхождения, что приводит к удалению из него нежелательных углеводов. К таким микроорганизмам принадлежат грибы белой гнили (штамм *P.tigrinus-144*), обладающие высокой гемицеллюлазной активностью. В то же время эта культура нуждается в специальных мерах по сохранению и воспроизводству, что усложняет технологию и повышает стоимость строительного материала.

Биоферментация древесного сырья с помощью микроорганизмов, содержащихся в недефицитном субстрате животного происхождения – навозе и обладающих мощным комплексом целлюлозолитических ферментов, приводит к быстрому разрушению как моно- и олиго-, так и полисахаридов типа гемицеллюлозы. Следовательно, данный субстрат может явиться источником микроорганизмов, которые способны к биоферментации древесного заполнителя, заключающейся в удалении из него нежелательных углеводов, т.е. «цементных ядов», что улучшит строительные свойства древесного композита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелевский Н.А. Эффективность переработки строительных отходов // *Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral»*. 2020. № 3. С. 161–166.
2. Разуваев А.В., Кудашева И.О., Костин Д.А. Системы утилизации теплоты энергоустановок как способ энергосбережения // *Молодой ученый*. 2015. № 23.1 (103.1). С. 6–9.
3. Величко Е.Г., Цховребов Э.С. Экологическая безопасность строительных материалов: основные исторические этапы // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. Вып. 1 (100). С. 26–35.
4. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Научно-методологические подходы к созданию модели комплексной системы управления потоками строительных отходов // *Вестник МГСУ*. 2015. № 9. С. 95–110.
5. Петров В.В., Мурашкин В.Г. О необходимости создания единой базы данных перспективных инновационных исследований в строительной отрасли // *Эксперт: теория и практика*. 2021. № 1. С. 11–12.
6. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной промышленности. Л.: Стройиздат, 1990. 414 с.
7. Никитин В.М. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесная промышленность, 1978. 368 с.
8. Десятников М.А. Пути повышения качества и эффективности арболита // *На стройках России*. 1983. № 2. С. 11–16.
9. Сычев М.М. Адгезия цементов // *Цемент*. 1989. № 11. С. 22–27.
10. Кудяков А.И., Пименова Л.Н., Кривда В.В. О контактных взаимодействиях в цементно-древесных композициях на начальной стадии структурообразования // *Известия вузов. Строительство*. 1993. № 11–12. С. 65–70.
11. Шушпанов В.А. Принципы организации биоструктур в строительные материалы // *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Международной научно-технической конференции: в 2 ч*. Пенза: ПГАСА, 1998. Ч. II. С. 79–81.
12. Андреев Е.И. Использование принципов работы биосистем в технологии строительных материалов // *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Международной научно-технической конференции*. Казань, 1996. Ч. I. С. 25–27.

13. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Ревин В.В., Дудынов С.В. Модификаторы бетонной смеси на основе продуктов микробного синтеза // *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Международной научно-технической конференции: в 2 ч.* Пенза: ПГАСА, 1998. Ч. I. С. 7–8.
14. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Киселев Е.В. Пенобетоны на биопене // *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Международной научно-технической конференции: в 2 ч.* Пенза: ПГАСА, 1998. Ч. I. С. 154–157.
15. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Ерофеев В.Т. Строительные биотехнологии и биокомпозиты. М.: МИИТ, 1998. 165 с.
16. Лехина Е.П., Соломатов В.И., Черкасов В.Д. Пути повышения эксплуатационных свойств древесных бипластиков // *Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Международной научно-технической конференции: в 2 ч.* Пенза: ПГАСА, 1998. Ч. I. С. 40–41.
17. Соломатов В.И., Черкасов В.Д. Создание строительных биокомпозитов из древесного и другого растительного сырья. Сообщение 1. Теоретические предпосылки и принципы // *Известия вузов. Строительство.* 1997. № 1–2.
18. Соломатов В.И., Черкасов В.Д. Создание строительных биокомпозитов из древесного и другого растительного сырья. Сообщение 2. Биохимические процессы при разложении древесины лигнинразрушающими грибами и их влияние на свойства композитов // *Известия вузов. Строительство.* 1997. № 3 (459). С. 32–35.
19. Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 276 с.
20. Наназашвили И.Х. Арболит – эффективный строительный материал. М.: Стройиздат, 1984. 125 с.
21. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Ерофеев В.Т. Начало строительной биологии // *Промышленное и гражданское строительство.* 2000. № 3–4. С. 42–43.
22. Рабинович Г.Ю., Ковалев Н.Г., Сульман Э.М. Влияние биодобавок на развитие микроорганизмов-продуцентов метаболитов при экспрессной биоферментации // *Биотехнология.* 1999. № 5. С. 15–17.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В. Биокомпозиты 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.

**CONSTRUCTION BIOCOSCOMPOSITES USING
WOODWORKING WASTE. PART 1 (OVERVIEW)****V.V. Belov***Tver State Technical University (Tver)*

Abstract. The methods of using woodworking waste, the prospects for their use as aggregate for light concretes and other building materials have been studied. Possible technologies for production of construction materials based on chemically and mechanically activated wood aggregate are considered. It has been shown that many of these technologies are quite complex and do not allow obtaining materials with high construction and technical properties. At the same time, it is concluded that provided that unconventional methods of activating wood aggregate are found, including through the use of biotechnology techniques, these wastes, the density of which is significantly lower than the density of traditional aggregates, can serve as an excellent raw material for the production of light concrete and help reduce the cost of extracting natural resources and energy for their processing.

Keywords: woodworking wastes, sawdust concrete, wood aggregate, properties, technology.

REFERENCES

1. Khmelevsky N.A. Efficiency of processing of construction waste. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologii «Integral»*. 2020. No. 3, pp. 161–166. (In Russian).
2. Razuvaev A.V. Kudasheva I.O., Kostin D.A. Heat recovery systems of power plants as a way of energy saving. *Molodoj uchenyj*. 2015. No. 23.1 (103.1), pp. 6–9. (In Russian).
3. Velichko E.G., Tskhovrebov E.S. Ecological safety of building materials: main historical stages. *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12. Iss. 1 (100), pp. 26–35. (In Russian).
4. Tskhovrebov E.S., Velichko E.G. Scientific and methodological approaches to creating a model of an integrated system for managing construction waste flows. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 9, pp. 95–110. (In Russian).
5. Petrov V.V., Murashkin V.G. On the need to create a unified database of promising innovative research in the construction industry. *Ekspert: teoriya i praktika*. 2021. No. 1, pp. 11–12. (In Russian).
6. Nanazashvili I.Kh. *Stroitel'nye materialy iz drevesno-cementnoj promyshlennosti* [Building materials from the wood-cement industry]. L.: Strojizdat, 1990. 414 p.
7. Nikitin V.M. *Himiya drevesiny i cellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978. 368 p.
8. Desyatnikov M.A. Ways to improve the quality and efficiency of wood concrete. *Na strojках Rossii*. 1983. No. 2, pp. 11–16. (In Russian).
9. Sychev M.M. Adhesion of cements. *Cement*. 1989. No. 11, pp. 22–27. (In Russian).
10. Kudyakov A.I., Pimenova L.N., Krivda V.V. On contact interactions in cement-wood compositions at the initial stage of structure formation. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1993. No. 11–12, pp. 65–70. (In Russian).
11. Shushpanov V.A. Principles of organizing biostructures in building materials. *Modern problems of building materials science: Materials of the International scientific and technical conference: in 2 p.* Penza: PGASA, 1998. P. II, pp. 79–81. (In Russian).

12. Andreev E.I. Using the principles of biosystems in the technology of building materials. *Modern problems of building materials science: Materials of the International scientific and technical conference: in 2 p.* Kazan, 1996. P. I, pp. 25–27. (In Russian).
13. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Revin V.V., Dudynov S.V. Concrete mix modifiers based on microbial synthesis products. *Modern problems of building materials science: Materials of the International scientific and technical conference: in 2 p.* Penza: PGASA, 1998. P. I, pp. 7–8. (In Russian).
14. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Kiselev E.V. Foam concrete on biofoam. . *Modern problems of building materials science: Materials of the International scientific and technical conference: in 2 p.* Penza: PGASA, P. I, pp. 154–157. (In Russian).
15. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Erofeev V.T. Stroitel'nye biotekhnologii i biokompozity [Building biotechnologies and biocomposites]. Moscow: MIIT, 1998. 165 p.
16. Lekhina E.P., Solomatov V.I., Cherkasov V.D. Ways to improve the performance properties of wood bioplastics. *Modern problems of building materials science: Materials of the International scientific and technical conference: in 2 p.* Penza: PGASA, P. I, pp. 40–41. (In Russian).
17. Solomatov V.I., Cherkasov V.D. Creation of building biocomposites from wood and other plant raw materials. Message 1. Theoretical background and principles. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo.* 1997. No. 1–2. (In Russian).
18. Solomatov V.I., Cherkasov V.D. Creation of building biocomposites from wood and other plant raw materials. Message 2. Biochemical processes during the decomposition of wood by lignin-destroying fungi and their influence on the properties of composites. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo.* 1997. No. 3 (459), pp. 32–35. (In Russian).
19. Ripachek V. Biologiya derevorazrushayushchih gribov [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1967. 276 p.
20. Nanazashvili I.Kh. Arbolit – effektivnyj stroitel'nyj material [Arbolite is an effective building material]. Moscow: Strojizdat, 1984. 125 p.
21. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Erofeev V.T. The Beginning of Building Biology. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo.* 2000. No. 3-4, pp. 42–43. (In Russian).
22. Rabinovich G.Yu., Kovalev N.G., Sulman E.M. Influence of bioadditives on the development of microorganisms-producers of metabolites during express biofermentation. *Biotekhnologiya.* 1999. No. 5, pp. 15–17. (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, FSBEI HE «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 1 (overview) // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology».* 2023. No. 1 (17), pp. 14–26.