

Исследование влияния термической модификации древесины на адгезионные и прочностные свойства древесно-цементной композиции

Василий Юрьевич Чернов, Евгений Сергеевич Шарапов,
Елена Михайловна Мальцева, Екатерина Николаевна Пегушина

Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ); г. Йошкар-Ола, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследуются адгезионные показатели и факторы, оказывающие влияние на формирование композиции термически модифицированной древесины (ТМД) и цемента. Результаты направлены на создание нового материала с улучшенными эксплуатационными свойствами, который получил название термодревбетон (ТДБ).

Материалы и методы. Применены адаптированные стандартные методики исследования адгезии (сцепления) цементно-песчаного раствора с основанием из ТМД и прочности на сжатие цементно-песчаного раствора, полученного на водах, настоянных на различных видах древесины и ТМД. Рассмотрено влияние следующих факторов: интенсивности (классы) термической модификации, породы древесины, способов формирования раствора, содержания цементного вяжущего, степени очистки и влажности поверхности ТМД, наличия финальной тепловлажностной обработки образцов.

Результаты. Наилучшими показателями сцепления с ТМД обладал цементно-песчаный раствор с повышенным содержанием цементного вяжущего, небольшое улучшение прочности адгезии показало дополнительное применение раствора ПВА-эмульсии. В целом при одинаковых условиях натуральная древесина имела более высокую адгезию по сравнению с ТМД. К негативным факторам были отнесены предварительное увлажнение термически модифицированной древесины, очистка и выравнивание (строжка) ее поверхности, использование хвойной ТМД. В исследованиях прочности цементно-песчаного раствора наименьший показатель имел раствор с добавлением ПВА-эмульсии, по остальным факторам, а именно по степени очистки воды после настаивания на ТМД и натуральной древесине, выявлено незначительное отличие по сравнению с раствором, полученным на чистой технической воде.

Выводы. ТМД цементная композиция имеет меньшее усилие сцепления в сравнении с натуральной древесиной. Это связано с совместным влиянием низкой гигроскопичности и низкой смачиваемости (отталкивающей способности) поверхности ТМД. Промывка термически модифицированного заполнителя нецелесообразна ввиду ухудшения адгезионных свойств заполнителя в ТДБ. Для повышения сцепления компонентов рекомендуется применять растворы с повышенным содержанием цементного вяжущего.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: адгезия цементно-песчаного раствора, прочность цементно-песчаного раствора, термодревбетон, ТДБ, термически модифицированная древесина, ТМД, ТМД цементная композиция

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00098 (URL: <https://rscf.ru/project/22-79-00098/>) с использованием оборудования ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола, соглашение № 075-15-2021-674/3.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чернов В.Ю., Шарапов Е.С., Мальцева Е.М., Пегушина Е.Н. Исследование влияния термической модификации древесины на адгезионные и прочностные свойства древесно-цементной композиции // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1394–1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1394-1407

Автор, ответственный за переписку: Василий Юрьевич Чернов, chernovvy@volgatech.net.

Effect of thermal modification of wood on adhesion and strength properties of wood-cement composition

Vasilij Yu. Chernov, Evgenij S. Sharapov, Elena M. Mal'ceva, Ekaterina N. Pegushina
Volga State University of Technology (VSUT); Yoshkar-Ola, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The adhesion properties and factors influencing the formation of the composition of thermally modified timber (TMT) and cement are investigated. The results were focused on the creation of a new material with improved service properties, which is named thermo-wood concrete (TWC).

Materials and methods. Adapted standard methods to assess the adhesion of sand-cement mortar with TMT and

compressive strength of sand-cement mortar obtained on waters infused with different types of wood and TMT were applied. The influence of the following factors was considered: the intensity (classes) of wood thermal modification, wood species, mortar formation method, cement binder content, wood surface conditions and moisture content of TMT, the presence of final steam curing of specimens.

Results. The sand-cement mortar with a high content of cement binder had the highest adhesion with TMT. PVA-emulsion solution resulted in additional slight improvement of the sand-cement mortar and TMT adhesion. In general, unmodified (natural) wood had higher adhesion in comparison with TMT under the same conditions. Negative factors included premoistening of thermally modified timber surface, cleaning and leveling of its surface and the use of coniferous species for TMT specimens. The strength of sand-cement mortar was the lowest for specimens with addition of PVA-emulsion. Factor of water purification after infusion with TMT and unmodified wood had insignificant effect on strength of sand-cement mortar.

Conclusions. TMT-cement composition had a lower adhesive force in comparison with unmodified wood. This is due to the combined effect of low hygroscopicity and wettability of the TMT surface. Water washing of the TMT is inappropriate due to deterioration of adhesion properties of the filler in TWC. To increase the adhesion of the components, it is recommended to use mortars with a high content of cement binder.

KEYWORDS: adhesion of sand-cement mortar, strength of sand-cement mortar, thermo-wood concrete, TWC, thermally modified timber, TMT, TMT-cement composition

Acknowledgements. The research work was supported by the Russian Science Foundation (RSF, No. 22-79-00098) (URL: <https://rscf.ru/en/project/22-79-00098/>) using equipment of the Core Facility Centre “Ecology, biotechnologies and processes for obtaining environmentally friendly energy carriers” of Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola (No. 075-15-2021-674/3).

FOR CITATION: Chernov V.Yu., Sharapov E.S., Mal'ceva E.M., Pegushina E.N. Effect of thermal modification of wood on adhesion and strength properties of wood-cement composition. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1394-1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1394-1407 (rus.).

Corresponding author: Vasilij Yu. Chernov, chernovvy@volgatech.net.

ВВЕДЕНИЕ

По сравнению с классическими минеральными заполнителями бетонов (такими как гранитный щебень и отсев, песок речной или карьерный, гравий, песчано-гравийная смесь или обогащенная песчано-гравийная смесь и т.д.) измельченная древесина в натуральном виде оказывает негативное влияние на процесс гидратации цементных вяжущих, в результате чего получают готовые строительные материалы и изделия с невысокими механическими и эксплуатационными свойствами [1–5]. Основной причиной этого является воздействие гемицеллюлозы, крахмала и экстрактивных веществ, содержащихся в натуральной древесине, на протекание процесса образования цементного камня (ЦК) в древесно-цементных композициях [6–9]. При этом установлено как снижение общей прочности получаемого материала, так и существенное снижение интенсивности (замедление) набора прочности при выдержке бетонов [10–12].

В патенте RU № 2790390 (Способ изготовления термодревбетона / В.Ю. Чернов и др.) предложена разработка древесно-цементных композиций в виде бетона, где в качестве крупного заполнителя выступает термически модифицированная древесина. Первые разработки и исследования нового материала осуществлялись в производственных условиях на участке термической и механической обработки ООО «НовЛесТех» (ныне — Научно-производственное объединение «Маритермодревиндустрия»), основная деятельность которого заключается в термической модификации древесины. Разработанный материал получил название термодревбетон (ТДБ). Суть идеи состоит в том, что при создании композиционного материала с использованием гидравлических вяжущих веществ и включением крупных

заполнителей из термически модифицированной древесины (ТМД) вместо натуральной древесины композиция приобретает улучшенные эксплуатационные свойства [13–19] благодаря:

- существенному снижению содержания экстрактивных веществ, в том числе различных органических кислот, являющихся «цементными ядами»;
- уменьшению степени гигроскопичности и, как следствие, улучшению стабильности формы и размеров в процессе эксплуатации;
- повышению сопротивляемости образованию грибных поражений в заполнителе;
- увеличению пористости, снижению плотности и, соответственно, улучшению тепло- и звукоизоляционных свойств;
- уничтожению скрытых источников биологических повреждений, что актуально для низкосортной древесины и отходов лесопиления.

Первые сравнительные исследования по определению прочности на сжатие (марочной прочности), теплопроводности на первых образцах представлены в работе [20]. Было установлено, что наиболее перспективно применение нестандартных размеров древесного крупного заполнителя от 10 до 25 мм и толщиной не менее 5 мм. Это связано с более низким водопоглощением крупными частицами заполнителя из ТМД по сравнению с тонкими заполнителями, имеющими стандартную толщину до 3 мм. Определено, что использование тонкоизмельченного заполнителя как из натуральной древесины, так и из ТМД, негативно влияет на набор прочности материала после формования и на гигроскопичность готового материала. Интерес вызывают и экспериментальные данные о закономерности набора температуры при воздействии источника тепла, характеризующие теплопроводные свойства

материала. Здесь ТДБ показал результаты, примерно схожие с газобетоном, как одним из наиболее современных и эффективных конструктивных строительных материалов, представленных на рынке. При этом прочность ТДБ по результатам исследований в разы превосходила прочность газобетона. Также прочность и теплопроводность ТДБ имела показатели выше, чем у наиболее близкого аналога — керамзитобетона.

При создании нового материала авторы столкнулись с тем, что, как правило, нет или слабо представлены данные о его свойствах и влиянии различных факторов на эти свойства, о технологических и рецептурных параметрах [21–26], отсутствуют экспериментально апробированные теоретические расчетные методики. На начальном этапе важную роль играют поисковые исследования, заключающиеся в экспериментальном определении влияния различных факторов на свойства разрабатываемого материала. Поэтому для определения фундаментальных основ закономерностей образования ТМД цементной композиции первоначально следует выполнить экспериментальные исследования адгезионных (прочностных) свойств ТМД и ЦК.

Цель исследования — определение влияния факторов, относящихся к особенностям процесса термической модификации и особенностям древесины, послужившей сырьем для производства ТМД, на адгезионные свойства (прочность сцепления) при создании ТМД цементной композиции.

При создании древесно-цементной композиции основными причинами ее невысокой общей прочности могут быть:

- 1) снижение прочности сцепления на границе поверхности древесины и цементно-песчаного раствора (слоя);
- 2) снижение прочности непосредственно самого цементно-песчаного раствора (ЦК);
- 3) уменьшение интенсивности набора прочности композиции в зависимости от времени выдержки.

Поскольку третий фактор относится к промышленным основам процесса изготовления ТДБ, данная работа посвящена изучению первых двух причин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика исследования прочности сцепления (адгезии) цементно-песчаного раствора с ТМД

Для определения влияния факторов, относящихся к особенностям процесса термической мо-

дификации и полученной ТМД, на адгезионные свойства за основу взята методика испытаний раствора с основанием по ГОСТ Р 58277–2018, предполагающая изготовление слоя из раствора на основе цементного вяжущего, его размещения (приклеивания) на бетонной поверхности в виде диска диаметром 50 мм и толщиной от 3 до 10 мм. После выдержки на образцах измеряется усилие отрыва. Для этого на свободную поверхность испытываемого слоя раствора приклеивается металлический диск с анкером (штамп), далее этот штамп закрепляют в испытательной установке и включают ее на растяжение. В результате работы происходит отрыв, фиксируются усилие отрыва и характер разрыва.

В связи с отличием свойств ТМД от стандартных заполнителей растворов и бетонов для достижения более точных и эффективных результатов измерений метод модернизирован. В качестве основания были подготовлены образцы из термически модифицированных обрезных досок (заготовок) с размерами $22 \times 70 \times 100$ мм.

Образцы изготавливались следующим образом (рис. 1):

- 1) подготавливался цементно-песчаный раствор с необходимым классом прочности, содержанием воды;
- 2) на центральную часть заранее подготовленного основания из ТМД выкладывался слой раствора и с помощью кольца и шпателя придавалась правильная цилиндрическая форма;
- 3) второе основание прикладывалось сверху параллельно нижнему и придавливалось легкими постукиваниями;
- 4) полученный образец (рис. 2) помещался в климатический шкаф и предварительно переворачивался так, чтобы верхнее основание оказалось снизу, а нижнее — сверху;
- 5) выдерживание осуществлялось первые 7 суток при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 95 %, затем в течение 21 суток при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 60 %. Общее время выдержки 28 суток.

Для поискового исследования влияния различных факторов на прочность сцепления древесно-цементной композиции в соответствии со стандартом подготовлены 10 групп образцов, в каждой группе по 10 образцов, что соответствует требованиям стандартной методики испытаний (не менее 5 шт.). В качестве базовых образцов использованы заготовки, изготовленные из термически модифицирован-

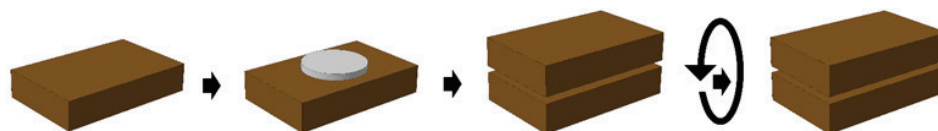


Рис. 1. Последовательность изготовления образцов для исследования адгезии цементно-песчаного раствора с основанием из ТМД

Fig. 1. Sequence of making specimens to study adhesion of sand-cement mortar with TMT substrate



Рис. 2. Экспериментальный образец после изготовления

Fig. 2. Experimental specimen after production

ной древесины осины (*Pópulus trémula*), полученные при температурах обработки 180–185 °С в среде перегретого пара в автоклавных установках промышленного назначения. Заготовки выполнены нестрогаными. Для склеивания оснований применялся цементно-песчаный раствор, полученный смешиванием из портландцемента М500 (маркировка 42,5Н (ЦЕМ II/A-K)) (ГОСТ 25328–82), очищенный карьерный песок I класса мелкой и средней фракции (ГОСТ 8736–2014) и техническая вода (ГОСТ 23732–2011) в соответствующих пропорциях для получения раствора класса В12,5 (М150). Раствор изготавливался пластичностью, соответствующей кладочному раствору. Остальные группы образцов изготавливались с отклонениями от указанных параметров с целью определения влияния различных

факторов на прочность адгезии ТМД и цементно-песчаного раствора (табл. 1).

В соответствии со стандартной методикой расчет прочности сцепления осуществлялся по величине усилия отрыва и площади контакта между слоем раствора и оторванному основанию. Как правило, из двух оснований отрывалось одно, имеющее наименьшую прочность сцепления. Эта величина бралась для расчета прочности сцепления A_p , МПа:

$$A_i = \frac{F}{S},$$

где F — максимальная сила отрыва образца от основания, Н; S — площадь контакта поверхности образца с основанием, мм².

За результат испытания принимают среднearифметическое значение результатов испытания всех образцов A , МПа:

$$A = \frac{(A_1 + \dots + A_n)}{n}.$$

Поскольку усилие отрыва на пробных образцах ТМД составляло всего от 40 до 250 г, имеющаяся универсальная испытательная машина (УИМ) SHIMADZU 50 кН не подходила ввиду большей чувствительности тензодатчика по сравнению с требуемым диапазоном измерений. Поэтому использованы портативные электронные весы с чув-

Табл. 1. Описание особенностей изготовления отдельных групп экспериментальных образцов на определение прочности адгезии

Table 1. Groups of specimens with conditions and preparation methodology for adhesion test

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
1-1	Образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Aspen TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Базовые образцы — образцы и класс термической модификации, принятые в качестве основных при последующем изготовлении экспериментальных образцов термодревбетона. В данном случае используется порода осины (<i>Pópulus trémula</i>) как представитель наиболее часто встречаемых мягколиственных пород средней полосы России Basic specimens — specimens and class of thermal modification adopted as the main ones for the subsequent production of experimental specimens of TMT. In this case aspen (<i>Pópulus trémula</i>) is used as a representative of the most common soft-leaved species of the middle zone of Russia
2-1	Образцы ТМД сосны с температурой обработки 180–185 °С Pine TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Сравнимые образцы. Используется сосна (<i>Pinus sylvestris</i>) как представитель наиболее часто встречаемых хвойных пород средней полосы России Compared specimens. Pine (<i>Pinus sylvestris</i>) is used as a representative of the most common coniferous species of the middle zone of Russia
3-1	Образцы ТМД осины с температурой обработки 160–165 °С Aspen TMT specimens with treatment temperature of 160–165 °С	Сравнимые образцы. Определение влияния класса термической модификации на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем Compared specimens. Determination of the influence of the thermal modification class on the adhesion strength of TMD with cement stone

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
4-1	Дополнительно вымытые образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Additionally washed aspen TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Установление факта очистки (промывки) поверхности от загрязнения на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем. Промывка проводилась путем выдерживания образцов под струей проточной воды до момента ее полного осветления. Далее ТМД при изготовлении образцов не высушивалась, а использовалась в сыром виде Compared specimens. Determination of the fact of cleaning (washing) of the surface from contamination on the adhesion strength of TMT with cement stone. Washing was carried out by keeping the specimens under a stream of running water until its complete clarification. Further TMT was not dried during the manufacture of specimens, but was used in raw form
5-1	Дополнительно вымытые и обработанные грунтом образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Additionally washed and primed aspen TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы, аналогичные образцам 4-1. Однако поверхности ТМД дополнительно обрабатывались 5%-ным раствором поливинилацетатной эмульсии (клей ПВА строительно-бытовой) с целью образования грунтовочного слоя на поверхности древесины для цементно-песчаного раствора Specimens compared were similar to specimens 4-1. However, TMT surfaces were additionally treated with 5 % solution of polyvinyl acetate emulsion (PVA construction glue) in order to form a priming layer on the wood surface for sand-cement mortar
6-1	Строганные образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Planed aspen TMT specimens with treatment temperature 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Определение влияния шероховатости обработки на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем Compared specimens. Determination of the influence of roughness of processing on the adhesion strength of TMT with cement stone
7-1	Образцы древесины осины в натуральном виде Specimens of aspen wood in its natural form	Сравниваемые образцы. Установление общего влияния термической модификации на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем Comparison specimens. Determination of the overall effect of thermal modification on the adhesion strength of TMT with cement stone
8-1	Образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С, склеиваемые цементно-песчаным раствором высокой марочной прочностью Aspen TMT specimens with treatment temperature 180–185 °С, bonded with sand-cement mortar of high quality strength	Сравниваемые образцы. Выявление факта влияния повышенного содержания цементного вяжущего (класса раствора) на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем. Изготовлен раствор В40 (М500) Compared specimens. Detection of the effect of increased cement binder content (mortar class) on the adhesion strength of TMT with cement stone. Made mortar В40 (М500)
9-1	Образцы, выдержанные в паровоздушной среде, изготовленные из ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Specimens kept in a vapour-air environment, made of aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Определение влияния стандартной тепловлажностной обработки готовых изделий для ускорения процесса твердения раствора (пропаривание изделий при нормальном давлении и температуре 60–80 °С) Compared specimens. Determination of the influence of standard steam curing of finished products to accelerate the mortar hardening process (steaming of products at normal pressure and temperature 60–80 °С)
10-1	Образцы, полученные путем склеивания под давлением полусухим цементно-песчаным раствором ТМД с температурой обработки 180–185 °С Specimens obtained by pressure bonding with semi-dry sand-cement mortar TMT with treatment temperature 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Выявление влияния способа формования, а именно прессование полусухого раствора как аналог вибропрессования. Операция склейки выполнялась ударными воздействиями на промежуточный слой при формовании в конических кольцах и на второе основание при его укладке сверху Compared specimens. Identification of the influence of the moulding method, namely semi-dry mortar pressing as an analogue of vibro-pressing. The bonding operation was performed by impact on the intermediate layer when moulded in conical rings and on the second base when placed on top of it

ствительностью измерения 5 г, или 0,049 Н (Portable electronic scale) и диапазоном измерений 0–30 кг, или 0–294 Н. Однако для равномерного приложения усилия на отрыв была использована указанная универсальная испытательная машина. Она обеспечивает равномерное перемещение траверсы со скоростью 1 мм/мин. Для крепления образцов применялись специально изготовленная оснастка для жесткого крепления нижнего основания и две гибкие петли для зацепления верхнего основания и его соединения с крючком электронных весов. Вследствие естественной погрешности изготовления образцов (непрямолинейность дощечек оснований, непараллельность их склейки, варьирование толщины цементно-песчаного раствора (слоя) и т.д.) петли выполнены из гибкого материала — шпагата полипропиленового. Их использование на пробных образцах показало лучшую точность измерения по сравнению с жесткими креплениями, что связано с более легким и простым их закреплением, настройкой под каждый образец и последующим равномерным натяжением в процессе работы (рис. 3).

Методика исследования влияния воды, контактирующей с древесиной, на прочность цементно-песчаного раствора

Для определения влияния растворенных в воде веществ на прочность цементно-песчаного раствора, а именно воды, полученной после контакта и настаивания на древесине в натуральном виде, а также на неочищенной и промытой ТМД, разработана методика, включающая вымачивание указанных

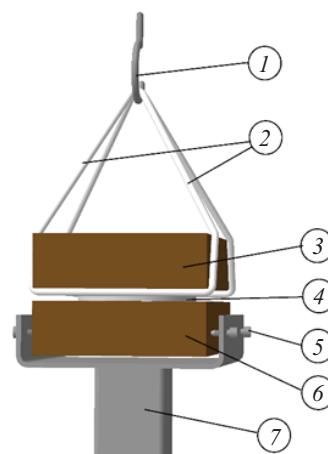


Рис. 3. Схема закрепления экспериментальных образцов в процессе исследования: 1 — крюк портативных электронных весов; 2 — шпагат полипропиленовый; 3 — верхнее основание образца; 4 — слой цементно-песчаного раствора; 5 — зажимные винты (4 шт.) для крепления нижнего основания образца; 6 — нижнее основание образцов; 7 — кронштейн крепления оснастки к нижней траверсе универсальной испытательной машины

Fig. 3. Scheme of fixing experimental specimens in the process of research: 1 — hook of portable electronic scales; 2 — polypropylene twine; 3 — upper specimen base; 4 — layer of sand-cement mortar; 5 — clamping screws (4 pcs.) for fixing the lower specimen base; 6 — lower specimen base; 7 — bracket for fixing the equipment to the lower crossbeam of the universal testing machine

Табл. 2. Описание особенностей изготовления отдельных групп экспериментальных образцов на определение прочности сжатия

Table 2. Groups of specimen with conditions and preparation methodology for compression test

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
1-2	Цементно-песчаный раствор на чистой технической воде Sand-cement mortar with pure technical water	Стандартная технология изготовления раствора различного назначения Standard technology for the production of mortar for various purposes
2-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на натуральной древесине Sand-cement mortar based on water obtained by infusion with natural wood	Использовалась для вымачивания (настаивания) пиленая древесина хвойных и лиственных пород. Частично соответствует группе 7-1 Sawed coniferous and hardwood was used for soaking (infusion). Partially corresponds to group 7-1
3-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на ТМД Sand-cement mortar based on water obtained by infusion with TMT	Применялась для вымачивания пиленая ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С. Соответствует группе 1-1 Sawn aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °C was used for soaking. Conforms to group 1-1
4-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на промытой (очищенной) ТМД Sand-cement mortar based on water obtained by infusion with washed (purified) TMT	Использовалась для вымачивания промытая пиленая ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С. Соответствует группе 4-1 Washed sawn aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °C was used for soaking. Conforms to group 4-1

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
5-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на ТМД с добавлением строительной ПВА эмульсии Sand-cement mortar on water obtained by infusion with TMT with the addition of PVA emulsion	Применялась для вымачивания пиленая ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С. В цементно-песчаный раствор был добавлен 5%-ный раствор поливинилацетатной эмульсии. Соответствует группе 5-А Sawn aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °C was used for soaking. A 5 % solution of polyvinyl acetate emulsion was added to the sand-cement mortar. Corresponds to group 5-A

материалов и последующее приготовление на них цементно-песчаного раствора.

Исследование выполнялось на пяти группах образцов. Описание каждой группы представлено в табл. 2. Образцы изготавливались следующим образом:

1) настаивание воды на древесине указанных видов в течение 12 ч при температуре окружающей среды 20 °С;

2) изготовление образцов из цементно-песчаного раствора класса В12,5 (М150) кубической формы размерами 70 × 70 × 70 мм;

3) выдерживание первые 7 сут при температуре 20 °С и относительной влажности 95 %, а затем в течение 21 сут при температуре 20 °С и относительной влажности 60 %. Общее время выдержки 28 сут.

Испытания проводились также с помощью машины SHIMADZU 50 кН. Расчет предела прочности раствора на сжатие R , МПа, выполнялся согласно ГОСТ Р 58767–2019:

$$R_i = \frac{P}{A},$$

где P — разрушающая нагрузка, Н; A — рабочая площадь сечения образца, мм².

За результат испытания также принимают среднеарифметическое значение результатов испытания всех образцов R , МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения показателей прочности адгезии раствора с основанием из ТМД была пересчитана сила отрыва из $\Gamma \times C$, Н, и вычислена площадь контакта раствора с основанием. Обобщенные основные результаты исследования прочности адгезии цементно-песчаного раствора и основания по всем группам образцов представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Для получения показателей прочности раствора на сжатие вычислена рабочая площадь сечения образца. Обобщенные основные результаты исследования прочности адгезии цементно-песчаного раствора и основания по всем группам образцов представлены в табл. 4 и на рис. 5.

Исследования показали существенно более высокие показатели сцепления (адгезии) цементно-песчаного раствора класса В12,5 (М150) с натуральной древесиной (группа 7-1) по сравнению со всеми видами ТМД (группа 2-1–6-1, 9-1 и 10А).

Табл. 3. Основные статистические показатели прочности адгезии цементно-песчаного раствора и основания

Table 3. Main statistical data for adhesion test between sand-cement mortar and thermally modified timber

Статистические показатели прочности сцепления, МПа Statistical indicators of bond strength, MPa	Группы образцов / Specimen groups									
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1
Среднее A Average A	0,0043	0,0006	0,0009	0,0003	0,0020	0,0006	0,0089	0,0119	0,0005	0,0015
Максимальное Maximum	0,0135	0,0026	0,0019	0,0006	0,0149	0,0012	0,0272	0,0203	0,0312	0,0046
Минимальное Minimum	0,0003	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0001	0,0013	0,0007	0,0000	0,0028
Стандартное отклонение Standard deviation	0,0048	0,0008	0,0006	0,0002	0,0046	0,0044	0,0087	0,0075	0,0010	0,0013

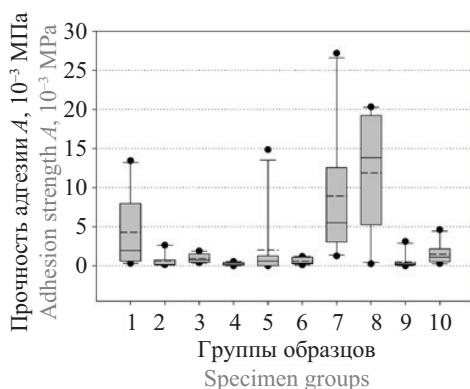


Рис. 4. Диаграмма размаха прочности адгезии цементно-песчаных растворов и древесных оснований

Fig. 4. Box-plots of adhesion strength between sand-cement mortar and thermally modified timber

Наилучший показатель адгезии показали образцы (группа 8-1), цементно-песчаный слой которых изготовлен из раствора В40 (М500) с повышенным содержанием портландцемента. Именно данный раствор показал прочность на 25 % выше прочности адгезии с натуральной древесиной цементно-песчаного раствора класса В12,5 (М150) и на 64 % выше прочности адгезии раствора того же класса с ТМД.

Наименьшую прочность сцепления продемонстрировали группы образцов 4-1, 9-1, 6-1 и 2-1. Выявлено, что предварительное смачивание поверхности ТМД, последующая тепловлажностная обработка (прогрев), предварительная строжка поверхности, а также использование хвойной ТМД отрицательно влияют на силу сцепления раствора с древесиной. Это объясняется, во-первых, тем, что при предварительном смачивании ТМД происходит обогащение поверхностных слоев водой, в результате чего процесс гидратации цемента и образования ЦК происходит с меньшим проникновением цементных зерен в поверхностные микрослои ТМД по сравнению с сухой поверхностью, в которой после укладки раствора под действием капиллярных сил древесины наблюдается естественное притяжение воды и цементного раствора. Во-вторых, негативное влияние на силу сцепления оказывает последующий процесс естественного высыхания поверхности древесины, протекающий совместно с твердением раствора, создающий в ней отрицательную (выталкивающую) капиллярную силу. В-третьих, ТМД характеризуется более низким показателем равновесной влажности в сравнении с натуральной древесиной. При стандартных условиях

Табл. 4. Основные статистические показатели прочности на сжатие цементно-песчаных растворов

Table 4. Main statistical data for sand-cement mortar compression test

Статистические показатели прочности на сжатие, МПа Statistical indicators of compressive strength, MPa	Группы образцов / Specimen groups				
	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2
Среднее R Average R	5,25	5,98	5,77	5,32	1,25
Максимальное Maximum	6,29	8,50	9,39	7,82	1,81
Минимальное Minimum	3,39	3,91	3,91	2,66	0,87
Стандартное отклонение Standard deviation	0,87	1,43	1,49	1,85	0,32

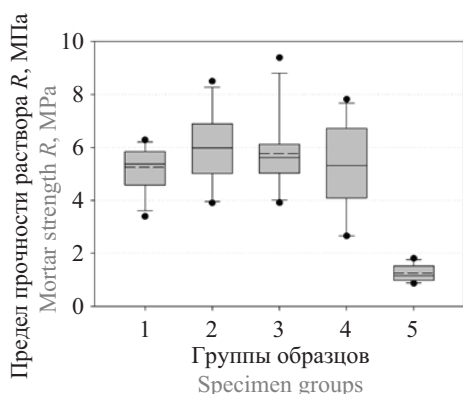


Рис. 5. Диаграмма размаха прочности при сжатии цементно-песчаных растворов

Fig. 5. Box-plots of sand-cement mortar compression strength

($T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\phi = 60 \pm 5 \%$) он составляет у ТМД 2–4 % против 12 % у натуральной древесины. Тепловлажностная обработка, как и процесс сушки древесины, также создает выталкивающую силу, стремящуюся вывести избыток воды и влаги из древесины вместе с цементными зернами.

Строганая поверхность ТМД наряду с более худшей смачиваемостью имеет меньшую шероховатость и, соответственно, меньшую адгезию с ЦК.

У хвойной древесины низкая адгезия может быть обусловлена большей смолистостью, которая в процессе термической модификации была разнесена агентом (перегретым паром) и осажена на поверхности древесины. Для уточнения данного предположения необходимо провести сравнительные экспериментальные исследования с промывкой (очищенной) хвойной ТМД.

Таким образом, исследуя на элементарном уровне взаимодействие ТМД и ЦК как в термодревбетоне, так в других древесно-цементных композициях, следует уделить основное внимание содержанию цементного вяжущего в растворах и породному составу термически модифицированного древесного заполнителя.

Цементно-песчаные растворы, приготовленные на разных водах (рис. 6, 7), показали несущественное отличие по прочности на сжатие.

Несмотря на то что практикующие строители дают положительные рекомендации по использованию ПВА-эмульсии для достижения повышенных

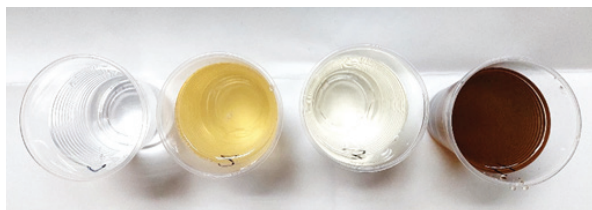


Рис. 6. Вода для приготовления цементно-песчаного раствора, слева-направо: чистая техническая вода; настоянная на натуральной древесине; настоянная на промытой (очищенной) ТМД и настоянная на ТМД (неочищенная)

Fig. 6. Water for sand-cement mortar specimen preparation (left to right): clean water; water infused with unmodified pine wood; water infused with cleaned thermally modified timber; water infused with original thermally modified timber

адгезионных, пластичных и прочностных свойств растворов и бетонов, было установлено, что применение 5%-ного раствора поливинилацетатной эмульсии негативно влияет на прочность материала. То есть речь идет о существенно меньшей концентрации эмульсии по сравнению с рекомендациями, где соотношение указывается не к объему воды для приготовления, а к объему приготавливаемого раствора или бетона. Образцы, полученные с добавлением раствора ПВА-эмульсии, имели прочность на сжатие 1,25 МПа, что на 76 % ниже прочности стандартного раствора, равного 5,25 МПа.

С точки зрения химического состава такая закономерность может быть объяснена тем, что поливинилацетат, входящий в указанную эмульсию, является сложным эфиром, состоящим из поливинилового спирта и уксусной кислоты, которая, в свою очередь, имеет негативное влияние на цементные растворы и бетоны. Также уксусная кислота и другие органические растворители, присутствующие в древесине, служат хорошим растворителем поливинилацетата, ввиду чего могут проходить реакции его разложения, что, в свою очередь, также негативно влияет на процесс гидратации цемента и набора прочности, как и в экспериментальном растворе (группа 5-2). Следует учитывать возможное влияние других веществ и добавок, входящих в состав поливинилацетатной эмульсии, однако таких данных нет. Их доля в эмульсии небольшая, по сравнению

с поливинилацетатом около 5–15 %. Для уточнения реального влияния поливинилацетатной эмульсии и других добавок на цементные растворы и бетоны требуется проведение углубленных исследований как на чистой технической воде, так и на воде, контактирующей (настоянной) на различных разновидностях (класс модификации, порода и т.д.) ТМД.

Интерес также вызывают результаты исследования, полученные по группам образцов с 1-2 по 4-2. В соответствии с предположением о снижении количества экстрактивных веществ в процессе модификации и последующей промывки, а также с утверждением об общем негативном влиянии экстрактивных веществ на процесс гидратации цемента, прочность на сжатие должна была иметь абсолютно обратную закономерность и располагаться по возрастанию следующим образом:

- 1) на натуральной древесине — группа 2-2;
- 2) на ТМД (неочищенной) — группа 3-2;
- 3) на промытой ТМД (очищенной) — группа 4-2;
- 4) на чистой технической воде — группа 1-2.

Имеются результаты, характеризующие значительное замедление интенсивности набора прочности цементных растворов в композиции с натуральной древесиной. Таким образом, необходимы исследования не только прочности полностью затвердевших и выдержанных в течение 28 суток растворов и бетонов, но и изучение динамики набора прочности. Это обусловлено научно-практическим интересом в области технологии создания ТДБ, а именно разработки способов изготовления и путей интенсификации промышленных процессов производства качественного термодревбетона, изделий и конструкций из него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании термически модифицированной древесины в качестве заполнителя в ТДБ и других древесно-цементных композициях следует учитывать меньшую по сравнению с обычной древесиной смачиваемость, что негативно влияет на адгезионные свойства заполнителя и ЦК. Выявлено, что прочность сцепления ТМД по сравнению с древесиной в натуральном виде ниже на 52 % и составляет 0,0043 МПа. Более низкие показатели имела ТМД сосны (хвойные), полученная при том же классе термической модификации (180–185 °С).

Также установлено, что негативное влияние имеет предварительное увлажнение или смачивание ТМД, которое может происходить во время хранения сырья или в процессе предварительного очищения путем промывки. Особенности протекания процессов гидратации цементных вяжущих связаны с худшим поверхностным проникновением растворенных цементных зерен в поверхностные микропоры вымоченной ТМД по сравнению с сухой.

ТМД, полученная при более низком классе термической модификации (160–165 °С), не отличается

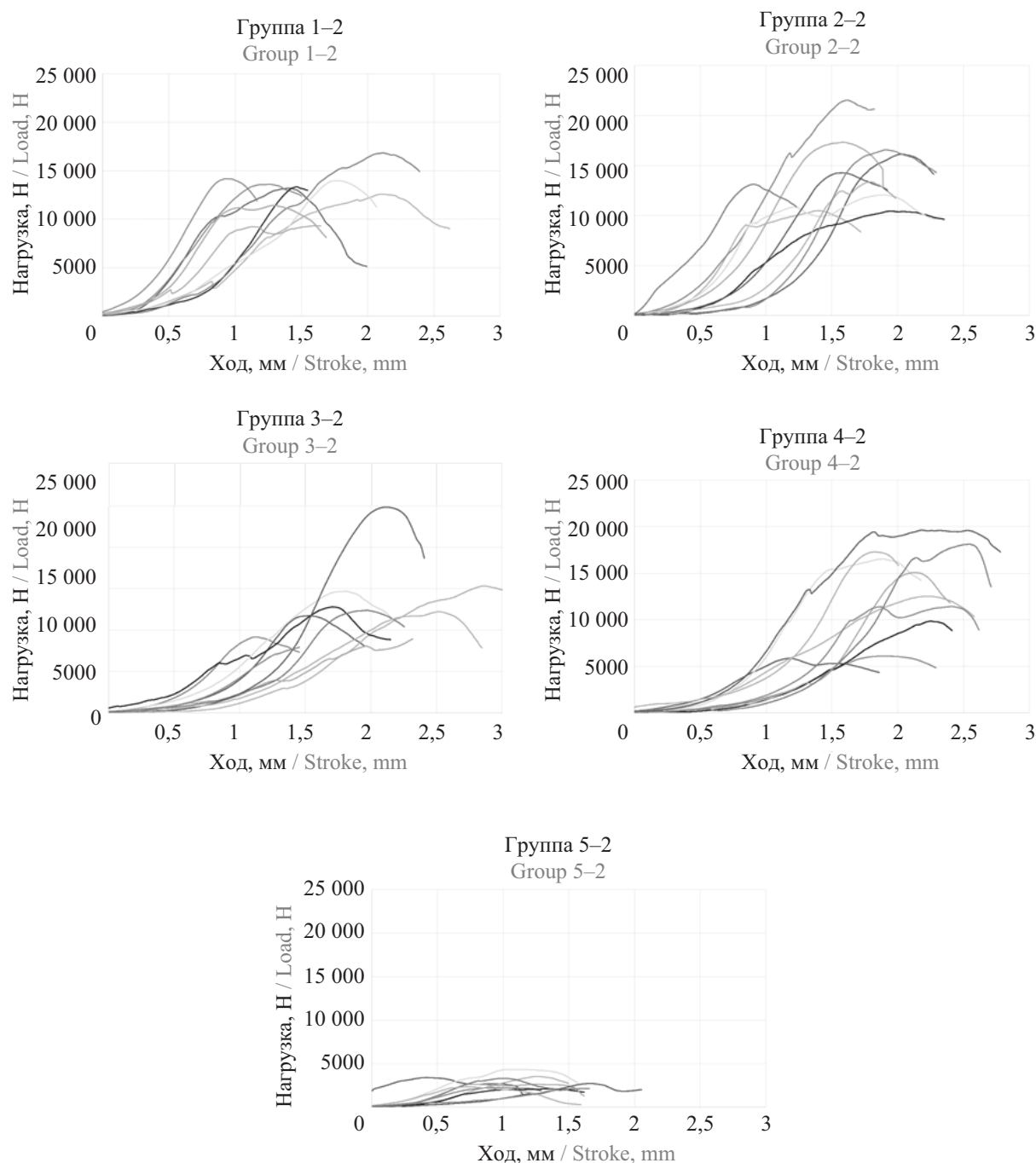


Рис. 7. Диаграммы нагружения образцов из цементно-песчаного раствора по группам (см. табл. 2)

Fig. 7. Loading diagrams for sand-cement mortar specimen tested in compression by groups (see Table 2)

повышенной прочностью адгезии с цементно-песчаным раствором и, наоборот, показала в ходе эксперимента более низкие показатели.

Раствор поливинилацетатной эмульсии может иметь как положительное, так и негативное влияние на прочность ТМД цементной композиции. Так, прочность сцепления вымоченной ТМД с эмульсией составила 0,0020 МПа, при этом прочность сцепления вымоченной ТМД без добавления эмульсии —

0,0003 МПа, что на 85 % ниже. Однако выявлено, что ее использование существенно снижает прочность ЦК, связывающего ТМД заполнитель и выполняющего основную механическую (удерживающую) функцию внутри материала. Добавление 5%-ного раствора ПВА-эмульсии в воду для приготовления цементно-песчаного раствора, настоянной на неочищенной ТМД, снизила ее прочность на сжатие на 76 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горностаева Е.Ю., Ласман И.А., Федоренко Е.А., Камоза Е.В. Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро-, микро- и наноровнях // Строительные материалы. 2015. № 11. С. 13–16.
2. Наназашвили И.Х. Быстровозводимые малоэтажные монолитные дома из арболита. Часть 1 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 11 (130). С. 14–15. EDN WCYJFU.
3. Наназашвили И.Х., Марданов М.К. Производство арболита из древесных отходов. М. : ЦБНТИ Минпромстроя СССР, 1974. 47 с.
4. Al-Akhras N., Abu Alfoul B. Effect of wheat straw ash on mechanical properties of autoclaved mortar // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Issue 6. Pp. 859–863. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00716-0
5. Badilla P., Letelier G.V., Aros P., Careau F. Analysis of the mechanical and thermal behaviour of mortars manufactured with combined use of different waste products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 503. Issue 1. P. 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/503/1/012017
6. Крутов П.И., Склизов Н.И., Наназашвили И.Х., Сироткина П.Б. и др. Использование отходов древесины для получения эффективных строительных материалов : обзор. М. : ОНТИ ЦНИИЭПсельстроя, 1978. 24 с.
7. Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2016. Vol. 9. Issue 2. Pp. 63–70. EDN YVARJX.
8. Ramdane R., Kherraf L., Abdelouahed A., Belachia M. Influence of biomass ash on the performance and durability of mortar // Civil and Environmental Engineering Reports. 2022. Vol. 32. Issue 2. Pp. 53–71. DOI: 10.2478/ceer-2022-0019
9. Verma Sh., Singh A., Gupta R., Sundriyal S. The Effect of Wood Ash on the Workability, Water Absorption, Compressive Strength in Cement Mortar // International Journal for Modern Trends in Science and Technology. 2023. Vol. 9. Issue 4. Pp. 368–373. DOI: 10.46501/IJMTST0904054
10. Liu Z., Han Ch., Li Q., Li Xi., Zhou H., Song Xi. et al. Study on wood chips modification and its application in wood-cement composites // Case Studies in Construction Materials. 2022. Vol. 17. P. e01350. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01350
11. Liu Z., Han Ch., Li Xi., Zhou H., Song Xi., Zu F. Study on wood chips modification and its effect on the mechanical properties of wood-cement composite material // SSRN Electronic Journal. 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4020085
12. Song X., Liu Z., Li X., Zhou H., Han C. Surface modification of wood and its effect on the interfacial bonding properties of cement-based wood composites // European Journal of Wood and Wood Products. 2023. Vol. 81. Issue 4. Pp. 897–909. DOI: 10.1007/s00107-023-01926-7
13. Altgen M., Adamopoulos S., Militz H. Wood defects during industrial-scale production of thermally modified Norway spruce and Scots pine // Wood Material Science & Engineering. 2017. Vol. 12. Issue 1. Pp. 14–23. DOI: 10.1080/17480272.2014.988750
14. Boonstra M.J., van Acker J., Kegel E.M. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects // Wood Science and Technology. 2007. Vol. 41. Issue 1. Pp. 31–57. DOI: 10.1007/s00226-006-0087-4
15. Cai Ch., Heräjärvi H., Haapala A. Effects of environmental conditions on physical and mechanical properties of thermally modified wood // Canadian Journal of Forest Research. 2019. Vol. 49. Issue 11. Pp. 1434–1440. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0180
16. Hill C. Wood Modification: Chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons, 2006. P. 239.
17. Hill C., Altgen M., Rautkari L. Thermal modification of wood — a review: chemical changes and hygroscopicity // Journal of Materials Science. 2021. Vol. 56. Issue 11. Pp. 6581–6614. DOI: 10.1007/s10853-020-05722-z
18. Militz H. Thermal treatment of wood: European processes and their background. The 33rd annual meeting of The International Research Group on Wood Preservation. Cardiff-Wales, 2002.
19. Hakkou M., Petrisans M., Gerardin P., Zoualalian A. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood // Polymer Degradation and Stability. 2006. Vol. 91. Issue 2. Pp. 393–397. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.04.042
20. Чернов В.Ю., Гайсин И.Г., Палкин А.А., Мальцева Е.М. Бетон на основе наполнителя из ТМД: особенности материала и перспективы использования // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. 2021. С. 103–106. EDN PELBFA.
21. Сафин П.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 123–128. EDN SYAHСХ.
22. Хасанишин Р.Р. Термическое модифицирование древесного наполнителя в производстве композиционных материалов : дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2019. 424 с.

23. Guo A., Aamiri O.B., Satyavolu J., Sun Z. Impact of thermally modified wood on mechanical properties of mortar // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 208. Pp. 413–420. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.016

24. Fu Q., Yan L., Thielker N.A., Kasal B. Effects of concrete type, concrete surface conditions and wood species on interfacial properties of adhesively-bonded timber — Concrete composite joints // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2021. Vol. 107. P. 102859. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102859

25. Kostic S., Merk V., Berg J., Hass P., Burgert I., Cabane E. Timber-mortar composites: The effect of sol-gel surface modification on the wood-adhesive interface // *Composite Structures*. 2018. Vol. 201. Pp. 828–833. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.06.108

26. Giv A.N., Fu Q., Yan L., Kasal B. The effect of adhesive amount and type on failure mode and shear strength of glued timber-concrete joints // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 345. P. 128375. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128375

Поступила в редакцию 2 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 3 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 29 августа 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Василий Юрьевич Чернов** — кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; РИНЦ ID: 725875, ResearcherID: X-4439-2019, ORCID: 0000-0001-9496-7340; chernovvy@volgatech.net;

Евгений Сергеевич Шаратов — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; РИНЦ ID: 610570, ResearcherID: B-8151-2014, ORCID: 0000-0002-6500-5377; sharapoves@volgatech.net;

Елена Михайловна Мальцева — магистр, научный сотрудник; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; lenkamalek@mail.ru;

Екатерина Николаевна Пегушина — магистрант; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; ekaterinanick-60@yandex.ru.

Вклад авторов:

Чернов В.Ю. — автор и разработчик нового композита, анализ состояния вопроса, концепция исследования, планирование и проведение эксперимента, анализ результатов и итоговые выводы.

Шаратов Е.С. — методология, обработка данных и научное консультирование.

Мальцева Е.М. — подготовка и проведение эксперимента, систематизация данных.

Пегушина Е.Н. — подготовка и проведение эксперимента, систематизация данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Gornostaeva E.Yu., Lasman I.A., Fedorenko E.A., Kamoza E.V. Wood-cement compositions with structures modified at macro-, micro-, and nano-levels. *Construction Materials*. 2015; 11:13-16. (rus.).

2. Nanazashvili I.Kh. The “Quick-to-erect” low-rise monolith buildings from the arbolite. Part 1. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2009; 11(130):14-15. EDN WCYJFU. (rus.).

3. Nanazashvili I.Kh., Mardanov M.K. *Production of wood concrete from wood waste*. Moscow, TsBNTI Minpromstroya SSSR, 1974; 47. (rus.).

4. Al-Akhras N., Abu Alfoul B. Effect of wheat straw ash on mechanical properties of autoclaved mortar. *Cement and Concrete Research*. 2002; 32(6):859-863. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00716-0

5. Badilla P., Letelier G.V., Aros P., Carreau F. Analysis of the mechanical and thermal behaviour of mortars manufactured with combined use of different waste products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 503(1):012017. DOI: 10.1088/1755-1315/503/1/012017

6. Krutov P.I., Sklizkov N.I., Nanazashvili I.Kh., Sirotkina R.B. et al. *The use of wood waste to produce efficient building materials : review*. Moscow, ONTI TsNIIEPsel'stroya, 1978; 24. (rus.).

7. Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2016; 9(2):63-70. EDN YVARJX.

8. Ramdane R., Kherraf L., Abdelouahed A., Belachia M. Influence of biomass ash on the performance and durability of mortar. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2022; 32(2):53-71. DOI: 10.2478/ceer-2022-0019
9. Verma Sh., Singh A., Gupta R., Sundriyal S. The effect of wood ash on the workability, water absorption, compressive strength in cement mortar. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. 2023; 9(4):368-373. DOI: 10.46501/IJMTST0904054
10. Liu Z., Han Ch., Li Q., Li Xi., Zhou H., Song Xi. et al. Study on wood chips modification and its application in wood-cement composites. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; 17:e01350. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01350
11. Liu Z., Han Ch., Li Xi., Zhou H., Song Xi., Zu F. Study on Wood chips modification and its effect on the mechanical properties of wood-cement composite material. *SSRN Electronic Journal*. 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4020085
12. Song X., Liu Z., Li X., Zhou H., Han C. Surface modification of wood and its effect on the interfacial bonding properties of cement-based wood composites. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2023; 81(4):897-909. DOI: 10.1007/s00107-023-01926-7
13. Altgen M., Adamopoulos S., Militz H. Wood defects during industrial-scale production of thermally modified Norway spruce and Scots pine. *Wood Material Science & Engineering*. 2017; 12(1):14-23. DOI: 10.1080/17480272.2014.988750
14. Boonstra M.J., van Acker J., Kegel E.M. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. *Wood Science and Technology*. 2007; 41(1):31-57. DOI: 10.1007/s00226-006-0087-4
15. Cai Ch., Heräjärvi H., Haapala A. Effects of environmental conditions on physical and mechanical properties of thermally modified wood. *Canadian Journal of Forest Research*. 2019; 49(11):1434-1440. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0180
16. Hill C. *Wood Modification: Chemical, thermal and other processes*. John Wiley & Sons, 2006; 239.
17. Hill C., Altgen M., Rautkari L. Thermal modification of wood — a review: chemical changes and hygroscopicity. *Journal of Materials Science*. 2021; 56(11):6581-6614. DOI: 10.1007/s10853-020-05722-z
18. Militz H. *Thermal treatment of wood: European processes and their background. The 33rd annual meeting of The International Research Group on Wood Preservation*. Cardiff-Wales, 2002.
19. Hakkou M., Petrissans M., Gerardin P., Zoulihan A. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polymer Degradation and Stability*. 2006; 91(2):393-397. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.04.042
20. Chernov V.Yu., Gaisin I.G., Palkin A.A., Maltseva E.M. The concrete based on TMW filler: features of the material and prospects of use. *Actual problems and prospects for the development of the timber industry : IV International scientific-practical conference*. 2021; 103-106. EDN PELBFA. (rus.).
21. Safin R.G., Stepanov V.V., Khairullina E.R., Gainullina A.A., Stepanova T.O. Modern building composite materials based on wood waste. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2014; 17(20):123-128. EDN SYAHCX. (rus.).
22. Hasanshin R.R. *Thermal modification of wood filler in the production of composite materials : doctoral dissertation*. Kazan, 2019; 424 . (rus.).
23. Guo A., Aamiri O.B., Satyavolu J., Sun Z. Impact of thermally modified wood on mechanical properties of mortar. *Construction and Building Materials*. 2019; 208:413-420. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.016
24. Fu Q., Yan L., Thielker N.A., Kasal B. Effects of concrete type, concrete surface conditions and wood species on interfacial properties of adhesively-bonded timber — Concrete composite joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2021; 107:102859. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102859
25. Kostic S., Merk V., Berg J., Hass P., Burgert I., Cabane E. Timber-mortar composites: The effect of sol-gel surface modification on the wood-adhesive interface. *Composite Structures*. 2018; 201:828-833. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.06.108
26. Giv A.N., Fu Q., Yan L., Kasal B. The effect of adhesive amount and type on failure mode and shear strength of glued timber-concrete joints. *Construction and Building Materials*. 2022; 345:128375. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128375

Received May 2, 2023.

Adopted in revised form on May 3, 2023.

Approved for publication on August 29, 2023.

B I O N O T E S : **Vasilij Yu. Chernov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Standardization, Certification and Merchandising; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Republic of Mari El, Russian Federation; ID RSCI: 725875, ResearcherID: X-4439-2019, ORCID: 0000-0001-9496-7340; chernovvy@volgatech.net;

Evgenij S. Sharapov — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Building Structures and Water Supply; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000,

Republic of Mari El, Russian Federation; ID RSCI: 610570, ResearcherID: B-8151-2014, ORCID: 0000-0002-6500-5377; sharapoves@volgatech.net;

Elena M. Mal'ceva — master, researcher; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Republic of Mari El, Russian Federation; lenkamalek@mail.ru;

Ekaterina N. Pegushina — master's student; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Republic of Mari El, Russian Federation; ekaterinanick-60@yandex.ru.

Contributions of the authors:

Vasilij Yu. Chernov — author and developer of a new composite, analysis of the state of the issue, concept of the study, planning and conduct of the experiment, analysis of the results and final conclusions.

Evgenij S. Sharapov — methodology, data processing and scientific advice.

Elena M. Mal'ceva — preparation and conduct of the experiment, systematization of data.

Ekaterina N. Pegushina — preparation and conduct of the experiment, systematization of data.

The authors declare no conflicts of interest.