

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ ЦЕМЕНТА НА КИНЕТИКУ ТВЕРДЕНИЯ И ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

В.И. Запруднов^{1✉}, С.П. Карпачев²,
В.В. Никитин¹, Г.А. Махнин³

¹ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (АГПС МЧС России), Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4

³ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

zaprudnovvi@bmstu.ru

Приведены результаты исследований влияния активности цемента на кинетику твердения и прочность древесно-цементного композита (арболита). Показана необходимость использования высокоэффективных видов цемента при пропаривании для повышения прочности данного композита в проектном возрасте. Установлено проявление влияния цемента на ускорение твердения арболита только при длительной температурно-влажностной обработке. Указано приобретение различной прочности композитом в возрасте 28 сут., изготовленным на цементе одной марки, при использовании для пропаривания цемента с разной эффективностью. Выявлено резкое замедление твердения композита при повышенном количестве углеводов, не снижающее максимальную прочность в проектном возрасте. Определено увеличение чувствительности прочности композита от уменьшения количества экстрактивных веществ в древесине заполнителя. Представлена зависимость конечной прочности композита от эффективности используемого цемента.

Ключевые слова: древесно-цементный материал, прочность и деформации, гидратация и твердение цемента, древесный заполнитель

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И., Карпачев С.П., Никитин В.В., Махнин Г.А. Влияние активности цемента на кинетику твердения и прочность древесно-цементного композита // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 4. С. 100–109. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-100-109

Определяющей особенностью кинетики твердения и прочности древесно-цементных композиционных материалов (арболита, фибролита, цементно-стружечных плит и др.) является влияние экстрактивных веществ древесного заполнителя на процессы гидратации и твердения цемента. По своей природе органический заполнитель и цемент антагонистичны [1–6].

Под воздействием воды и высокощелочной жидкой фазы цемента так называемые экстрактивные вещества древесины — элементы, содержащиеся в древесине (сахара, дубильные вещества, органические кислоты, пектины, крахмал), переходят в раствор древесно-цементного композита и отрицательно влияют на процессы гидратации и твердения портландцементов [3, 5–10]. Наибольшее отрицательное влияние на процессы гидратации и твердения цемента оказывают моносахара, которые активно замедляют скорость схватывания и тверде-

ния цемента, а при их высокой концентрации прекращаются процессы гидратации цемента. Экстрактивные вещества древесины рассматриваются как поверхностно-активные, которые образуют вокруг зерен цемента гидрофильные адсорбционные слои, тормозящие дальнейшее растворение и тем самым замедляющие гидратацию цемента, а также задерживающие образование кальцийсодержащих новообразований. Механизмы действия углеводов на процессы гидратации и твердения цемента до настоящего времени изучены недостаточно [4, 11–15].

В настоящее время в качестве минеральных вяжущих веществ для производства древесно-цементных композиционных материалов — рекомендуется использовать портландцемент и сульфатостойкий цемент (кроме пуццоланового) [6, 16–22], который должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 31108–2020 и ГОСТ Р 22266–2013 и быть не ниже марок: 300 — для изготовления теплоизоляционных древесно-цементных композитов и 400 — для композитов конструкционного назначения.

Прочность древесно-цементных композитов зависит от расхода, вида и марки вяжущего вещества, других составляющих и технологии.

Одним из основных технологических факторов при производстве древесно-цементных композитов, определяющий их конечные физико-механические характеристики, является процесс тепловой обработки изделий.

Повышение прочности древесно-цементных композитов в ходе тепловой обработки зависит не только от температурно-влажностных условий, но и от особенностей твердения использованных для их изготовления видов цемента. В настоящее время не установлена обобщенная физико-механическая зависимость прочности древесно-цементных композитов, которая бы учитывала влияние расхода цемента, вида и его марки, поскольку прочность цементного камня очень сложным образом зависит от «истинного» водоцементного отношения, содержания сахаров, в первую очередь вблизи адгезионного слоя — наиболее слабого места в структуре композита. Оценку их проектируемой прочности можно провести прежде всего экспериментальным путем.

Прочность древесно-цементного композита так же, как и прочность бетона [4–8, 26, 33, 34, 36] растет с повышением марки цемента, увеличением его расхода. В отличие от бетона, произведенного на минеральных заполнителях, прочность древесно-цементного композита в возрасте 28 сут. существенно изменяется при использовании цемента от разных заводов-изготовителей [16, 17, 23–25, 29–32]. Изменение прочности древесно-цементного композита при применении цемента одной марки, но от разных заводов-изготовителей, по-видимому, можно объяснить различным влиянием на цемент замедлителей твердения — экстрактивных веществ древесины [1, 4–6, 15, 26, 35]. Критерии оценки эффективности использования рядовых видов цемента для изготовления древесно-цементного композита в настоящее время не разработаны. Не существует единого мнения о классификации видов цемента как по минеральному, так и по химическому составу, наиболее эффективному при тепловой обработке. В нормативных документах установлено требование только по марке цемента, что не может обеспечить точность прогноза прочности древесно-цементного композита.

Эффективность цемента в условиях тепловой обработки бетона определяется минералогическим составом клинкера и степенью его закристаллизованности, видом и количеством вводимых при помоле добавок, тонкостью помола минерального вяжущего и его грануломе-

трическим составом; тепловыделением цемента в момент твердения и т. д.

Для оценки эффективности видов цемента при тепловой обработке бетона используется предложенный Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона (НИИЖБ) коэффициент пропаривания (k_n), определяемый по выражению

$$k_n = \frac{R_{ц.п}}{R_{ц}^{28}}, \quad (1)$$

где k_n — коэффициент эффективности пропаривания;

$R_{ц.п}$ — активность цемента при пропаривании, МПа;

$R_{ц}^{28}$ — активность цемента нормального твердения в возрасте 28 сут. по ГОСТ 310.4–81.

В зависимости от коэффициента пропаривания все виды цемента разделены на группы эффективности при пропаривании:

I — высокоэффективный цемент, $k_n > 0,68$;

II — среднеэффективный цемент, $k_n = 0,57 - 0,67$;

III — низкоэффективный цемент, $k_n < 0,56$.

При этом виды цемента близкого минерального состава могут иметь абсолютно разные значения коэффициента пропаривания, и, наоборот, — близкие значения коэффициента пропаривания имеют различные по минеральному составу виды цемента. Для цемента, выпускаемого одним предприятием, коэффициент пропаривания не зависит от марки цемента [4].

Для производства древесно-цементных композитов эти особенности обусловлены минеральным, вещественным и гранулометрическим составом цемента, его дисперсностью, тепловыделением, влиянием на него повышенного количества экстрактивных веществ древесины, структурой и степенью закристаллизованности клинкеров и т. д.

Количественную характеристику кинетической направленности цемента при твердении в условиях температурно-влажностной обработки отражает коэффициент пропаривания.

Применение цемента с высоким значением коэффициента пропаривания позволяет снизить температуру температурно-влажностной обработки бетона, и, наоборот, при использовании цемента с низким значением коэффициента пропаривания необходимо удлинять цикл при повышенных значениях температуры [17].

Низкие допустимые значения температуры тепловой обработки древесно-цементного композита и повышенная концентрация замедлителей твердения ограничивают скорость

Активность цемента и коэффициенты пропаривания

The activity of cements and their efficiency coefficients during steaming

Завод-изготовитель цемента	Активность цемента		Коэффициент пропаривания, k_n
	нормального твердения в 28 сут. $R_{н.т}^{28}$, МПа	при пропаривании, $R_{н.п}$, МПа	
«Щуровский цемент»	42,9	32,6	0,76
«Воскресенскцемент»	40,6	27,6	0,68
«Себряковцемент»	51,1	31,2	0,61
«Белгородский цемент»	42,6	25,1	0,59
«Вольскцемент»	36,9	20,7	0,56

роста прочности материала. При этом высокое значение требуемой расплубочной прочности в суточном цикле твердения исключает варьирование температуры прогрева для оптимизации режима. Температуру изотермического выдерживания целесообразно поддерживать на предельно допустимом максимальном уровне.

В этой ситуации использование цемента с высокой скоростью начального твердения в древесно-цементном композите приобретает актуальность и служит одним из важных путей ускорения твердения. Однако по материалам выполненных ранее работ [10, 19, 27, 28] можно предположить, что ускоренное твердение цемента влияет на повышение прочности в древесно-цементном композите как в процессе тепловой обработки, так и в проектом возрасте. При этом возможно изменение эффективности их использования при температурно-влажностной обработке древесно-цементного композита. Виды цемента, позволяющие тяжелому бетону достигать в определенном температурном режиме большую долю прочности относительно прочности, достигаемой в проектом возрасте, по сравнению с менее эффективными видами, у древесно-цементного композита могут утратить эту способность.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение способа повышения прочностных свойств древесно-цементных композитов и совершенствование технологии их производства путем влияния активности цемента на кинетику твердения в режиме температурно-влажностной обработки.

Материалы и методы

На основе классификации видов цемента по эффективности при пропаривании, приведенной в работах [4, 6, 14, 16, 17], были выбраны марки цемента от следующих производителей:

– «Щуровский цемент» и «Воскресенскцемент» — высокоэффективные;

– «Себряковцемент» и «Белгородский цемент» — среднеэффективные;

– «Вольскцемент» — низкоэффективные.

Характеристика прочностных свойств видов цемента, использованных при проведении исследований, и значения коэффициентов пропаривания приведены в таблице.

Образцы древесно-цементного композита (арболита) подвергались температурно-влажностной обработке — прогревались в режиме, исключающем потерю прочности в проектом возрасте при максимальном ускорении в период теплового воздействия:

– предварительная выдержка до подъема температуры среды — 4 ч;

– скорость подъема температуры среды — 10 °C/ч при относительной влажности в этот период 20...40 %;

– температура и относительная влажность среды при изотермической выдержке — соответственно 45 °C и 80...96 % (высокая относительная влажность среды обеспечивала разогрев образцов до температуры, близкой к температуре среды);

– максимальная продолжительность температурно-влажностной обработки — 48 ч.

Для возможности сравнения результатов прочности прогретого арболита, полученных в различных режимах тепловой обработки, экспериментальные данные сопоставлялись в показателях относительной прочности:

$$r_{отн} = \frac{R_{т.о.}}{R_{н.т}^{28}}; \quad (2)$$

$$r_{отн}^{28} = \frac{R_{т.о.}^{28}}{R_{н.т}^{28}}; \quad (3)$$

где $r_{отн}$ и $r_{отн}^{28}$ — относительная прочность арболита на сжатие, прошедшего тепловую обработку и твердевшего после окончания температурно-влажностной обработки в нормальных условиях соответственно 28 сут. и 4 ч, %;

$R_{т.о.}^{28}$ — прочность образцов арболита на сжатие, прошедшего тепловую обработку и твердевшего после окончания температурно-влажностной обработки в нормальных условиях соответственно 28 сут. и 4 ч, МПа;

$R_{н.т}^{28}$ — прочность арболита на сжатие нормального твердения в возрасте 28 сут., МПа.

Анализ результатов экспериментов по значениям относительной прочности позволяет исключить влияние колебаний среднего значения плотности образцов, формуемых для разных экспериментов по температурно-влажностной обработке, на кинетику твердения арболита в процессе прогрева и потери прочности после его окончания.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований по влиянию активности цемента на рост относительной прочности арболита $r_{отн}$ (средней плотностью в сухом состоянии 650 кг/м^3) и кинетику твердения древесно-цементного композита в процессе двухсуточного прогрева представлены на рис. 1.

Анализ полученных результатов показал резкое отличие в кинетике роста относительной прочности арболита от тяжелых видов бетона. Относительная прочность образцов арболита, изготовленных на марках цемента «Воскресенскцемент» (вторая группа), в начальный период имела даже более высокие значения, чем у образцов цемента завода «Щуровский цемент» (первая группа). К концу тепловой обработки вследствие более интенсивного роста прочности арболит на цементе первой группы достигает и превосходит по прочности арболит, изготовленный на цементе завода «Воскресенскцемент» (вторая группа). Прочность арболита, изготовленного на цементе завода «Себряковцемент» (третья группа) значительно уступает арболиту, изготовленному на цементе первой и второй групп.

Анализ прочности арболита нормального твердения (рис. 2) в возрасте 28 сут. показал наличие связи между активностью цемента при пропаривании $R_{ц.п}$ и прочностью арболита $R_{н.т}^{28}$. С ростом величины $R_{ц.п}$ увеличивается $R_{н.т}^{28}$, при этом коэффициент корреляции, рассчитанный в соответствии с методикой, изложенной в работе [5], составляет 0,91. Между прочностью арболита $R_{н.т}^{28}$ и активностью цемента нормального твердения $R_{ц.п}^{28}$, а также и между коэффициентом пропаривания $k_{п}$ коэффициент корреляции оказался не значимым для уровня значимости 0,05.

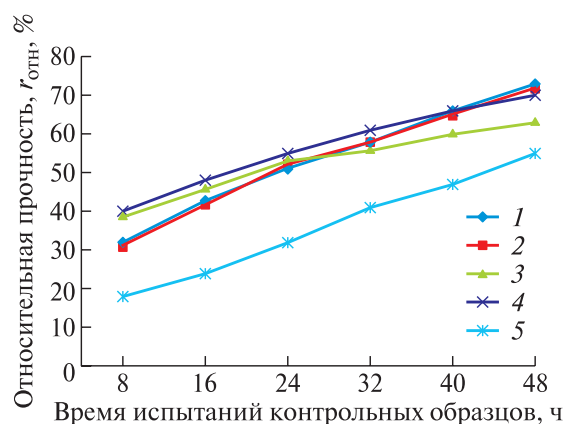


Рис. 1. Зависимость относительной прочности древесно-цементного композита (арболита), прошедшего температурно-влажностную обработку 48 ч при температуре 45°C , от вида цемента разных заводов-изготовителей: 1 — «Щуровский цемент»; 2 — «Воскресенскцемент»; 3 — «Себряковцемент»; 4 — «Белгородский цемент»; 5 — «Вольскцемент»

Fig. 1. The dependence of the relative strength of a wood-cement composite (arbolite) that has undergone temperature and humidity treatment for 48 hours at 45°C on the type of cement of the manufacturing plants: 1 — «Shchurovsky cement»; 2 — «Voskresenskement»; 3 — «Sebryakovcement»; 4 — «Belgorod cement»; 5 — «Volskcement»

Полученные данные подтверждают сделанное ранее предположение о том, что прочность арболита должна зависеть именно от абсолютного значения прочности $R_{ц.п}$, приобретаемой цементом в начальный период твердения, а не только от его активности нормального твердения $R_{ц}^{28}$ и относительной скорости твердения этого цемента, характеризуемой коэффициентом пропаривания $k_{п}$.

Выявленная связь между прочностью арболита $R_{н.т}^{28}$ и активностью цемента при пропаривании позволяет использовать ее в качестве критерия оценки эффективности цемента в производстве арболита.

Учитывая, что $R_{ц.п} = R_{ц}^{28} \cdot k_{п}$, наиболее эффективным является цемент высоких марок и быстрого твердения. В этом смысле наиболее приемлемыми должны быть марки цемента первой группы по эффективности при пропаривании, менее эффективны цементы второй группы (см. рис. 1).

Наименьшую прочность имеет арболит, изготовленный на основе цементов третьей группы (см. рис. 1). С увеличением марки используемого цемента одного завода-изготовителя прочность арболита возрастает.

Применяя цемент марки 500, но от разных заводов-изготовителей, можно получить различ-

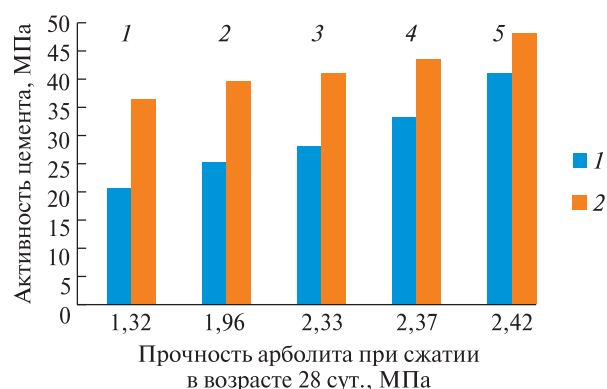


Рис. 2. Зависимость прочности арболита в возрасте 28 сут. от активности цемента: 1 — при пропаривании, $R_{ц.п.}$; 2 — нормального твердения, $R_{ц.н.}^{28}$ от заводов-изготовителей: 1 — «Вольскцемент»; 2 — «Белгородский цемент»; 3 — «Себряковцемент»; 4 — «Воскресенскцемент»; 5 — «Щуровский цемент»

Fig. 2. Dependence of the strength of arbolite at the age of 28 days on the activity of cements: 1 — during steaming, $R_{ц.п.}$; 2 — normal hardening $R_{ц.н.}^{28}$, cement manufacturers: 1 — «Volskcement»; 2 — «Belgorod cement»; 3 — «Sebryakcement»; 4 — «Voskresensk cement»; 5 — «Shchurovsky cement»

ную прочность арболита. Например, используя цемент «Себряковскцемент», имеющего $k_n = 0,61$ [4], с активностью нормального твердения в возрасте 28 сут. $R_{ц.н.}^{28} = 55,1$ МПа, можно получить арболит с прочностью, меньшей почти на марку по сравнению с арболитом, полученным при использовании цементов первой группы — от заводов-изготовителей «Щуровский цемент» или «Воскресенскцемент» той же активности.

Таким образом, к требованиям по использованию высоких марок цемента в соответствии с ГОСТ 19222–2019 на арболит целесообразно добавить и другое, заключающееся в применении цемента в первую очередь первой и второй групп по эффективности при пропаривании (см. рис. 1).

Объем выпуска портландцемента и портландцемента с минеральными добавками (первая группа) марок 400 и 500, эффективных для арболита, составляет более 20 % общего объема выпуска цемента общестроительного назначения. Использование цемента второй группы позволит увеличить объем применяемых эффективных марок цемента на 25...30 %.

Выводы

Использование высокоэффективных видов цемента при пропаривании дает возможность повысить прочность арболита в проектном возрасте. Однако их влияние на ускорение тверде-

ния арболита по показателю $r_{отн}$ наблюдается только при длительном режиме температурно-влажностной обработки. Отличие в твердении арболита от бетона на минеральных заполнителях заключается в том, что изготовленный на цементе одной марки он в возрасте 28 сут. может приобретать различную прочность при использовании видов цемента, проявляющих разную эффективность при пропаривании. В процессе твердения различия в его относительной скорости зависят значительно меньше от этой характеристики цемента, чем у бетона на минеральных заполнителях. Повышенное количество углеводов резко замедляет начальное, возможно, до нескольких месяцев, твердение цемента, но не снижает его максимальную прочность через длительный период, поскольку в связи с замедленным твердением вследствие влияния экстрактивных веществ древесины арболит не достигает в возрасте 28 сут., уровня прочности, близкого к максимальному, и тем значительнее, чем менее эффективен использованный вид цемента. Малое влияние эффективности цемента при пропаривании в процессе температурно-влажностной обработки объясняется тем, что в формуле относительной прочности арболита (2), по которой оценивается интенсивность его твердения, оказываются зависимыми от эффективности цемента как числитель $R_{т.о.}$, так и знаменатель — $R_{ц.н.}^{28}$, в отличие от бетона, в котором от него зависит лишь прочность в процессе тепловой обработки. Одновременная зависимость $R_{т.о.}$ и $R_{ц.н.}^{28}$ арболита от эффективности цемента обеспечивает относительную прочность арболита в процессе тепловой обработки значительно меньшую чувствительность к этому критерию, чем в бетоне на минеральных заполнителях.

Исходя из изложенного, можно предположить, что чем меньше будет количество экстрактивных веществ древесины, тем больше должна быть чувствительность относительной прочности древесно-цементного композита $r_{отн}$ к эффективности используемого цемента и тем меньше будет зависеть от него прочность арболита в возрасте 28 сут., и наоборот.

Список литературы

- [1] Андреев А.А., Колесников Г.Н., Чалкин А.А. Древесно-цементный композит с добавкой стеатита как конструкционный и деформирующий материал // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки, 2014. № 6 (143). С. 75–78.
- [2] Аракелян А.А. Прочностные и деформативные свойства легких бетонов в зависимости от свойств заполнителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 24 с.

- [3] Гончарова М.А., Чернышев М.А. Формирование систем твердения композитов на основе техногенного сырья // *Строительные материалы*, 2013. № 5. С. 60–63.
- [4] Гончарова М.А., Бочарников А.С., Комаричев А.В. Композиционные материалы на основе цементно-водных активированных систем для инъекционного уплотнения бетона ограждающих конструкций // *Строительные материалы*, 2015. № 5. С. 31–35.
- [5] Малинина Л.А., Мокрушин А.Н., Бруссер М.И., Куприянов Н.Н. О выборе цемента для тепловой обработки бетонов // *Бетон и железобетон*, 1984. № 3. С. 10–12.
- [6] Мокрушин А.П. Энергосберегающие режимы тепловой обработки бетонов с учетом эффективности цемента при пропаривании: дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 193 с.
- [7] Кауфман Б.Н., Шмидт Л.М., Скоблов Д.А., Поволжский А.С. Цементный фибролит. М.: Стройиздат, 1961. 161 с.
- [8] Подчуфаров В.С., Чемлева Т.А., Щербаков А.С. Об оптимальном составе арболита повышенного качества // *Научные труды МГУЛ*, 1976. Вып. 93. С. 68–88.
- [9] Савин В.И., Давидюк А.Н. Технология и основные физико-механические свойства поризованного арболита на полимерном вяжущем // *Научные труды МГУЛ*, 1986. Вып. 180. С. 30–43.
- [10] Хорошун Л.П., Щербаков А.С. Прочность и деформативность арболита. Киев: Наукова думка, 1979. 192 с.
- [11] Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
- [12] Васильков С.Н. Технологии производства и применения экологически чистых и энергоэффективных стройматериалов на основе древесного сырья // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*, 2004. № 11. С. 50.
- [13] Галейбу С. Механизм формирования прочности и разрушения поризованного арболита на стеблях хлопчатника // *Механизация строительства*, 2011. № 10. С. 23–24.
- [14] Кузинец Б.З. Ускорение твердения поризованного арболита тепловлажностной обработкой: дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 241 с.
- [15] Рыбьев И.А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры // *Строительные материалы*, 1965. № 1. С. 17–20.
- [16] Запруднов В.И., Никитин В.В., Карпачев С.П., Махнин Г.А. Деформационные свойства древесно-цементных материалов // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 3. С. 96–104. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-96-104
- [17] Запруднов В.И. Влияние структуры древесно-цементного материала на прочностные и деформационные свойства // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26. № 1. С. 91–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-91-96
- [18] Boadu K.B., Antwi-Boasiako C., Ofosuhen L. Solvent extraction of inhibitory substances from three hardwoods of different densities and their compatibility with cement in composite production // *J. of the Indian Academy of Wood Science*, 2018, v. 15, pp. 140–148.
- [19] Щербаков А.С., Хорошун Л.П., Подчуфаров В.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная пром-сть, 1979. 160 с.
- [20] Щибря А.Ю. Эффективный теплоизоляционный материал из поризованного арболита на рисовой лузге: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2000. С. 21.
- [21] Berkenkamp R. Wood fiber-cement product, process and properties / Ed. A.A. Moslemi // *Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials*. Madison, WI. Forest Products Society, 2017, pp. 8–13.
- [22] Cheumani Y.A.M., Ndikontar M., De Jéso B, Sèbe G. Probing of wood–cement interactions during hydration of wood-cement composites by proton low-field NMR relaxomet // *J. Mater. Sci.*, 2011, v. 46, pp. 1167–1175.
- [23] Fan M., Ndikontar M.K., Zhou X., Ngamveng J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods // *Compatibility of wood and cement. Construction and Building Materials*, 2012, v. 36, pp. 135–140.
- [24] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U. Cement bonded composites — a mechanical review // *BioResources*, 2008, v. 3(2), pp. 602–626.
- [25] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method // *Engineering Science and Technology*, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
- [26] Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review // *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2004, v. 62(5), pp. 370–377.
- [27] Lukutsova N., Gornostaeva E. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood and cement compositions // *SITA J. Israel*, 2012, no. 3, v. 14, pp. 70–75.
- [28] Matyeva A.K. The research of the wether resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy // *Proceeding of the IInd International Scientific and Practical Conference «The goals of the WorldScience» № 3(7)*, vol. 1, March 2016 (February 25–26, 2016, Dubai, UAE), pp. 98–102.
- [29] Parchen C.F.A., Iwakiri S., Zeller F. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites // *Eur. J. Wood Prod.*, 2016, v. 74, pp. 75–81.
- [30] Ronquim R.M., Ferro F.S., Icimoto F.H., Campos C.I., Bertolini M.S., Christoforo A.L., Rocco Lahr F.A. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation // *International J. of Composite Materials*, 2014, v. 4(2), pp. 69–72.
- [31] Sá V.A., Bufalino L., Albino V.C.S., Corrêa A.A., Mendes L.M., Almeida N.A. Mixture of three reforestation species on the cement-wood panels production // *Revista Árvore*, 2012, v. 36, no. 3, pp. 549–557.
- [32] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G.A., 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, t. 9, no. 2, pp. 63–71.
- [33] Sahin H.T., Kaya A.I., Yalçın O.U., Kılınçarslan Ş., Şimşek Y., Mantanis G.I. A study on the production process and properties of cement-based wood composite materials // *J. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 2019, v. 10(2), pp. 219–228.

- [34] Torkaman J., Ashori A., Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks // *Construction and Building Materials*, 2014, v. 50, pp. 432–436.
- [35] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Gorbacheva G.A., Karpachev S.P., Levushkin D.M. The influence of chemical additives on strength of wood-cement composite // *Materials Science Forum*, 2019, t. 972, pp. 69–76.
- [36] Zhou Y., Kamdem D.P. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood // *Forest Products J.*, 2002, v. 52 (2), pp. 73–81.

Сведения об авторах

Запруднов Вячеслав Ильич  — д-р техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), zaprudnovvi@bmstu.ru

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России», karpachevs@mail.ru

Никитин Владимир Валентинович — д-р техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), nikitinvv@bmstu.ru

Махнин Георгий Александрович — студент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», makhninga@student.bmstu.ru

Поступила в редакцию 05.05.2025.

Одобрено после рецензирования 19.01.2026.

Принята к публикации 30.04.2026.

EFFECT OF CEMENT ACTIVITY ON KINETICS OF WOOD-CEMENT COMPOSITE HARDENING AND STRENGTH

V.I. Zaprudnov¹✉, S.P. Karpachev², V.V. Nikitin¹, G.A. Makhnin³

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²State Fire Academy of EMERCOIM of Russia, 4, Boris Galushkin st., 129366, Moscow, Russia

³BMSTU, 5, Block 1, 2nd Baumanskaya st., 105005, Moscow, Russia

zaprudnovvi@bmstu.ru

The study results of the effect of cement activity on the hardening kinetics and wood-cement composite (arbolite) strength are presented. It has been established that in order to increase the wood-cement composite strength at the design age, it is possible to use highly effective cements during steaming. It was revealed by the relative strength index that the effect of highly effective cements on the arbolite hardening acceleration is observed only under prolonged conditions of temperature and humidity treatment. It has been established that a wood-cement composite made on cements of the same brand can acquire different strength at the age of 28 days when used for steaming cements of different efficiency. A sharp slowdown in composite hardening was observed with increased carbohydrate content, without reducing the maximum strength at the design age. An increase in the sensitivity of composite strength to a decrease in the number of extractives in the wood core was determined. The dependence of the final composite strength on the efficiency of the cement used is presented.

Keywords: wood-cement material, strength and deformation, hydration and hardening of cement, wood filler

Suggested citation: Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Nikitin V.V., Makhnin G.A. *Vliyaniye aktivnosti tsementa na kinetiku tverdeniya i prochnost' drevesno-tsementnogo kompozita* [Effect of cement activity on kinetics of wood-cement composite hardening and strength]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 4, pp. 100–109. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-100-109

References

- [1] Andreyev A.A., Kolesnikov G.N., Chalkin A.A. *Drevesno-tsementnyy kompozit s dobavkoy steatita kak konstruktivnyy i deformiruyushchiy material* [Wood-cement composite with the addition of steatite as a structural and deforming material]. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki* [Scientific Notes of Petrozavodsk State University. Series: «Natural and Technical Sciences»], 2014, no. 6 (143), pp. 75–78.
- [2] Arakelyan A.A. *Prochnostnyye i deformativnyye svoystva legkikh betonov v zavisimosti ot svoystv zapolniteley* [Strength and Deformative Properties of Lightweight Concretes Depending on the Properties of Fillers]. Abstract Dis. Cand. Sci. (Tech.). Moscow, 1986, 24 p.
- [3] Goncharova M.A., Chernyshev M.A. *Formirovaniye sistem tverdeniya kompozitov na osnove tekhnogennogo syr'ya* [Formation of Composite Hardening Systems Based on Man-Made Raw Materials]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2013, no. 5, pp. 60–63.
- [4] Goncharova M.A., Bocharnikov A.S., Komarichev A.V. *Kompozitsionnyye materialy na osnove tsementno-vodnykh aktivirovannykh sistem dlya in'yektsionnogo uplotneniya betona ograzhdayushchikh konstruktsey* [Composite materials based on cement-water activated systems for injection compaction of concrete enclosing structures]. *Stroitel'nyye materialy*, [Construction Materials], 2015, no. 5, pp. 31–35.
- [5] Malinina L.A., Mokrushin A.N., Brusser M.I., Kupriyanov N.N. *O vybore tsementov dlya teplovoy obrabotki betonov* [On the selection of cements for heat treatment of concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 1984, no. 3, pp. 10–12.
- [6] Mokrushin A.P. *Energosberegayushchiye rezhimy teplovoy obrabotki betonov s uchetom effektivnosti tsementov pri proparivanii* [Energy-saving modes of heat treatment of concrete taking into account the efficiency of cements during steam curing]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Moscow, 1984, 193 p.
- [7] Kaufman B.N., Shmidt L.M., Skoblov D.A., Povolzhskiy A.S. *Tsementnyy fibrolit* [Cement fiberboard]. Moscow: Stroyizdat, 1961, 161 p.
- [8] Podchufarov V.S., Chemleva T.A., Shcherbakov A.S. *Ob optimal'nom sostave arbolita povyshennogo kachestva* [On the optimal composition of high-quality arbolite]. *Nauchnyye trudy MGUL* [Scientific works of Moscow State Forestry University], 1976, iss. 93, pp. 68–88.
- [9] Savin V.I., Davidyuk A.N. *Tekhnologiya i osnovnyye fiziko-mekhanicheskiye svoystva porizovannogo arbolita na polimernom vyazhushchem* [Technology and main physical and mechanical properties of porous arbolite on a polymer binder]. *Nauchnyye trudy MGUL* [Scientific works of Moscow State Forestry University], 1986, iss. 180, pp. 30–43.

- [10] Khoroshun L.P., Shcherbakov A.S. *Prochnost' i deformativnost' arbolita* [Strength and Deformability of Arbolite]. Kyiv: Naukova Dumka, 1979, 192 p.
- [11] Bazhenov YU.M., Dem'yanova B.C., Kalashnikov V.I. *Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony* [Modified High-Quality Concretes]. Moscow: ASV, 2006, 368 p.
- [12] Vasil'kov S.N. *Tekhnologii proizvodstva i primeneniya ekologicheskikh chistykh i energoeffektivnykh stroymaterialov na osnove drevsnogo syr'ya* [Technologies for the Production and Application of Environmentally Friendly and Energy-Efficient Building Materials Based on Wood Raw Materials]. Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka [Building Materials, Equipment, and Technologies of the 21st Century], 2004, no. 11, p. 50.
- [13] Galebuy S. *Mekhanizm formirovaniya prochnosti i razrusheniya porizovannogo arbolita na steblyakh khlopchatnika* [The Mechanism of Strength Formation and Failure of Porous Arbolite on Cotton Stems]. Mekhanizatsiya stroitel'stva [Mechanization of Construction], 2011, no. 10, pp. 23–24.
- [14] Kuzinets B.Z. *Uskoreniye tverdeniya porizovannogo arbolita teplovlazhnostnoy obrabotkoy* [Acceleration of Hardening of Porous Arbolite by Heat and Humidity Treatment]. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.). Moscow, 1988, 241 p.
- [15] Ryb'yev I.A. *Dve vazhneyshiy zakonornosti v svoystvakh materialov s konglomeratnym tipom struktury* [Two Most Important Regularities in the Properties of Materials with a Conglomerate Type of Structure]. Stroitel'nyye materialy [Construction Materials], 1965, no. 1, pp. 17–20.
- [16] Zaprudnov V.I., Nikitin V.V., Karpachev S.P., Makhnin G.A. *Deformatsionnye svoystva drevsno-tsementnykh materialov* [Deformation properties of wood-cement materials]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2024, vol. 28, no. 3, pp. 96–104. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-96-104
- [17] Zaprudnov V.I. *Vliyaniye struktury drevsno-tsementnogo materiala na prochnostnye i deformatsionnye svoystva* [Influence of wood-concrete material structure on strength and deformation properties]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 91–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-91-96
- [18] Boadu K.B., Antwi-Boasiako C., Ofosuhene L. Solvent extraction of inhibitory substances from three hardwoods of different densities and their compatibility with cement in composite production. J. of the Indian Academy of Wood Science, 2018, v. 15, pp. 140–148.
- [19] Shcherbakov A.S., Khoroshun L.P., Podchufarov V.S. *Arbolit. Povysheniye kachestva i dolgovechnosti* [Arbolite. Improving Quality and Durability]. Moscow: Lesnaya Prom-st, 1979, 160 p.
- [20] Shchibrya A.Yu. *Effektivnyy teploizolyatsionnyy material iz porizovannogo arbolita na risovoy luzhe* [Effective Thermal Insulation Material from Porous Arbolite on Rice Husk]. Abstract of Cand. Sci. (Tech.). Rostov-on-Don, 2000, 21 p.
- [21] Berkenkamp R. Wood fiber-cement product, process and properties. Ed. A.A. Moslemi. Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Madison, WI. Forest Products Society, 2017, pp. 8–13.
- [22] Cheumani Y.A.M., Ndikontar M., De J  so B, S  be G. Probing of wood-cement interactions during hydration of wood-cement composites by proton low-field NMR relaxomet. J. Mater. Sci., 2011, v. 46, pp. 1167–1175.
- [23] Fan M., Ndikontar M.K., Zhou X., Ngamveng J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods. Compatibility of wood and cement. Construction and Building Materials, 2012, v. 36, pp. 135–140.
- [24] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U. Cement bonded composites — a mechanical review. BioResources, 2008, v. 3(2), pp. 602–626.
- [25] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method. Engineering Science and Technology, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
- [26] Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review. Holz als Roh-und Werkstoff, 2004, v. 62(5), pp. 370–377.
- [27] Lukutsova N., Gornostaeva E. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions. SITA J. Israel, 2012, no. 3, v. 14, pp. 70–75.
- [28] Matyeva A.K. The research of the wether resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy. Proceeding of the IInd International Scientific and Practical Conference «The goals of the WorldScience» № 3(7), vol. 1, March 2016 (February 25–26, 2016, Dubai, UAE), pp. 98–102.
- [29] Parchen C.F.A., Iwakiri S., Zeller F. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites. Eur. J. Wood Prod., 2016, v. 74, pp. 75–81.
- [30] Ronquim R.M., Ferro F.S., Icimoto F.H., Campos C.I., Bertolini M.S., Christoforo A.L., Rocco Lahr F.A. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation. International J. of Composite Materials, 2014, v. 4(2), pp. 69–72.
- [31] S   V.A., Buf  lino L., Albino V.C.S., Corrêa A.A., Mendes L.M., Almeida N.A. Mixture of three reforestation species on the cement-wood panels production. Revista   rvore, 2012, v. 36, no. 3, pp. 549–557.
- [32] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G.A., 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, t. 9, no. 2, pp. 63–71.
- [33] Sahin H.T., Kaya A.I., Yal  n O.U., Kılın  arslan   .,   im  ek Y., Mantanis G.I. A study on the production process and properties of cement-based wood composite materials. J. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University, 2019, v. 10(2), pp. 219–228.
- [34] Torkaman J., Ashori A., Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. Construction and Building Materials, 2014, v. 50, pp. 432–436.

- [35] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Gorbacheva G.A., Karpachev S.P., Levushkin D.M. The influence of chemical additives on strength of wood-cement composite. *Materials Science Forum*, 2019, t. 972, pp. 69–76.
- [36] Zhou Y., Kamdem D.P. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood. *Forest Products J.*, 2002, v. 52 (2), pp. 73–81.

Authors' information

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnovvi@bmstu.ru

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the State Fire Academy of EMERCOIM of Russia, 4, Boris Galushkin st., 129366, Moscow, Russia, karpachevs@mail.ru

Nikitin Vladimir Valentinovich — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), nikitinvv@bmstu.ru

Makhnin Georgiy Aleksandrovich — Student of the BMSTU, makhninga@student.bmstu.ru

Received 05.05.2025.

Approved after review 19.01.2026.

Accepted for publication 30.04.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest