

Исследование влияния коры на прочность и теплопроводность древесно-минерального композита

С.Н. Долматов

Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва,
пр. «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, Россия
pipinaskus@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

Статья поступила 26.08.2024, принята 10.09.2024

В работе исследовано влияние коры на прочность и теплопроводность арболита. Арболит обычно производится на основе древесной дробленки, изготовленной из отходов лесопиления (горбыль и рейки). Содержание коры в горбыле существенно выше, чем в стволовой древесине. Физико-механические свойства древесины и коры существенно отличаются, как и поведение этих материалов в процессе формирования минерально-органического конгломерата арболита. Требования ГОСТ 19222-2019 «Арболит и изделия из него» предусматривают долю коры в дробленке не более 10 %. При изготовлении опытных образцов доля коры в дробленке составляла 18,43 %. С увеличением содержания коры в древесной дробленке происходит снижение величины плотности арболита с 700 до 640 и 534 кг/м³ соответственно. Также снижается теплопроводность с 0,165 до ...0,127 Вт/(м²·°C). Предел прочности при сжатии снижается по мере увеличения доли коры в дробленке и составляет 1,72; 0,91; 0,48 МПа соответственно. В целом полученные образцы, даже при максимальной доле коры в дробленке, в 43 % случаев соответствуют требованиям указанного ГОСТа, однако при этом существенно меняется допустимая область их применения. Материалы из области конструкционных несущих и самонесущих переходят в исключительно теплоизоляционные ненесущие. Высокое содержание коры при незначительном улучшении теплоизоляционных показателей арболита приводит к критическому снижению показателей его прочности, что существенно снижает область применения материала. Результаты работы могут применяться при совершенствовании показателей древесно-минеральных композитов, обосновании области их применения, улучшении технологии производства бетонов с органическими заполнителями.

Ключевые слова: древесно-минеральный композит; арболит; древесная дробленка; кора; теплопроводность; предел прочности.

Study of the influence of bark on the strength and thermal conductivity of wood-mineral composite

S.N. Dolmatov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 31, Krasnoyarsky Rabochoy Ave., Krasnoyarsk, Russia
pipinaskus@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

Received 26.08.2024, accepted 10.09.2024

The effect of the bark on the strength and thermal conductivity of arbolite is investigated. Arbolite is usually produced on the basis of wood chips made from sawmill waste (slabs and slats). The bark content in slab wood is significantly higher than in the stem wood. The physical and mechanical properties of wood and bark differ significantly, as does the behavior of these materials during the formation of the mineral-organic conglomerate arbolite. The requirements of GOST 19222-2019 "Arbolite and products made from it" provide for the proportion of bark in the crushing not more than 10%. During the manufacture of prototypes, the proportion of bark in the crushing was 18.43%. With an increase in the bark content in the wood pulp, the density of arbolite decreases from 700 to 640 and 534 kg/m³, respectively. The thermal conductivity is also reduced from 0.165 to ...0.127 W/(m²·°C). The compressive strength decreases as the proportion of bark in the crushed increases and amounts to 1.72; 0.91; 0.48 MPa, respectively. In general, the samples obtained, even with the maximum proportion of bark in the crushed, in 43% of cases comply with the requirements of the specified GOST, however, the permissible scope of their application significantly changes. Materials from the field of structural load-bearing and self-supporting materials are transformed into exclusively heat-insulating non-load-bearing materials. The high content of bark with a slight improvement in the thermal insulation performance of arbolite leads to a critical decrease in its strength, which significantly reduces the scope of application of the material. The results of the work can be used to improve the performance of wood-mineral composites, substantiate the scope of their application, and improve the technology of production of concretes with organic aggregates.

Keywords: wood-mineral composite; wood concrete; wood chips; bark; thermal conductivity; tensile strength.

Введение. Стратегия комплексной переработки, утилизации и обезвреживания отходов потребления и производства Российской Федерации, запланированная на срок до 2030 г., предусматривает производство бетонов различного назначения на основе органических заполнителей [1]. Особенно перспективны технологии легких бетонов применительно к сфере потребления, сформированной индивидуальными застройщиками, где в настоящее время практически все секторы завоеваны автоклавным газобетоном. Индивидуальный застройщик сформировал подход к необходимой и достаточной площади жилого объекта, которая редко превышает 150 м². Время неэкономичных застроек в 300...400 м² ушло, видимо, навсегда, поскольку требования тепло-, энергосбережения, рост тарифов диктуют необходимость оптимизации и снижения размеров отапливаемых объектов. Широкое внедрение инструментов ипотеки и банковского финансирования внесли требования обоснованности и логичности конструктивных решений в целях обеспечения ликвидности жилого объекта. Поэтому экзотические конструкции и материалы практически отсутствуют на рынке в промышленных масштабах.

По экспертной оценке компании «Метриум», распределение затрат на строительство 1 м² площади жилого объекта, в зависимости от вида стенового материала, выглядит следующим образом: газобетон — 7...15 тыс. р.; кирпич — 10...18 тыс. р.; дерево — 18...24 тыс. р.; ЛСТК — 20 тыс. р.; натуральный камень — 15...40 тыс. р. [2]. Исходя их приведенных данных, выбор застройщика в пользу применения газобетона очевиден. Производители строительных материалов, стимулируемые динамикой платежеспособного спроса, оперативно реагируют на запросы потребителей. По данным работы [3], в 2022 г. сохранилась положительная динамика объемов производства автоклавного газобетона. Особо ярко рост объемов выпуска газобетона проявился на фоне резкого снижения объемов выпуска керамических изделий (кирпич, поризованные блоки) и силикатных и бетонных блоков. С 2014 по 2022 гг. объемы выпуска стеновых материалов на основе силикатов упали на 56 %, стеновой керамики — на 56 %, различных бетонных блоков — на 15 %. Одновременно с этим выпуск автоклавного газобетона увеличился на 22 %. До половины всего рынка стеновых материалов занял газобетон, объемы выпуска которого составили более 16 млн м³. Согласно отчетным данным [4], общий объем производства автоклавного газобетона в 2020 г. составил 13,73 млн м³, на долю Сибирского федерального округа (СФО) приходится 12,7 % от общего объема производства. За 2022 г. в СФО построено 8,3 тыс. м² жилья [5]. При этом использовано не менее 1,1 млн м³ газобетона автоклавного твердения. Число специализированных предприятий России, занятых производством автоклавного газобетона, превысило 70 ед. Для этих высокоавтоматизированных заводов проектный объем производства газобетона превышает 16 млн м³ в год [6].

Таким образом, в настоящее время газобетон автоклавного твердения стал практически гегемоном на

рынке доступных конструкционно-теплоизоляционных материалов. Поэтому при практическом отсутствии действительных мер стимулирования продвигать на рынке альтернативные строительные материалы, производимые, например, из вторичных ресурсов и отходов, весьма затруднительно, малорентабельно. Для регионов, имеющих обширные территории, занятые лесными массивами, такими вторичными ресурсами являются древесные отходы.

Объемы вторичных древесных ресурсов, отходов лесопереработки весьма существенны. По данным FAOSTAT [7], суммарный объем лесозаготовки в мире в 2022 г. достиг 3,91 млрд м³. Около 6 %, или 236 млн м³, заготовлено в России. Относительно объемов вторичных древесных ресурсов и отходов древесины в РФ сведения сильно разнятся. В отдельных работах дается оценка в 35...40 млн м³ [8; 9]. Некоторые авторы дают сведения об объемах отходов древесины до 75...112 млн м³ [10; 11]. Даже при частичном вовлечении в переработку столь значительных ресурсов возможны не только утилизация этих ресурсов, но и получение дополнительных доходов.

Государственная политика ряда стран (ЕС, США) предоставляет определенные налоговые и грантовые преференции предприятиям, работающим на основе использования древесной биомассы и отходов [12].

Весьма перспективным способом утилизации древесных отходов является производство древесно-минеральных композиционных строительных материалов, например, арболита. Арболит — легкий бетон с наполнителем в виде древесной дробленки [13–15]. Объем рынка строительных материалов, где арболит потенциально применим, только для СФО составляет не менее 1 млн м³. В качестве сырья для производства древесно-минеральных композитов, в частности арболита, чаще всего используются отходы деревообработки и лесопиления. Согласно нормативным требованиям ГОСТ 19222-2019, при производстве арболита древесная дробленка должна соответствовать определенным требованиям (иметь длину от 2...20 мм, желательна игольчатую либо пластинчатую форму). Органический наполнитель арболита может быть получен при измельчении посредством рубительных машин, молотковых мельниц, дробилок низкокачественной древесины и отходов в виде реек, горбыля, оторцовок, шпона-рванины, карандашей и т. п., получаемых из кусковых отходов или некачественной древесины (горбылей, реек, обрезков лесосечных отходов, шпона и т. д.).

Согласно требованиям ГОСТ 19222-2019, содержание коры допускается не более 10 %, древесной зелени, хвои — не более 5 % по массе [16]. Стандарт допускает применение различных пород древесины, а также комплексные органические и неорганические заполнители, такие как опилки, стружка, отходы производства оцилиндрованных бревен, комбинации пористых и плотных заполнителей.

Относительно процентного содержания коры в исходном сырье для производства арболита могут быть существенные отклонения, обусловленные самой природой и видом исходного сырья (например, горбыль) и соответствующей доли коры в общем

объеме исходного сырья. Соотношение объемов стволовой древесины и коры зависит от таких факторов, как возраст дерева, его порода, класс бонитета. Относительный объем коры в стволовой части дерева, основных пород, проясняемых для производства арболита, составляет для сосны 10...16, ели 6...13, кедра 6...10, пихты 11...19, осины 11...20, березы 13...15 % [17]. Таким образом, обеспечить требование стандарта ГОСТ 19222-2019 в части содержания коры в древесном сырье без проведения окорки затруднительно. В принципе, при переработке массивной стволовой древесины в виде балансового долготья, дровяной древесины выполнение требования по 10%-ному содержанию коры в идеальных условиях теоретически возможно. Однако из такого сырья арболит практически не производят. Основным же видом сырья являются отходы лесопиления в виде горбыль и реек. По сравнению со стволовой древесиной, горбыль отличается повышенным содержанием коры. По данным работы [18], содержание коры в горбыле составляет в среднем 37 % с колебаниями от 18,0 до 71,6 %.

Окорка такого сырья, как горбыль, рейки, весьма затруднительна, поскольку практически отсутствует серийное промышленное оборудование для удаления коры со столь разнообразного по форме и размерам предмета труда. Большинство производителей арболита полностью исключают технологическую операцию окорки или просто не берут в переработку горбыль со значительным содержанием коры. Исходя из вышесказанного, сформулируем цель и задачи исследования.

Целью исследования является определение влияния содержания коры в древесной дробленке на плотность, прочность и теплопроводность древесно-минерального композита (арболита), изготовленного на основе этой дробленки и минерального карбонатного вяжущего.

Предмет исследования — плотность, прочность, теплопроводность древесно-минерального композита.

Задачи исследования.

1. Дать оценку свойств коры и их влияния на свойства арболита;
2. Изготовить экспериментальные образцы арболита из сырья с различным содержанием коры;
3. Исследовать влияние содержания коры на прочностные и теплотехнические свойства арболита.
4. Сравнить эксплуатационные показатели древесно-минерального композита с материалами-конкурентами (применительно к строительным материалам).

Горбыль и рейки, используемые в качестве сырья при производстве арболита, представляют собой отходы лесопиления. Сырьем для лесопиления является пиловочник, представляющий мерные отрезки стволовой древесины определенного качества. В процессе естественного роста и развития дерево образует собственно древесину, снаружи которой находится слой коры. На границе древесины и коры находится слой камбия. Кора является естественным защитным слоем, предотвращающим повреждение дерева, влиянием перепадов температур, снижающим скорость испарения влаги. Толстая кора взрослого

дерева содержит наружный слой в виде корки и внутренний слой в виде луба. Корка является, по сути, частицами отмершего луба, содержит прослойки передермы, состоящей в основном из пробковых клеток. Пробковые клетки вытянутой многогранной формы расположены радиально, после формирования практически сразу отмирают, формируя корку. Стенки пробковых клеток содержат воск и суберин. Содержание целлюлозы в корке в 4...10 раз меньше, чем в древесине. Воск и суберин являются гидрофобными веществами и обеспечивают непроницаемость клеточной стенки для воды. Прочность коры значительно ниже прочности древесины. Все эти отличия формируют различное поведение частиц древесины и коры при формировании древесно-цементного конгломерата в процессе производства арболита. Исходя из исходных физико-механических свойств древесины и коры, можно предположить снижение плотности, прочности и теплопроводности арболита по мере увеличения содержания коры в составе древесной дробленки. Основной проблемой при производстве древесно-минеральных композитов является ограниченная совместимость органического наполнителя (древесина и кора) и минерального вяжущего, поскольку растворимые в органическом наполнителе химические вещества замедляют или останавливают гидратацию цемента, что приводит к меньшей механической прочности древесно-минеральных композитов по сравнению с показателями исходного сырья [19].

Объектом исследования является древесно-минеральный композит (арболит), представляющий собой легкий бетон с органическим древесным наполнителем. *Предмет исследования* — влияние процентного содержания коры в древесной дробленке на плотность, теплопроводность и прочность арболита.

Образцы кубической формы, размерами 100×100×100 мм изготавливались из следующих компонентов: сосновая древесная дробленка, портландцемент ПЦ 500-Д0 ГОСТ 10178-85 (красноярский цемент), сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$. Древесная дробленка предоставлена предприятием «Арболит SibAR». Завод по производству арболита SibAR расположен в Красноярском крае, д. Лукино. Предприятие является производителем древесно-минеральных композитов (блоков из арболита различной формы, размеров и назначения). Соотношение компонентов, использованных при изготовлении экспериментальных образцов, (по массе), приведено в табл. 1.

Таблица 1. Соотношение компонентов

Смесь, г	1	2	3
Древесина	500	425	350
Кора	–	75	150
Цемент ПЦ-500	500	500	500
$Al_2(SO_4)_3$	40	40	40

Предварительно измельчению подвергалась древесина без коры. Затем для смеси 2 и 3 была

добавлена измельченная кора, по 75 и 150 г (17,6 и 43 % от навески древесины) для каждого вида смеси. Кора измельчалась на той же рубительной машине, на которой измельчалась древесина. Использовалась рубительная машина кустарного производства с дополнительным молотковым измельчителем. Затем полученная дробленка просеивалась на анализаторе щепы АЛГ-1 с ситами размерами 20; 10; 5 мм (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2. Остатки на ситах, %

Смесь Диаметр отверстия сита, мм	1	2	3
	20	2	4
10	25	23	20
5	46	38	33
Поддон	27	35	42



Рис. 1. Древесная дробленка с различным содержанием коры

В табл. 3 приведены требования ГОСТ 19222-2019 по гранулометрическому составу древесной дробленки.

Таблица 3. Нормативный состав дробленки по ГОСТ 19222-2019

Диаметр отверстий сита, мм	Содержание дробленки на ситах, % по объему
20	До 5 включительно
10	От 25 до 50 включительно
5	От 40 до 75 включительно
2,5	От 70 до 100 включительно

Также в стандарте сказано, что состав дробленки может определяться сами производителем с гарантированным обеспечением его стабильности. Таким образом, состав дробленки может варьироваться в весьма широких пределах.

Экспериментальные образцы арболита изготавливались в следующем порядке. Сначала в воде растворялся сульфат алюминия. Затем в воду на 10 мин помещалась древесная дробленка для предварительного замачивания, после чего минерализованная дробленка вручную перемешивалась с портландцементом. Водоцементное соотношение из-за высокого водопоглощения древесной дробленкой достигало 1,2...1,3. При меньшем соотношении сформировать образцы не удавалось. Влажность древесины, поступающей в измельчение, не измерялась. Измельчались окоренный горбыль и рейка,

визуально находящиеся практически в воздушно-сухом состоянии из-за длительного хранения в условиях устойчивых высоких летних температур. Полученной смесью заполнялись разъемные металлические формы кубической формы с размерами 100×100×100 мм. Проводилось ручное трамбование. В соответствии с требованием ГОСТ 19222-2019 изготавливалось по 6 образцов каждого вида. Сушка образцов проводилась при комнатной температуре (+18...+22 °С). После 7 суток выдержки в формах образцы освобождались из форм и маркировались. Полученные образцы арболита находились в помещении при комнатной температуре в условиях естественной влажности 28 суток, до момента набора прочности. По истечении 28 суток определялась масса образцов и рассчитывалась их плотность. Теплопроводность экспериментальных образцов определялась на основе метода нагретого зонда (ГОСТ 30256-94). В работе использовался прибор МИТ-1, который служит для определения теплопроводности теплоизоляционных, конструкционных, строительных материалов методом нагретого зонда (рис. 2). Измерительный зонд прибора помещался внутрь образцов арболита. Для этого в образцах сверлом делались отверстия диаметром 6 мм.



Рис. 2. Измерение массы, теплопроводности и прочности образцов

Предел прочности при сжатии образцов определялся на гидравлическом испытательном прессе FM11/2612. Образец арболита размещался между подвижными основаниями гидропресса. Включался привод, осуществлялось нагружение образца, определялся и записывался момент потери прочности (разрушения) образца. Фиксировался результат (показание динамометра гидропресса), после чего проводилась камеральная обработка экспериментальных данных. За момент разрушения принимался случай потери пропорциональности действующей нагрузки и деформации, когда образец выходил из зоны действия гуковских сил. Таким образом, испытаниям подвергались все 18 образцов. Данные заносились в журнал наблюдений, затем определялись средние показатели и величины. Полученные экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики, определялись основные статистические показатели, корреляционные коэффициенты с уровнем достоверности $R = 0,95$.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований приведены в табл. 4 и визуализированы (рис. 3–5).

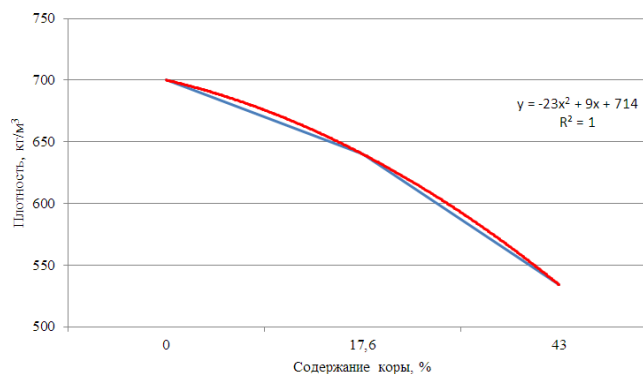


Рис. 3. График зависимости плотности арболита от процентного содержания коры в дробленке

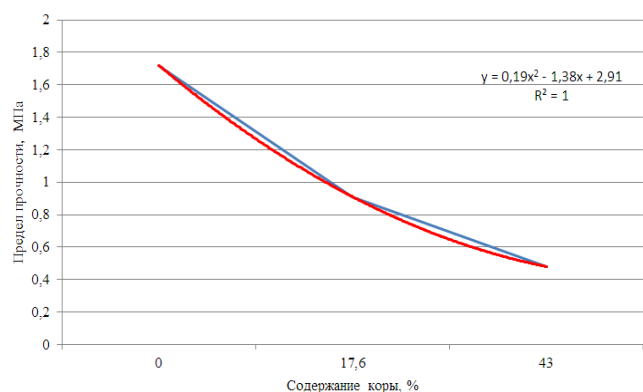


Рис. 4. График зависимости предела прочности арболита при сжатии от процентного содержания коры в дробленке

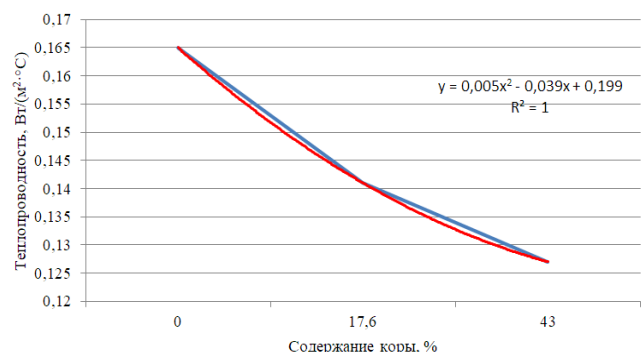


Рис. 5. График зависимости теплопроводности арболита от процентного содержания коры в дробленке

Результаты показывают, что полученные зависимости плотности, прочности и теплопроводности от содержания коры в древесной дробленке хорошо аппроксимируются полиномиальной функцией вида:

$$Y = ax^2 + bx + c,$$

где a , b , c — соответствующие эмпирические коэффициенты, равные:

- для плотности $a = -23$; $b = 9$; $c = 714$;
- для прочности $a = 0,19$; $b = -1,38$; $c = 2,91$;
- для теплопроводности $a = 0,005$; $b = -0,039$; $c = 0,199$.

Максимальный коэффициент детерминации (R^2) соответствует полиномиальной функции 2-й степени.

Еще на этапе подготовки древесного заполнителя можно было сделать определенные предположения о характере влияния высокого содержания коры на

показатели древесно-минерального композита. Из данных табл. 1 видно, что при добавлении коры, с одной стороны, увеличивается содержание частиц, не проходящих через сито 20 мм, с другой стороны, кора как менее прочный материал (по сравнению с древесиной) при прохождении через рубильную машину интенсивно измельчается и истирается, поэтому растет доля пылевой дробленки в поддоне анализатора АЛГ-1. Доля наиболее значимых в плане обеспечения прочностных показателей древесно-минерального композита частиц игольчатой формы с сечением до 5 мм (в чистой дробленке без коры доля таких частиц 46 %) при увеличении навесок коры снижается до 38 и 33 %. Можно предположить, что прочность арболита будет снижаться так же, как и его плотность.

Таблица. 4. Результаты исследования

Смесь	1	2	3
Плотность, $кг/м^3$	700	640	534
Предел прочности (сжатие), МПа	1,72	0,91	0,48
Коэффициент теплопроводности материала, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$	0,165	0,141	0,127

Согласно полученным фактическим данным, доля коры в 17,6 % от навески древесины снижает прочность арболита при сжатии практически в 2 раза (1,72 и 0,92 МПа, соответственно, группы В2 и В1). При соотношении 43 % коры от навески древесины полученный материал вовсе перестает быть конструкционным, переходя в категорию исключительно теплоизоляционных (0,48 МПа, группа В0,5). Наличие коры в составе древесной дробленки существенно влияет на плотность и теплопроводность. И плотность, и теплопроводность снижаются с увеличением доли коры в древесной дробленке. Однако если показатель теплопроводности улучшается на 23 %, прочность при этом снижается в 2,7 раза (для сравниваемых рецептов вообще без коры в дробленке и с добавлением 43 % коры).

Рассматривая конкурирующие материалы, имеющие широкое распространение (в качестве конструкционных и теплоизоляционно-конструкционных строительных материалов), следует обратить внимание на газобетон автоклавного твердения. Именно этот материал находит широчайшее применение в области индивидуального жилищного строительства. В качестве основных сравнительных критериев будем использовать коэффициент теплопроводности, прочность при сжатии, плотность материала.

Практическая значимость таких показателей, как плотность или прочность, весьма объективна, и в нормативной литературе и исследованиях многих авторов имеется достаточно данных. Что касается показателей теплопроводности, то имеются определенные проблемы в области несоответствия реальных показателей и информации, имеющейся в рекламных проспектах производителей материалов.

В значительной степени величина теплопроводности материала зависит от его влажности. Согласно экспериментальным данным работы [20], при

изменении влажности ограждающей конструкции, изготовленной из газобетона автоклавного твердения, от 0 до 20 % показатель теплопроводности изменяется от 0,215 до 0,331 Вт/(м²·°С). Исследовалась конструкция здания в целом, поэтому теплопроводность самого материала без учета влияния теплотехнических неоднородностей будет несколько ниже. В работе [21] теплопроводность газобетона марки D500 в кладке при расчетной влажности $W = 5\%$ определена как 0,182 Вт/(м²·°С). Однако по требованиям ГОСТ 31359–2007 теплопроводность должна составлять 0,147 Вт/(м²·°С). В работе [22] показатель теплопроводности газобетона D500 составил 0,243 Вт/(м²·°С) для газобетона, находящегося в условиях открытого хранения и воздействия осадков. С достаточной точностью и достоверностью для равновесной влажности материала, находящегося в составе конструкции (с учетом влажностного режима эксплуатации объекта), для газобетона автоклавного твердения марки D500 следует принять реальную величину показателя теплопроводности в диапазоне 0,18...0,25 Вт/(м²·°С). Именно в этой области находится фактический показатель теплопроводности древесно-минерального композита (арболита), определенный в процессе наших исследования (табл. 4), следовательно, по тепловой эффективности газобетон автоклавного твердения и арболит — сопоставимые материалы-конкуренты, не имеющие принципиальных преимуществ (при сопоставимой плотности и прочности).

Автоклавный газобетон средней плотности является конструкционно-теплоизоляционным материалом, предел прочности которого зависит от плотности материала и для газобетона D500 составляет 2,43...3,5 МПа [23; 24]. Сравнивая эти величины с полученными экспериментальными данными прочности арболита (табл. 4), можно сделать вывод, что при равной плотности с древесно-минеральным композитом автоклавный газобетон имеет более высокие прочностные показатели. Однако сравнительно высокие абсолютные величины предела прочности вовсе не гарантируют высокую механическую прочность конструкции.

Наряду с показателем предела прочности, важнейшим является способность материала не разрушаться, испытывая деформации. Одной из основных деформационных характеристик бетона является значение предельной относительной деформации при действии усилий (например, сжатия). Согласно СП 63.13330.2018, модуль упругости ячеистого бетона автоклавного твердения D500 равен $1,1 \cdot 10^3$ МПа. Для арболита этой же группы прочности модуль Юнга по ГОСТ 1922-2019 принимается равным $1,510^3$ МПа. Таким образом, стеновая конструкция из древесно-минерального композита при практически идентичных теплоизоляционных показателях конструкции из газобетона способна без разрушения

выдерживать на 27 % большие деформации. Это очень важно, поскольку обеспечить стабильность фундамента, сроки застройки и исключение явлений морозного пучения грунта (или применение эффективных меры против этих явлений) частный индивидуальный застройщик часто не в состоянии. Поэтому очень часто застройщик сталкивается весной с трещинами в газобетонных стенах объекта, который осенью выглядел вполне благополучно. Легкие бетоны с органическим наполнителем отличаются от традиционного хрупкого разрушения обычных бетонов и близки к пластично-текущему разрушению древесины. Выводы коррелируют с данными работы [25]. Возможность работы конструкции из древесно-минерального композита в условиях сравнительно высокой подвижности фундамента существенно снижает требования к квалификации застройщика, применяемым материалам и качеству работ.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования свойств композиционных материалов — легких бетонов, изготовленных на основе органического наполнителя — древесной дробленки и минерального вяжущего позволили установить в целом негативное влияние высокого содержания коры в дробленке на эксплуатационные показатели получаемого материала. Установлено, что высокое содержание коры при незначительном улучшении теплоизоляционных показателей арболита приводит к критическому снижению показателей его прочности, что существенно снижает область применения материала. Переход из класса прочности В2 в В0,5 исключает применение материала как конструкционного, несущего или самонесущего. Применение такого арболита исключительно как теплоизоляционного также весьма сомнительно, поскольку полученный материал начинает конкурировать с весьма эффективными материалами (минеральные ваты, пенопласты и т. п.). Существует перспективная область применения такого утеплителя в качестве монолитного теплоизоляционного наполнителя трехслойных крупногабаритных блоков и панелей из арболита. В этом случае получают конструкции с достаточными теплоизолирующими показателями и определенной массивностью, весьма полезной, например, в случае периодической генерации тепловой энергии жилого объекта. За счет большей массивности теплоемкости в процессе тепловой генерации такие конструкции активно «запасают» тепло и «отдают» его в помещении при остывании [26]. В общем случае, при изготовлении арболита по требованиям ГОСТ 1922-2019 материал по прочности и теплопроводности не уступает газобетону автоклавного твердения, существенно превосходя его по величинам допустимых деформаций без критического разрушения конструкции.

Литература

1. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и

потребления на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-п // Собрание законодательства РФ. 2018. № 6. Ст. 920.

2. Из чего построить загородный дом и сколько это стоит [Электронный ресурс]. URL: <https://stroygaz.ru/publication/materials/iz-chego-postroit-zagorodnyy-dom-i-skolko-eto-stoit/> (дата обращения: 10.05.2024).
3. Газобетонные аргументы: эксперты рассказали «СГ» о роли современных стройматериалов в развитии ИЖС в стране [Электронный ресурс]. URL: <https://stroygaz.ru/publication/materials/gazobetonnye-argumenty-eksperty-rasskazali-sg-o-rol-i-sovremennykh-stroymaterialov-v-razviti-i-zhs-v-/> (дата обращения: 10.06.2024).
4. НААГ. Статистика [Электронный ресурс]. URL: <https://gazo-beton.org/statistika-po-yab-/> (дата обращения: 15.06.2024).
5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: стат. сб. / Росстат. М., 2023. 1126 с.
6. Гринфельд Г.И., Вишневецкий А.А., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России в 2017 году // Строительные материалы. 2018. № 3. С. 62-64.
7. FAOSTAT [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (дата обращения: 15.06.2024).
8. Дитрих В.И., Андрияс А.А., Пережилин А.И., Корпачев В.П. Оценка объемов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 3-4. С. 346-351.
9. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 10. С. 148-155.
10. Марченко О.В., Соломин С.В., Козлов А.Н. Возможности использования древесных отходов в энергетике России // Экология и пром-сть России. 2019. Т. 23, № 6. С. 17-21.
11. Левин А.Б. Биоэнергетика - важнейшее средство повышения энергоэффективности лесного комплекса России // Изв. МГУЛ. Лесной вестн. 2012. № 8. С. 160-165.
12. Turner James, Buongiorno Joseph, Zhu Shushuai, Prestemon Jeffrey. The U.S. forest sector in 2030: Markets and competitors // Forest Products Journal. 2005. 55 (5). P. 28-36.
13. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. М.: Стройиздат, 1990. 415 с.
14. Арболит / под ред. Г.А. Бужевича. М.: Стройиздат, 1968. 243 с.
15. Долматов С.Н., Колесников П.Г. Технологии древесно-минеральных композитов в условиях сырьевой базы Сибирского региона. Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирский гос. ун-т науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева», 2024. 148 с.
16. ГОСТ 19222-2019. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. Введ. 01.01.2020. М.: Стандартинформ, 2019. 32 с.
17. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Академия, 2004. 272 с.
18. Васильев В.В. Структура древесного сырья на заводах древесностружечных плит разной мощности // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2022. Вып. 238. С. 137-151.
19. Zhengtian L., Moslemi A.A. Effect of western larch extracts on cement setting // Forest Products Journal. 1986. 36 (1). P. 53-54.
20. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И. Эксплуатационная влажность автоклавного газобетона в стеновых конструкциях // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8 (71). С. 22-40.
21. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И. Расчетные теплотехнические характеристики стен из автоклавных газобетонных блоков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 6 (69). С. 35-58.
22. Михайлов И.П., Абрамов Н.А., Долматов С.Н. Определение фактической теплопроводности конструкционных материалов малоэтажного домостроения в СФО // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины: сб. ст. Всерос. науч.-практической конф. (24 марта 2023 г.). Красноярск, 2023. С. 227-234.
23. Ferretti D., Michelini E., Rosati G. Mechanical characterization of autoclaved aerated concrete masonry subjected to in-plane loading: Experimental investigation and FE modeling. Construction and Building Materials. 2015. № 98. P. 353-365.
24. Ferretti Daniele, Michelini Elena, Rosati G. Cracking in autoclaved aerated concrete: Experimental investigation and XFEM modeling - In: Cement and concrete research. 2015. 67. P. 156-167.
25. Тихонов Ю.М., Аубакирова И.У., Головина С.Г., Коломиец И.В. Аэрированные легкие растворы и бетоны с применением пористых заполнителей и изделия на их основе. СПб.: С.-Петербург. гос. архитектурно-строительный ун-т, 2021. 202 с.
26. Долматов С.Н. Анализ теплозащитных показателей ограждающих конструкций объектов малоэтажного домостроения лесных и сельских районов в условиях периодической генерации тепловой энергии // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 181-188.

References

1. Industrial development strategy for processing, recycling and neutralization of production and consumption waste for the period up to 2030: rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25.01.2018 № 84-р // Sobranie zakonodatel'stva RF. 2018. № 6. St. 920.
2. What to build a country house from and how much does it cost [Elektronnyj resurs]. URL: <https://stroygaz.ru/publication/materials/iz-chego-postroit-zagorodnyy-dom-i-skolko-eto-stoit/> (data obrashcheniya: 10.05.2024).
3. Aerated concrete arguments: experts told SG about the role of modern building materials in the development of residential housing in the country [Elektronnyj resurs]. URL: <https://stroygaz.ru/publication/materials/gazobetonnye-argumenty-eksperty-rasskazali-sg-o-rol-i-sovremennykh-stroymaterialov-v-razviti-i-zhs-v-/> (data obrashcheniya: 10.06.2024).
4. NAAG. Statistics [Elektronnyj resurs]. URL: <https://gazo-beton.org/statistika-po-yab-/> (data obrashcheniya: 15.06.2024).
5. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2023: stat. sb. / Rosstat. M., 2023. 1126 p.
6. Grinfel'd G.I., Vishnevskij A.A., Smirnova A.S. Autoclave aerated concrete production in Russia in 2017 // Stroitel'nye materialy. 2018. № 3. P. 62-64.
7. FAOSTAT [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (data obrashcheniya: 15.06.2024).
8. Ditrh V.I., Andriyas A.A., Perezhilin A.I., Korpachev V.P. Estimation of volumes and possible ways of using logging waste on the example of the Krasnoyarsk Territory // Conifers of the boreal area. 2010. V. XXVII, № 3-4. P. 346-351.
9. Andreev A.A. Resource conservation and use of waste from harvesting and processing of wood raw materials // Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty. 2014. № 10. P. 148-155.
10. Marchenko O.V., Solomin S.V., Kozlov A.N. The possibilities of using wood waste in the Russian energy sector //

- Ekologia i promyshlennost Rossii (Ecology and Industry of Russia). 2019. V. 23, № 6. P. 17-21.
11. Levin A.B. Bioenergy is the most important means of increasing the energy efficiency of the Russian forest complex // *Izv. MSFU. Forestry Bulletin*. 2012. № 8. P. 160-165.
 12. Turner James, Buongiorno Joseph, Zhu Shushuai, Prestemon Jeffrey. The U.S. forest sector in 2030: Markets and competitors // *Forest Products Journal*. 2005. 55 (5). P. 28-36.
 13. Nanazashvili I.H. Building materials made of wood-cement composition. M.: Strojizdat, 1990. 415 p.
 14. Arbolite / pod red. G.A. Buzhevicha. M.: Strojizdat, 1968. 243 p.
 15. Dolmatov S.N., Kolesnikov P.G. Technologies of wood-mineral composites in the conditions of the raw material base of the Siberian region. Krasnoyarsk: FGBOU VO «Sibirskij gos. un-t nauki i tekhnologii im. akad. M.F. Reshetneva», 2024. 148 p.
 16. GOST 19222-2019. Arbolite and products made from it. General technical conditions. Vved. 01.01.2020. M.: Standartinform, 2019. 32 p.
 17. Ugolev B.N. Wood science and forest commodity science. M.: Akademiya, 2004. 272 p.
 18. Vasil'ev V.V. The structure of wood raw materials in chip-board plants of different capacities // *Izvestia SPbLTA*. 2022. Vyp. 238. P. 137-151.
 19. Zhengtian L., Moslemi A.A. Effect of western larch extracts on cement setting // *Forest Products Journal*. 1986. 36 (1). P. 53-54.
 20. Kornienko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S., Ol'shevskij V.Ya., Pestryakov I.I. Operating humidity of autoclaved aerated concrete in wall structures // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018. № 8 (71). P. 22-40.
 21. Kornienko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S., Ol'shevskij V.Ya., Pestryakov I.I. Calculated thermal characteristics of walls made of autoclaved aerated concrete blocks // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018. № 6 (69). P. 35-58.
 22. Mihajlov I.R., Abramov N.A., Dolmatov S.N. Determination of the actual thermal conductivity of structural materials of low-rise housing construction in the SFD // *Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. st. Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (24 marta 2023 g.)*. Krasnoyarsk, 2023. P. 227-234.
 23. Ferretti D., Michelini E., Rosati G. Mechanical characterization of autoclaved aerated concrete masonry subjected to in-plane loading: Experimental investigation and FE modeling. *Construction and Building Materials*. 2015. № 98. P. 353-365.
 24. Ferretti Daniele, Michelini Elena, Rosati G. Cracking in autoclaved aerated concrete: Experimental investigation and XFEM modeling - In: *Sement and concrete research*. 2015. 67. P. 156-167.
 25. Tihonov Yu.M., Aubakirova I.U., Golovina S.G., Kolomic I.V. Aerated light mortars and concretes using porous aggregates and products based on them. SPb.: S.-Peterb. gos. arhitekturno-stroitel'nyj un-t, 2021. 202 p.
 26. Dolmatov S.N. Analysis of heat-protective indicators of enclosing structures of low-rise housing construction objects in forest and rural areas under conditions of periodic generation of thermal energy // *Systems. Methods. Technologies*. 2023. № 4 (60). P. 181-188.