

УДК 67.03

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

Титова С.А., Васильев С.Б.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»,
Петрозаводск, e-mail: s-28@mail.ru, servas@psu.karelia.ru

Целью данной работы являлось изучение влияния размера древесных частиц, составляющих отсев, используемый в качестве заполнителя, на коэффициент теплопроводности древесно-цементного композита. В результате исследования было установлено, что материал, состоящий из отсева, воды и добавок, соответствует нормам по теплопроводности, предъявляемым к бетонам на органических заполнителях растительного происхождения, и может быть применён для изготовления строительных материалов. Указанные материалы можно эффективно использовать в малоэтажном домостроении в субарктической зоне Российской Федерации. Размер частиц отсева, применённого в качестве заполнителя, оказывает влияние на коэффициент теплопроводности готового древесно-цементного блока. С увеличением размера частиц древесного заполнителя увеличивается теплопроводность строительного блока, снижая тем самым теплозащитные функции материала. Наилучший результат среди исследованных показал древесно-цементный композит, при изготовлении которого в качестве заполнителя использовались древесные частицы с наибольшим размером менее 2 мм и более 1 мм. Это может быть обусловлено более полным и равномерным заполнением объема блока древесными частицами и уменьшает толщину прослоек цементного вяжущего между ними, что и является основной причиной снижения теплопроводности древесно-цементного композита.

Ключевые слова: производство щепы, отсев, древесно-цементный композит, теплопроводность

THE INFLUENCE OF AGGREGATE WOODEN PARTICLES SIZE ON THERMAL CONDUCTIVITY OF WOOD COMPOSITE WITH CEMENT BINDER

Titova S.A., Vasilev S.B.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: s-28@mail.ru, servas@psu.karelia.ru

The goal of this work was to fix correlation between the size of the wood particles making the fines used as a filler and thermal conductivity of a wood composite with cement binder. As a result of research it has been established that the material consisting of fines, water and additives meets the standards on thermal conductivity shown to concrete on organic fillers and it can be applied to production of construction materials. The specified materials can be used effectively in low housing construction for a subarctic zone of the Russian Federation. The size of particles of the fines applied as filler exerts impact on coefficient of thermal conductivity of the block of wood composite with cement binder. The increase in the size of wood particles of filler leads to thermal conductivity of the construction block increase and reduce thereby cold-resisting property functions of material. The best result among investigated has shown a wood composite with cement binder at which production as filler wood particles with the largest size smaller than 2 mm and bigger than 1 mm were used. It can be effect of fuller and uniform filling of volume of the block with wood particles and a reduce of cement binder layers thickness between them. This result in decrease of thermal conductivity of a wood composite with cement binder.

Keywords: chips manufacturing, fines, wood composite with cement binder, thermal conductivity

В производстве технологической щепы образуется значительное количество отходов. В число этих отходов входят и безвозвратные потери в виде отсева. Они формируются в процессе фракционирования всех древесных частиц, полученных в результате измельчения сырья в рубительной машине. Образование этой фракции неизбежно ввиду невозможности контролировать положение баланса в загрузочном патроне дисковой рубительной машины при гравитационной подаче сырья. Кроме того, появлению отсева способствует большое количество короткомеров (до 60%) в сырье, поступающем на измельчение [5]. Короткомеры не только сами неверно ориентируются во время рубки, но и вызывают неправильную ориентацию балансов [3, 8, 11].

Как правило, в настоящее время отсев отправляется на сжигание для получения тепловой энергии. В то же время известно немало других способов утилизации измельчённых древесных частиц, к которым относится и отсев, например использование в производстве строительных материалов [1, 2, 7, 9]. В древесно-цементных композициях измельчённые древесные частицы выступают в качестве заполнителя. Это «каркас» композита, а значит, от него во многом зависят его основные свойства. Экологичность и прочность не единственные достоинства древесины, важным её свойством в силу особенностей структуры является невысокая теплопроводность, это даёт основания прогнозировать у материалов на её основе хорошие теплозащитные функции.

Отсев, используемый в качестве заполнителя, весьма неоднороден по фракционному составу. Это древесные частицы, прошедшие через нижнее сито с квадратными отверстиями и снятые с поддона сортировки. Размер стороны квадратного отверстия колеблется на разных производствах от 9 до 4 мм. Такие частицы могут использоваться для производства древесно-цементных композитов, которые могут быть отнесены к классу, регламентируемому ГОСТ Р 54854-2011 «Бетоны легкие на органических заполнителях растительного происхождения. Технические условия». Будучи близки по своим свойствам к «арболиту», эти композиты не должны противоречить действующему ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия» в области своих эксплуатационных свойств.

Ранее авторами были проведены исследования древесно-цементных композитов, изготовленных с использованием отсева. В результате этих исследований было установлено, что размер древесных частиц заполнителя оказывает влияние на прочность композита при сжатии [4, 10]. В соответствии с этим целью данной работы являлось исследование влияния размера древесных частиц, составляющих отсев, используемый в качестве заполнителя, на коэффициент теплопроводности древесно-цементного композита.

Материалы и методы исследования

В качестве заполнителя в древесно-цементном композиционном строительном материале был использован отсев, образовавшийся при производстве технологической щепы из окорённых еловых балансов. Измельчение производилось дисковой рубильной машиной МРН-100. Отсев был выделен в результате фракционирования древесных частиц на гирационной сортировке СЩ-400. Размер стороны квадрата отверстия нижнего сита составлял 6 мм.

Полученный отсев был разделён на фракции в лабораторных условиях методом стратификации. Для проведения указанной процедуры использовался привод лабораторного анализатора, совершавшего гирационные колебания в горизонтальной плоскости амплитудой 20 мм, частотой – $3,5 \text{ с}^{-1}$. На указанном приводе был жёстко закреплён комплект сит диаметром 20 см, установленных друг на друга. Сита имели круглые отверстия, диаметр которых уменьшался от верхнего к нижнему ситам и составлял: 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм. Под нижним ситом располагался поддон. По результатам предыдущих исследований продолжительность просеивания была принята 60 с [6]. Остатки на ситах с диаметром отверстий 5; 3; 2; 1 мм были отобраны и использованы в качестве заполнителя древесно-цементного композита.

Для определения влияния крупности древесного заполнителя на теплопроводность композита были изготовлены четыре серии по шесть образцов размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$. Для всех четырёх серий состав смеси был одинаков: цемент, вода, отсев в качестве

заполнителя и добавки (сульфат алюминия и жидкое стекло) – дозировка компонентов осуществлялась по массе. Отличием одной серии от другой был только фракционный состав древесного заполнителя. В первой серии был применён отсев с размером частиц по наибольшему измерению менее 7 и более 5 мм (остаток на сите с диаметром отверстий сит 5 мм), во второй – менее 5 и более 3 мм (остаток на сите с диаметром отверстий сит 3 мм), в третьей – менее 3 и более 2 мм (остаток на сите с диаметром отверстий сит 2 мм), в четвёртой – менее 2 и более 1 мм (остаток на сите с диаметром отверстий сит 1 мм).

Методика изготовления образцов идентична для всех четырёх серий. Отсев, уложенный слоем 20 мм, предварительно высушивался в течение суток при комнатной температуре. Взвешивание необходимого количества заполнителя осуществлялось на электронных весах точно до 0,02 г. Минерализация отсева производилась путём её замачивания в растворе сульфата алюминия в течение суток. Затем отсев смешивался с цементом марки ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н по ГОСТ 31108-2003, а также с водой и жидким натриевым стеклом $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$. Перемешивание проводилось с помощью миксерной насадки дрели до получения однородного теста. Смесь укладывалась послойно в стандартные формы, предварительно смазанные минеральным маслом, и уплотнялась штыкованием при помощи металлического стержня с закруглённым концом диаметром 16 мм. По истечении суток образцы вынимались из опалубки.

До начала подготовки образцов к проведению исследования на теплопроводность устанавливалось значение их плотности. Для этого полученные образцы взвешивались и обмерялись. По итогам этих действий определялась плотность. В результате было установлено среднее значение плотности, равное 727 кг/м^3 .

Определение коэффициента теплопроводности проводилось зондовым методом через 28 суток с момента затворения смеси водой. Для этой цели был использован прибор ИТП-100-Зонд со стержнем диаметром 5 мм. Перед началом исследования в центре верхней грани образца перпендикулярно её поверхности высверливалось отверстие диаметром 6 мм и глубиной 50 мм, чуть превышающим толщину стержня, для свободного проникновения и в то же время чёткого касания поверхности исследуемого материала. Остриё стержня во время измерения располагалось равноудалённо от каждой грани. Готовность прибора к работе подтверждалась путём измерения теплопроводности имеющегося в комплекте эталонного образца. Испытание эталона проводится перед каждой серией. Каждое последующее испытание проводится только после промежутка приблизительно равного времени самого испытания, этот перерыв обусловлен особенностями прибора и необходим ему для выравнивания своей температуры с температурой окружающей среды. Зонд в этот момент должен быть вынут из отверстия. Измерение каждого образца проводилось один раз. В одной серии – шесть образцов. В данной работе исследованы четыре серии.

Результаты исследования и их обсуждение

Для установления статистической достоверности влияния крупности заполнителя на коэффициент теплопроводности образцов древесно-цементного композита

результаты измерений были подвергнуты дисперсионному анализу. Для чего из них был сформирован равномерный однофакторный комплекс с общим числом вариантов равным 24, где регулируемым фактором выступает фракционный состав заполнителя с числом градаций фактора, равным 4, а результативным признаком – измеренные для каждой группы коэффициенты теплопроводности. Для описания характеристики варьирования вариационных рядов по каждой градации регулируемого фактора использованы размах вариации и стандартное отклонение. Результаты представлены в табл. 1.

Фактическое значение дисперсионного отношения – критерия Фишера (F_{ϕ}), полученное в результате расчёта промежу-

точных характеристик, таких как степени свободы дисперсии, суммы квадратов, приведено в табл. 2.

Сравнение F_{ϕ} со стандартным значением критерия Фишера (F_{st}) для данных условий, показывает что $F_{\phi} < F_{st}$ ($4,5822 < 4,9382$) на уровне значимости 1%, что $F_{\phi} > F_{st}$ ($4,5822 > 3,0984$) на уровне значимости 5%. В связи с этим, можно заключить, что разница между коэффициентами теплопроводности древесно-цементных композитов из отсева разного фракционного состава не случайна с вероятностью 95% и влияние крупности заполнителя на коэффициент теплопроводности образцов строительных блоков древесно-цементного композита является статистически достоверным на уровне значимости 5%.

Таблица 1

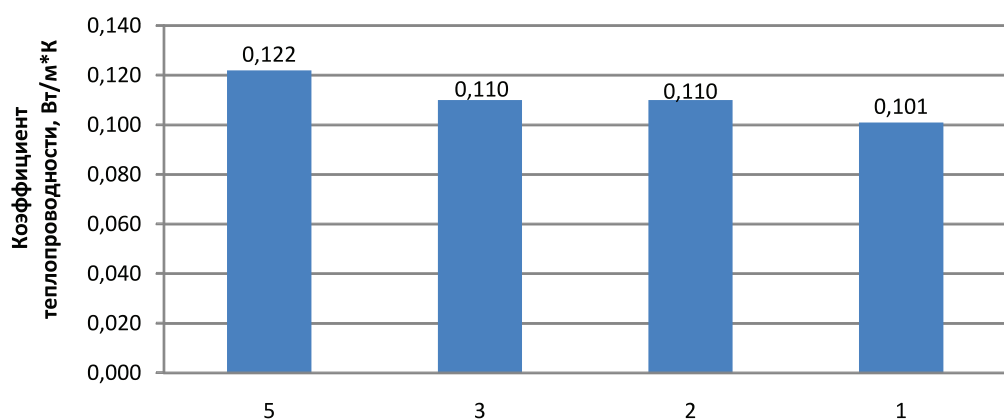
Характеристики вариационных рядов

Варианты	Показатели варьирования для образцов из отсева фракции более			
	5 мм	3 мм	2 мм	1 мм
Среднее арифметическое коэффициента теплопроводности, Вт/(м·К)	0,122	0,110	0,110	0,101
Размах вариации	0,040	0,022	0,014	0,017
Стандартное отклонение	0,01609555	0,00808497	0,00508593	0,00625033

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа

Вариация	Степени свободы (k)	Суммы квадратов (D)	Дисперсии (s^2)	Фактический критерий Фишера (F_{ϕ})	Стандартный критерий Фишера (F_{st})	
					5 %	1 %
Общая (y)	23	0,003285	0,000143	4,5822	3,0984	4,9382
Факториальная (A)	3	0,001338	0,000446			
Остаточная (z)	20	0,001947	0,000097			



Диаметр сит, мм, остаток с которых использовался в качестве заполнителя

Зависимость коэффициента теплопроводности от крупности частиц древесного заполнителя (средние значения)

Установив наличие связи между крупностью заполнителя и коэффициентом теплопроводности, можно говорить о характере зависимости (рисунок). В нашем случае пока можно заключить лишь, что с увеличением размера частиц заполнителя коэффициент теплопроводности растёт, а значит, теплотехнические характеристики ухудшаются.

Средняя плотность образцов по всем сериям составила 727 кг/м³, что соответствует группе арболитов с плотностью до 750 кг/м³ (ГОСТ 19222-84). Для неё коэффициент теплопроводности древесно-цементного композита не должен превышать более чем на 10% величину 0,15 Вт/(м·К). Средние значения коэффициента теплопроводности в рамках исследования составляют 0,122; 0,110; 0,110; 0,101 Вт/(м·К), что удовлетворяет требованиям к строительным материалам данного класса. Более того полученные материалы показали результат на 20...32% превосходящий требования стандарта. Это означает, что исследуемый материал обладает более высокими теплотехническими характеристиками, чем арболит.

Вывод

Исследуемый материал, состоящий из отсева, образующегося при производстве технологической щепы, цемента, воды и добавок, соответствует нормам по теплопроводности, предъявляемым к бетонам на органических заполнителях растительного происхождения, и может быть применён для изготовления строительных материалов. Указанные материалы можно эффективно использовать в малоэтажном домостроении в субарктической зоне Российской Федерации. Размер частиц отсева, применённого в качестве заполнителя, оказывает влияние на коэффициент теплопроводности готового древесно-цементного блока. С увеличением размера частиц древесного заполнителя увеличивается теплопроводность строительного блока, снижая тем самым теплозащитные функции материала. Наилучший результат среди исследованных показал древесно-цементный композит, при изготовлении которого в качестве заполнителя использовались древесные частицы с наибольшим размером менее 2 и более 1 мм. Это может быть обусловлено более полным и равномерным заполнением объема блока древесными частицами и уменьшает толщину прослоек вяжущего между ними, что и является основной причиной снижения теплопроводности древесно-цементного композита.

Список литературы

1. Андреев А.А., Колесников Г.Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для малоэтажного строительства // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–6. – С. 1139–1143.
2. Борисов А.Ю., Колесников Г.Н. Особенности заготовки древесины осины и использование отходов ее переработки на складах лесозаготовительных предприятий // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 244.
3. Васильев С.Б. Комплексные исследования процесса производства щепы // Resources and Technology. – 2003. – Т. 4. – С. 13–15.
4. Влияние фракционного состава отсева на прочностные характеристики материала из древесно-цементного композита / М.Ю. Городничина, С.А. Титова, С.Б. Васильев, И.О. Цулая // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции (23–27 июня 2014 г.). – 2015. – С. 56–60.
5. Девятникова Л.А., Емельянова Е.Г. Пути повышения эффективности использования древесного сырья на целлюлозно-бумажных комбинатах // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 2. – № 8 (129). – С. 65–68.
6. Параметры ситового анализа отсева, образовавшегося при производстве технологической щепы / С.Б. Васильев, С.А. Титова, А.В. Питухин, М.Ю. Городничина // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–4. – С. 664–667.
7. Переработка отходов древесно-подготовительного цикла целлюлозно-бумажного комбината в древесно-цементный материал / В.С. Копарев, С.Б. Васильев, М.В. Филичина, Г.Н. Колесников; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. – 103 с.
8. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу / Васильев С.Б., Девятникова Л.А., Колесников Г.Н., Симонова И.В. – Петрозаводск, 2013. – 92 с.
9. Титова С.А., Кузьменков А.А. Измельченная древесина: опыт и перспективы применения (на примере республики Карелия) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–10. – С. 2174–2177.
10. Титова С.А. Влияние крупности древесных частиц на плотность и теплопроводность щепоцементных блоков для малоэтажного строительства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия. – 2014. – Т.2, № 3–2(8–2). – С. 441–444. – ISSN 2308-8877.
11. Уточненная модель влияния длины баланса, измельчаемого в дисковой рубильной машине, на размеры частиц древесной щепы / Г.Н. Колесников, Л.А. Девятникова, Н.А. Доспехова, С.Б. Васильев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 105. – С. 413–425.

References

1. Andreev A.A., Kolesnikov G.N. Sovershenstvovanie tehnologii ispolzovaniya othodov lesopilnykh predpriyatij v proizvodstve drevesno-cementnykh materialov dlja malojetazhnogo stroitelstva // Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 6–6. pp. 1139–1143.

2. Borisov A.Ju., Kolesnikov G.N. Osobennosti zagotovki drevesiny osiny i ispolzovanie othodov ee pererabotki na skladaх lesozagotovitelnyh predpriyatij // *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2015. no. 1. pp. 244.
3. Vasilev S.B. Kompleksnye issledovanija processa proizvodstva shhepy // *Resources and Technology*. 2003. T. 4. pp. 13–15.
4. Vlijanie frakcionnogo sostava otseva na prochnostnye harakteristiki materiala iz drevesno-cementnogo kompozita / M.Ju. Gorodnichina, S.A. Titova, S.B. Vasilev, I.O. Cula-ja // *Derevjannoe malojetazhnoe domostroenie: jekonomika, arhitektura i resursoberegajushhie tehnologii: sbornik statej nauchno-prakticheskoy konferencii (23–27 ijunja 2014 g.)*. 2015. pp. 56–60.
5. Devjatnikova L.A., Emeljanova E.G. Puti povysheni-ja jeffektivnosti ispolzovanija drevesnogo syrja na cellju-loznobumazhnyh kombinataх // *Uchenye zapiski Petrozavod-skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehniicheskie nauki*. 2012. T. 2. no. 8 (129). pp. 65–68.
6. Parametry sitovogo analiza otseva, obrazovavshegos-ja pri proizvodstve tehnologicheskoy shhepy / S.B. Vasilev, S.A. Titova, A.V. Pituhin, M.Ju. Gorodnichina // *Fundamentalnye issledovanija*. 2015. no. 11–4. pp. 664–667.
7. Pererabotka othodov drevesno-podgotovitelnogo cikli celljulozno-bumazhnogo kombinata v drevesno-cement-nyj material / V.S. Koparev, S.B. Vasilev, M.V. Filichkina, G.N. Kolesnikov; M-vo obrazovanija i nauki Ros. Federacii, Feder. gos. bjudzhet. obrazovat. Uchrezhdenie vyssh. prof. Obra-zovanija Petrozavod. gos. un-t. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2016. 103 p.
8. Tehnologicheskie reshenija dlja realizacii potenciala resursoberezenija pri pererabotke kruglyh lesomaterialov na shhepu / Vasilev S.B., Devjatnikova L.A., Kolesnikov G.N., Si-monova I.V. Petrozavodsk, 2013. 92 p.
9. Titova S.A., Kuzmenkov A.A. Izmelchjonnaja drevesi-na: opyt i perspektivy primenenija (na primere respubliky Ka-relija) // *Fundamentalnye issledovanija*. 2013. no. 10–10. pp. 2174–2177.
10. Titova S.A. Vlijanie krupnosti drevesnyh chastic na plotnost i teploprovodnost shhepocementnyh blokov dlja malo-jetazhnogo stroitelstva // *Aktualnye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika*. Voronezh: Voronezh-skaja gosudarstvennaja lesotehniicheskaja akademija. 2014. T.2, no. 3–2 (8–2). pp. 441–444. ISSN 2308-8877.
11. Utochnennaja model vlijanija dliny balansa, izmel-chaemogo v diskovoj rubitelnoj mashine, na razmery chas-tic drevesnoj shhepy / G.N. Kolesnikov, L.A. Devjatnikova, N.A. Dospehova, S.B. Vasilev // *Politematicheskij setevoj jelek-tronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrar-nogo universiteta*. 2015. no. 105. pp. 413–425.