

УДК 674.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Андреев А.А., Колесников Г.Н.

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, e-mail: kgn@persu.ru

Цель работы – обзор публикаций, в том числе Интернет-ресурсов, и обоснование рекомендаций по совершенствованию технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве конструкционных и теплоизоляционных древесно-цементных композитных материалов для малоэтажного строительства. При обосновании рекомендаций приняты во внимание, в частности, результаты собственных экспериментальных исследований. Экспериментально исследована при одноосном сжатии прочность и жесткость образцов древесно-цементного композита как ортотропного материала. Диаграммы «сила (Н) – деформация (мм)» получены на испытательной машине SHIMADZU AG50kNX. Испытаны образцы в форме куба с ребром 10 см. Компоненты материала: опилки древесные, портландцемент, известь гидратная, жидкое стекло, сульфат алюминия (или хлорид кальция как альтернатива), волокно полипропиленовое, отходы переработки талькохлорита в виде порошка, вода. Для исследованного материала экспериментально подтверждено: 1) уменьшение водоцементного отношения от 1,0 до 0,8 повышает прочность и жесткость при сжатии на 40...50%; 2) отходы переработки талькохлорита в виде порошка могут быть использованы как компонент рассмотренного композита; 3) замена сульфата алюминия хлоридом кальция существенно повышает прочность древесно-цементного композита; 4) исследованный материал является анизотропным материалом, что необходимо учитывать в рекомендациях по его практическому использованию. Полученные экспериментальные результаты согласуются с известными по литературе данными.

Ключевые слова: древесно-цементный композит, опилки, ортотропный материал, прочность, жесткость, сульфат алюминия, хлорид кальция

IMPROVEMENT TECHNOLOGY OF USING SAWDUST IN THE MANUFACTURE OF WOOD-CEMENT MATERIALS FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

Andreev A.A., Kolesnikov G.N.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: kgn@persu.ru

In this paper, a brief review of publications, including Internet-resources, and justification of recommendations to improvement of using sawdust in the manufacture of wood-cement materials for low-rise construction. When justifying the recommendations is taken into account, in particular, the results of our own experimental research. Experimentally investigated strength and stiffness at uniaxial compression of wood-cement composite as a orthotropic material. The diagrams «Force (N) – Deformation (mm)» were obtained with using test machine SHIMADZU AG50kNX for samples in the form of a cube with an edge of 10 cm. Components of material: sawdust, Portland cement, hydrated lime, sodium silicate, aluminum sulfate (or calcium chloride, alternatively), polypropylene fiber, waste soapstone in form of powder, water. For the material investigated experimentally confirmed: 1) reducing the water-cement ratio from 1,0 to 0,8 increases the compressive strength by 40...50%; 2) the waste soapstone in form of powder can be used as a component of a considered composite; 3) replacement of aluminum sulfate by calcium chloride significantly increases the strength of composite; 4) examined material is a anisotropic material, what should be taken into account in the recommendations for its practical use. The experimental results are consistent with the known data of the literature.

Keywords: wood-cement composite, sawdust, orthotropic material, strength, rigidity, aluminum sulfate, calcium chloride

Рассматривается древесно-цементный композитный материал, который согласно [2] относится к классу легких бетонов на органических заполнителях растительного происхождения. Результаты, известные в данной области прикладных исследований, по состоянию на 1983 г. обобщены, в частности, в [9]. Поскольку с течением времени деревообрабатывающее оборудование совершенствуется, то, соответственно, изменяются характеристики опилок и стружки как органических заполнителей растительного происхождения для рассматриваемого древесно-цементного композита [12]. Это одна из причин продолжения исследований. Кроме того, появляются

новые микро- и наномодификаторы, применение которых позволяет повысить конкурентоспособность древесно-цементных материалов [6, 8, 15]. При этом не существует достаточно полной теории, позволяющей надежно прогнозировать прочность и жесткость рассматриваемого композита при эксплуатационных воздействиях [1–15]. Поэтому необходимо накопление и обобщение экспериментальных данных о свойствах данного материала.

В работе [5] показано, что добавка микрокремнезема позволяет повысить прочность древесно-цементного материала. В работах [13, 14] исследована прочность арболита с учетом анизотропии его

механических свойств. Однако остаются недостаточно изученными вопросы прочности и жесткости древесно-цементных материалов, а также влияние добавок в виде порошкообразных отходов камнеобработки, в частности – порошка талькохлорита.

Цель работы: экспериментальное исследование прочности и жесткости древесно-цементного композита как ортотропного материала с добавками микрокремнезема и, как альтернативы, отходов камнеобработки в виде порошка талькохлорита.

Материалы, методы и результаты

Объект исследования: образцы древесно-цементного композита в форме куба с ребром 100 мм. Образцы испытывались

сериями по шесть штук. Для каждой серии был принят определенный состав смеси, из которой изготавливались образцы.

Смесь № 1. Компоненты смеси в расчете на один кубический метр композитного материала: опилки древесные 365 кг, портландцемент (М400) 317 кг, известь гидратная 16 кг, жидкое стекло 43 кг, сульфат алюминия 20 кг, фиброволокно полипропиленовое (отрезки длиной 18 мм) 1 кг, вода 250 л. Влажность опилок от 32 до 38%. Водоцементное отношение равно $250/317 \approx 0,8$.

Смесью указанных выше компонентов послойно заполняли металлические формы (рис. 1). Визуально смесь воспринимается

как полусухая. Каждый слой уплотняли в соответствии с СН 549-82. Образцы извлекали из форм через 24 часа и нумеровали (рис. 2).



Рис. 1. Заполнение форм древесно-цементной смесью



Рис. 2. Образцы до и после извлечения из форм

Образцы набирали прочность при температуре 15–20°C. С течением времени масса образцов уменьшалась (рис. 3). Среднее значение массы образца в возрасте 2, 3, 7, 14 и 28 суток составило соответственно 855, 793, 651, 609 и 595 г (утолщенная линия на рис. 3).

Среднее значение плотности материала образцов в возрасте 28 суток равно 595 кг/м³. По критерию средней плотности данный материал, согласно ГОСТ Р 54854-2011, имеет марку D600 и относится к конструкционно-теплоизо-

ляционными материалам, которые должны иметь марку выше D500 до D900 включительно.

Теплопроводность композита в возрасте 28 суток определялась зондовым методом и составляла от 0,11 до 0,13 Вт/(м·К).

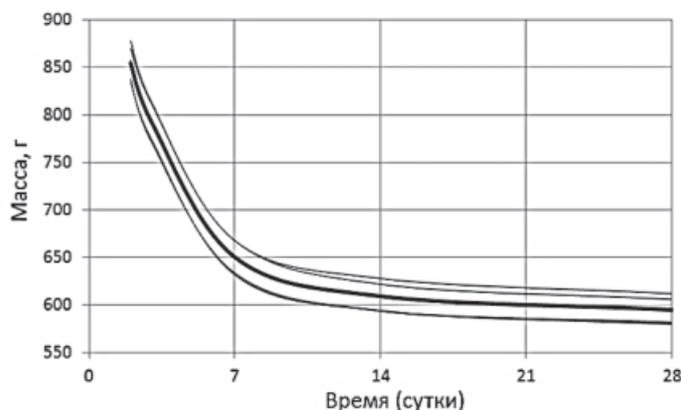


Рис. 3. Изменение массы образцов в течение 28 суток

Испытания образцов в возрасте 28 суток при одноосном сжатии выполнены на испытательной машине SHIMADZU AG50kNX. С учетом анизотропии механических свойств исследованы два случая:

- 1) направление действия силы параллельно указанным выше слоям;
- 2) направление действия силы перпендикулярно указанным выше слоям.

В указанном выше случае 1 образцы, изготовленные из смеси № 1, а также из указан-

ных ниже смесей № 2 и № 3, разрушались по характерной схеме с углом наклона плоскости сдвига примерно 45° (рис. 4, в центре). В случае 2 образцы не разрушались, однако имело место прессование и остаточные деформации материала (рис. 4, справа). Испытание прекращалось, если образец разрушался или если деформация образца по направлению действия силы достигала 25 мм. Результаты испытаний для трех серий образцов приведены в графической форме на рис. 5.



Рис. 4. Вид образцов (слева направо) до сжатия, при сжатии вдоль и поперек слоёв укладки древесно-цементной смеси

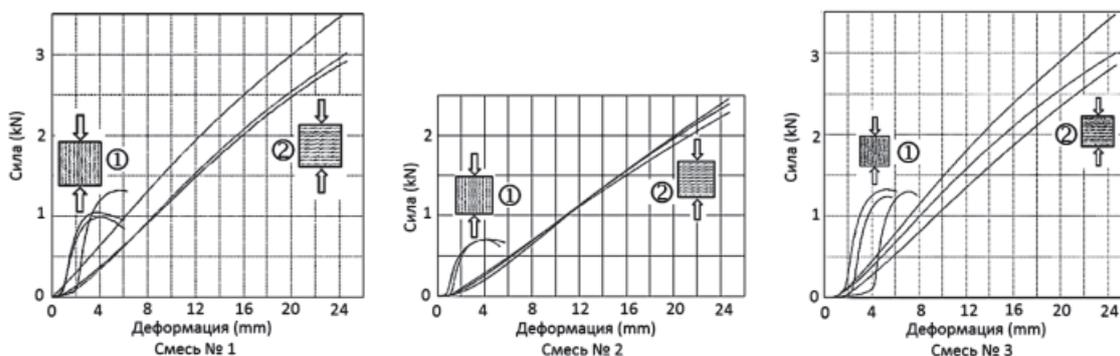


Рис. 5. Диаграммы сжатия образцов из смесей 1, 2 и 3 при сжатии вдоль (1) и поперек (2) слоев укладки смеси

При действии силы параллельно указанным выше слоям (случай 1) среднее значение разрушающей силы равно 11300 Н (1130 кгс), прочность равна 1,13 МПа (11,3 кгс/см²).

По критерию средней прочности (11,3 кгс/см²) данный материал, согласно ГОСТ Р 54854-2011 (приложение В), имеет класс прочности В0,75 (для которого средняя прочность на сжатие равна 10,85 кгс/см²) и по прочности на сжатие соответствует марке М10.

Для данного материала жесткость, характеризующая модулем упругости, от трех до пяти раз превышает жесткость при сжатии перпендикулярно указанным выше слоям (рис. 5).

По рассмотренной методике были исследованы образцы из указанных ниже смесей.

Смесь № 2. Данная смесь отличается от смеси № 1 только увеличенным содержанием воды, В/Ц = 1,0. В итоге прочность и жесткость образцов уменьшились (рис. 5).

Смесь № 3. Номера образцов: 126...131. Компоненты смеси в расчете на один кубический метр композитного материала: опилки древесные 350 кг, портландцемент (М400) 300 кг, порошок талькохлорита 45 кг, жидкое стекло 45 кг, сульфат алюминия 15 кг, фиброволокно полипропиленовое (отрезки длиной 18 мм) 1 кг, вода 330 л, В/Ц = 1,1. Результаты испытаний показали, что отходы камнеобработки в виде порошка талькохлорита могут заменить известь (см. состав смесей № 1, 3 и рис. 5). При этом совместное использование извести и талькохлорита приводило к уменьшению прочности образцов.

Смесь № 4 отличалась от смеси № 1 только заменой сульфата алюминия на хлорид кальция. При этом существенно увеличились прочность и жесткость образцов при одноосном сжатии, что подтверждает ранее полученные результаты работы [10], в которой исследовано влияние водорастворимых химических добавок на прочностные характеристики древесно-цементных композиций и установлено, что наиболее эффективными являются растворы хлоридов кальция и железа.

Заключение

Исследованные образцы древесно-цементного композитного материала при испытаниях на одноосное сжатие демонстрируют четко выраженную анизотропию механических свойств. В статье данный материал рассматривался как ортотропный материал. Результаты испытаний (рис. 5) показывают, что в зависимости от направления действия сжимающей силы по отношению к направлению укладки древес-

но-цементной смеси могут быть получены два варианта стен малоэтажных зданий, в которых имеет место: (1) более высокая прочность, но меньшая жесткость; (2) более высокая жесткость, но меньшая прочность.

В целом выполненное исследование подтверждает известные данные о закономерностях изменения механических свойств древесно-цементных материалов, к которым относится арболит [6, 13, 14].

Установлено:

1) уменьшение водоцементного отношения повышает прочность на сжатие в исследованных случаях на 40...50%;

2) отходы камнеобработки в виде порошка талькохлорита могут использоваться взамен извести, но не совместно с известью;

3) замена сульфата алюминия хлоридом кальция существенно повышает прочность материала, что подтверждает известные результаты работы [10] о влиянии состава жидкости затворения на свойства древесно-цементных композиций;

4) исследованный древесно-цементный композит является анизотропным материалом, что подтверждает исследованную ранее в работах [13, 14] необходимость учета данной особенности материала в рекомендациях по его использованию в качестве конструкционного материала для стен в малоэтажном строительстве.

Работа выполнена в рамках реализации комплекса мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

Список литературы

1. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2014. – № 10. – С. 148–155.
2. ГОСТ Р 54854-2011. Бетоны легкие на органических заполнителях растительного происхождения. Технические условия.
3. Зайцева М.И., Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Колесников Г.Н. Утилизация отходов переработки хвойной сосны обыкновенной // В сборнике: Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии / сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Петрозаводский государственный университет. – Петрозаводск, 2013. – С. 25–30.
4. Запруднов В.И., Санаев В.Г. Макроскопические свойства древесно-цементных композитов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 6 (89). – С. 168–171.
5. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю., Карпиков Е.Г. Древесно-цементные композиции с минеральными микрозаполнителями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2011. – № 3. – С. 21–23.
6. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции // Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
7. Пошарников Ф.В., Филичкина М.В. Анализ структуры смеси для опилкобетона на основании многофакторного планирования эксперимента // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 1. – С. 111–114.

8. Пошарников Ф.В., Филичкина М.В. Применение в строительных конструкциях материалов на основе отходов древесины // В сборнике: Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение / Воронежская государственная лесотехническая академия. – Воронеж, 2007. – С. 155–160.

9. СН 549-82. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита.

10. Субботина Н.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Чернов Е.Б. Влияние состава и структуры жидкости затворения на свойства древесно-цементных композиций // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 5 (6). – С. 261–268.

11. Титова С.А., Кузьменков А.А. Измельченная древесина: опыт и перспективы применения (на примере республики Карелия) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–10. – С. 2174–2177.

12. Филичкина М.В., Абрамов В.В., Самошин Д.С., Фролов Г.А. Особенности опилок как наполнителя при производстве материалов из древесных отходов // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 2 (10). – С. 26–30.

13. Цапаев В.А., Лебедев М.А. О предельном уровне напряжения сжатия в кладке из опилкобетона // Жилищное строительство. – 2008. – № 9. – С. 8–10.

14. Цапаев В.А., Один А.И. Длительная прочность арболита с учетом анизотропии строения // Приволжский научный журнал. – 2007. – № 1. – С. 51–56.

15. Aigbomian E. P., Fan M. Development of Wood-Crete from Hardwood and Softwood Sawdust // Open Construction and Building Technology Journal. – 2013. – Т. 7. – С. 108–117.

4. Zaprudnov V.I., Sanaev V.G. *Bulletin of the MSFU – Lesnoi Vestnik*. M.: Publishing house of the MSFU, 2012, no. 6, pp. 168–171.

5. Lukutsova N.P., Gornostaeva E.J., Karpikov E.G. *Herald BSTU behalf V.G. Shukhov*. Belgorod, 2011, no. 3, pp. 21–23.

6. Nanazashvili I.H. *Building materials from wood-cement composition*. Leningrad. Stroyizdat, 1990.

7. Posharnikov F.V., Filichkina M.V. *Bulletin of the MSFU – Lesnoi Vestnik*. Publishing house of the MSFU, 2012, no. 1, pp. 111–114.

8. Posharnikov F.V., Filichkina M.V. *Environment: resources, technical support*. Collected papers. Voronezh State Academy of Forestry. Voronezh, 2007, pp. 155–160.

9. СН 549-82. Instructions for design, construction and use of structures from arbolit.

10. Subbotin N.V., Sarkisov Y.S., Horlenko N.P., Chernov E.B. *Journal of Science of Siberia*, 2012, no. 5, pp. 261–268.

11. Titova S.A., Kuzmenkov A. A. *Fundamental Research*, 2013, no. 10, pp. 2174–2177.

12. Filichkina M.V., Abramov V.V., Samoshin D.S., Frolov G.A. *Journal of Forestry*, 2013, no. 2, pp. 26–30.

13. Tsepaev V.A., Lebedev M.A. *Zhilishchnoe stroitelstvo*, 2008, no. 9, pp. 8–10.

14. Tsepaev V.A., Odin A.I. *Privolzhsky nauchny zhurnal*, 2007, no. 1, pp. 51–56.

15. Aigbomian E. P., Fan M. *Open Construction and Building Technology Journal*, 2013, no. 7, pp. 108–117.

References

1. Andreev A.A. *Fundamental and applied investigations: problems and results*. 2014, no. 10, pp. 148–155.

2. GOST R 54854-2011. Light-weight concretes on phyto-genic organic aggregates. Specifications.

3. Zaitseva M.I., Robonen E.V. Chernobrovkina N.P., Kolesnikov G.N. *Wooden low-rise housing: economics, architecture and resource-saving technologies*. Collected papers. Petrozavodsk State University. Petrozavodsk, 2013, pp. 25–30.

Рецензенты:

Петров А.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой архитектуры, строительных конструкций и геотехники, ФГБОУ ВПО ПетрГУ, г. Петрозаводск;

Малинов Г.И., д.т.н., профессор кафедры механизации сельскохозяйственного производства, ФГБОУ ВПО ПетрГУ, г. Петрозаводск.

Работа поступила в редакцию 30.04.2014.