

УДК 691.1

**ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**THE USE OF ORGANIC FIBROUS FILLERS  
IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS**

*Н.Ш. ЛЕБЕДЕВА, Е.Г. НЕДАЙВОДИН, М.В. АКУЛОВА*

*N.SH. LEBEDEVA, E.G. NEDAYVODIN, M.V. AKULOVA*

**(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,  
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: evgenij-161 @yandex.ru

*В статье говорится о применении органических волокнистых наполнителей (измельченная древесина, торф, стебли пшеницы, тростника, костра конопли, льна и другие) в производстве строительных материалов. Приводятся положительные и отрицательные свойства применения данных отходов. Сделан вывод, что производство строительных материалов, наряду*

*с ежегодно накапливаемыми лигноцеллюлозными отходами, приводит к серьезным экологическим последствиям, что обуславливает необходимость разработки технологий, позволяющих использовать отходы производств, аграрной промышленности для получения строительных материалов с требуемыми свойствами.*

*The article refers to the use of organic fibrous fillers (crushed wood, peat, wheat stalks, cane, hemp fire, flax and others) in the production of building materials. The positive and negative properties of the use of these wastes are given. It is concluded that the production of building materials, along with annually accumulated lignocellulosic waste leads to serious environmental consequences, which necessitates the development of technologies that allow the use of waste products, agricultural industry to obtain building materials with the required properties.*

**Ключевые слова:** наполнители, строительные материалы, отходы, древесина, пшеница, конопля, солома, торф.

**Keywords:** fillers, building materials, waste, wood, wheat, hemp, straw, peat.

Широкое развитие в XXI в. строительной отрасли позволяет разрабатывать и внедрять новые или усовершенствованные строительные материалы с использованием множества наполнителей, заполнителей, активаторов, вяжущих и т.д. Расширяется применение органических волокнистых наполнителей в производстве строительных материалов [1]. В то же время в мире накапливается огромное количество отходов [2].

В развивающихся странах основная доля лигноцеллюлозных отходов – древесные опилки, шелуха риса, солома, пшеничная солома, жмых, пряди масличной пальмы и т.д. В развитых странах значительную долю приобретают отходы от сноса старых сооружений, материально или физически устаревших материалов [3]. Поэтому вопросы вторичной переработки лигноцеллюлозных отходов выходят на первый план. В РФ доля используемых отходов не так велика.

В данной работе рассмотрено влияние основных используемых лигноцеллюлозных отходов из растительного сырья на механические и потребительские свойства строительных материалов.

Наиболее часто в производстве строительных материалов используется измельченная древесина. К ней относятся: щепка, древесная дробленка, стружка. Таким же

образом используются стебли пшеницы, тростника, камыша, костра конопли, льна, кенафа, измельченная рисовая солома, торф и другие.

Лигноцеллюлозные отходы успешно используются в арболитобетонах [4]. Изменяя количество заполнителя, его можно использовать и как конструкционный материал и как конструкционно-теплоизоляционный [5]. При разработке строительных материалов на основе гидравлических вяжущих и органических наполнителей основным условием является отсутствие влияния наполнителя на процесс гидратации цементов. Так, под действием щелочной среды цементного теста ( $pH=12...14$ ) органические вещества древесины могут разлагаться и попадать в него, что препятствует гидратации цемента [6]. Одним из решений является использование активаторов гидратации, в качестве которых могут быть добавки  $MgCl_2$  и  $Na_2SiO_3$  [7] или впрыск углекислого газа для быстрого упрочнения композита, что позволяет достичь 50...70% прочности в течение 28 дней. Основной причиной ингибирования гидратации цемента – наличие химических соединений, таких как сахар и танин [8], в частицах древесины. Поэтому предложены способы экстракции указанных соединений водными растворами [9]. Также измельченная древесина впитывает в себя

максимальное количество влаги в первые 1,5 ч, поэтому арболит характеризуется высокой капиллярной пористостью, высоким водопоглощением, низкой морозостойкостью. Для решения данной проблемы предлагается использование добавок на основе акриловых полимеров и полиизоцианатов, которые могут коагулировать поры древесины или создавать в них противокапиллярное давление.

Другим решением проблемы гидратации цементов является отказ от гидравлического вяжущего и использование воздушного вяжущего, например, магнезиевого.

Следует отметить, что во вторсырье присутствуют дополнительные химические вещества, которыми обрабатывалась древесина для длительной эксплуатации. Это консерванты, полученные из оксидов хрома и арсенала меди. В ряде стран из-за возможного выделения мышьяка ограничили использование указанного консерванта для обработки жилой древесины, среди них США, Канада, Австралия и ЕС [10]. Для измельченной древесины, обработанной консервантом, предложены технологии введения ее в бетоны. Данный состав бетона имеет плотность 920...1250 кг/м<sup>3</sup>, прочность при изгибе и сжатии 4...7 и 5...8 МПа соответственно [11]. Найдено, что обработанная древесина более совместима с гидравлическими вяжущими, чем необработанная [12].

По данным Федеральной службы государственной статистики производство пшеницы в РФ ежегодно увеличивается. Солома пшеницы так же, как и дерево, является лигноцеллюлозным отходом, но имеет более сложную структуру и видовое многообразие. По сравнению с древесиной она имеет более короткие волокна и более тонкие клеточные стенки. Пшеничная солома и древесные материалы содержат практически эквивалентное количество целлюлозы (45%). Тем не менее, содержание в соломе пшеницы гемицеллюлозы (28%) и лигнина (18%) больше, чем в среднем у древесины (23% и 27% соответственно) [13]. Доказано, что гемицеллюлоза оказывает ингибирующий эффект на

гидратацию цемента [14]. Использование карбонизации, как впрыском CO<sub>2</sub>, так и введением карбонатов натрия в цементное тесто, позволяет лишь частично решить данную проблему. Для увеличения прочности предложен способ получения [15] из соломы микрофибриллярной целлюлозы, которая вводится в цементный раствор, обеспечивая увеличение тиксотропии цементного теста и снижение водоотделения. Так, возможность использования растительных волокон для армирования бетонов изучалась в работе [16]. Сравнивались волокна, выделенные из пшеничной соломы, ячменной соломы и древесины. Найдено, что ячменные волокна обеспечивают самые высокие значения теплоизоляционной способности материала. В СССР при производстве бетона использовалась костра конопли, но различные соглашения о наркотических веществах отрицательно повлияли на развитие выращивания конопли [17]. После создания сорта конопли, которая не содержит наркотических веществ, были упрощены законы и, начиная с 2011 г. начали возрождать ее выращивание и использование. Сейчас в РФ действуют 11 предприятий, использующие данную технологию.

После уборки урожая риса остается в поле приблизительно 673 млн. т рисовой соломы в год [18]. Химический состав рисовой соломы: целлюлоза – 41,9%, лигнин – 21,4, пентоза – 11,6%, смолы, жиры, воски – 5,1%, зольность – 15,4 % остальное – вода. Изготовленные на основе рисовой соломы изоляционные плиты имеют плотность до 500 кг/м<sup>3</sup>, а конструкционные – от 800 до 1300 кг/м<sup>3</sup>, что позволяет применять их в слоистых конструкциях и в качестве среднего изоляционного слоя, и в качестве обшивок.

На долю России приходится свыше 30 % мировых запасов торфа, оцениваемых в 500 млрд. т. Огромное количество торфа сосредоточено на Урале, только в Свердловской области сосредоточено более 770 месторождений [19]. Состав органической части торфа зависит от его ботанического состава, степени разложения, минерального состава питающих вод и условий ми-

грации веществ в залежи [20]. Исследования свойств торфа применительно к строительной отрасли традиционно рассматриваются в двух направлениях: 1) как вяжущего; 2) как самостоятельного строительного материала, или наполнителя, обладающего уникальными теплоизоляционными свойствами (коэффициент теплопроводности торфа 0,06 Вт/(мК). Низкая теплопроводность связана с анизотропной волокнистой структурой торфа.

Торфяное вяжущее, как правило, получают механохимической активацией торфа [21]. В случае низинного торфа (содержание минеральной части 10...25%) в водных растворах с рН=8-10 происходит деструкция органической части, а также гидролиз и гидратация неорганических соединений. В результате формируются новые органо-минеральные комплексы и минеральные соединения, обладающие вяжущими свойствами. При механохимической активации верхового торфа (содержание минеральной части менее 5%) в воде и водных растворах с рН = 5-6 происходит деструкция, гидролиз и растворение водорастворимых и легкогидролизующих веществ, образование солей гуминовых кислот щелочных и щелочно-земельных металлов. Указанные процессы приводят к получению торфяного вяжущего с пределом прочности при сжатии 0,6...0,75 МПа, что обеспечивает получение теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных материалов с требуемым уровнем качества. Следует отметить, что использование гидравлических вяжущих, имеющих щелочную среду и торфа, имеющего кислую среду не совсем оправдано, так как при смешении компонентов достаточно быстро протекают реакции нейтрализации, что негативно сказывается на свойствах получаемого материала. Более перспективно использование магниевых вяжущих. Применение торфа не только позволило улучшить теплоизоляционные свойства получаемого материала, но и положительно повлиять на скорость формирования кристаллических фаз, определяющих предел прочности при сжатии [22], [23].

Таким образом анализ использования лигноцеллюлозных отходов для изготов-

ления строительных материалов показал возможность получения материалов с широкой вариацией свойств.

## ВЫВОДЫ

1. Гидравлические вяжущие имеют меньшее сродство к отходам растительного происхождения по сравнению с воздушными вяжущими. Волокнистые материалы целесообразно применять как армирующие для повышения предела прочности при изгибе, а лигноцеллюлозные частицы и торф использовать для изготовления строительных блоков и теплоизоляционных плит.

2. При современном уровне производства и обработки строительных материалов можно создавать принципиально новые изделия, более экологичные с расширенной гаммой свойств.

3. Необходима база данных, отражающая производство отходов и возможности их применения в строительной отрасли. Нужны методы оценки потенциальной совместимости отходов и различных вяжущих, неорганических веществ, что упростило бы процедуру создания новых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2017, Р32 Стат. сб. // Росстат. – М., 2017.
2. Федеральная служба государственной статистики / Окружающая среда URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 26.12.2018)
3. Pacheco-Torgal F. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020 // Construction and building materials. – V. 51. 2014. P. 151...162.
4. ГОСТ 19222–84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия.
5. Попов В.В. Несущие внутренние стеновые панели из шлакожелезобетона // Реф. Информ. ВНИИЗСМа. Серия: Использование отходов и побочных продуктов для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций. – М., 1976. №4.
6. Пошарников Ф.В., Филочкина М.В. Исследование закономерностей гидратации цемента в древесно-композиционных материалах // Современные проблемы науки и образования. – 2011, № 2. С.21...21.

7. Eusebio D.A., Yamauchi H., Sasaki H., Kawai S. Proc. of Third Pacific Rim Bio Based Composites. – Kyoto, Japan, 1996. P. 274...282.

8. Miller D.P., Moslemi A.A. Wood-cement composites: effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength // Wood and fiber science. – V. 23, №4, 2007. P. 472...482.

9. Simatupang M.H., Seddig N., Habighorst C., Geirner R.L. Technologies for rapid production of mineral-bonded wood composite boards // Proceedings of the inorganic bonded wood and fiber composite materials forest products research society. – Madison, WI; 1991. P. 14...17.

10. Chapter B - Chromated Copper Arsenate (CCA) Wood Preservation Facilities. Environment and Climate Change Canada. – Government of Canada. Retrieved 6 July 2018.

11. Schmidt R., Marsh R., Balatinecz J.J., Cooper P.A. Increased wood-cement compatibility of chromate treated wood. Forest Prod J 1994;44(7/8 ):44-6

12. Wolfe R.W., Gjinolli A. Durability and strength of cement bonded wood particle composites made from construction waste. Forest Prod J 1999;49(2):24-31.

13. Halvarsson S., Norgren M., Edlund H. Manufacturing of fiber composite medium density fiberboards (MDF) based on annual plant fiber and urea formaldehyde resin // Jorge FC, editor. ICECFOP1 - International conference on environmentally-compatible forest products. – Oporto, Portugal: Fernando Pessoa University; 22-24 September 2004. P. 131...47

14. Soroushian P., Aouadi F., Chowdhury H., Nossoni A., Sarwar G. Cement-bonded straw board subjected to accelerated processing. Cem. Concr. Compos. 2004;26:797-802.

15. Пат. 2548624 РФ: МПК51 С09К 21/00. Материал для использования в качестве добавки в бетон.

16. Ashour Taha, Wieland Hansjorg, Georg Heiko, Bockisch Franz-Josef, Wu Wei. The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings. Mater Des 2010;31:4676-85.

17. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутно добываемых пород Архангельской алмазонасной провинции // Изв. вузов. Строительство. – 2007, №2. С. 13...18.

18. Адылходжаев А.И., Игамбердиев Б.Г., Умарова М.М. Использование рисовой соломы для увеличения прочностных характеристик гипсовых вяжущих веществ // Universum: Технические науки: электрон, научн. журн. – 2018, №10(55). URL: <http://7universum.com/ru/techyarchive/item/6441> (дата обращения: 26.12.2018).

19. Носков А.В. и др. Физико-механические и теплоизоляционные свойства легкого бетона на основе модифицированного торфа для стеновых конструкций // Строительство и образование. – 2011, №14. С. 52...56.

20. Недайводин Е.Г., Лебедева Н.Ш., Петров А.В. Термохимическое исследование пиролиза вер-

хового торфа // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016, № 2 (19).

21. Копаница Н.О. Композиционные строительные материалы на основе модифицированных торфов: Дис.... докт. техн. наук. – Томск, 2011.

22. Недайводин Е.Г., Лебедева Н.Ш., Потемкина О.В. Кинетика термоокислительной деструкции строительных материалов на основе магнезиального вяжущего // Пожарная безопасность. – 2016, №2. С. 55...63.

23. Лебедева Н.Ш., Недайводин Е.Г. Строительные композиции на основе магнезиальных вяжущих с торфом // Вестник МГСУ. – 2017. Т. 12, №. 6 (105).

## REFERENCES

1. Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2017, R32 Stat. sb. // Rosstat. – М., 2017.

2. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki / Okruzhayushchaya sreda URL: <http://www.gks.ru> (data obrashcheniya 26.12.2018)

3. Pacheco-Torgal F. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020 // Construction and building materials. – V. 51. 2014. P. 151...162.

4. GOST 19222–84. Arbolit i izdeliya iz nego. Obshchie tekhnicheskie usloviya.

5. Popov V.V. Nesushchie vnutrennie stenovye paneli iz shlakozhelezobetona // Ref. Inform. VNIIZSMA. Seriya: Ispol'zovanie otkhodov i poputnykh produktov dlya izgotovleniya stroitel'nykh materialov, izdeliy i konstruksiy. – М., 1976. №4.

6. Posharnikov F.V., Filichkina M.V. Issledovanie zakonornostey gidratatsii tsementa v drevesno-kompozitsionnykh materialakh // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2011, № 2. S.21...21.

7. Eusebio D.A., Yamauchi N., Sasaki N., Kawai S. Rros. of Third Pacific Rim Bio Based Composites. – Kyoto, Japan, 1996. P. 274...282.

8. Miller D.P., Moslemi A.A. Wood-cement composites: effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength // Wood and fiber science. – V. 23, №4, 2007. P. 472...482.

9. Simatupang M.H., Seddig N., Habighorst C., Geirner R.L. Technologies for rapid production of mineral-bonded wood composite boards // Proceedings of the inorganic bonded wood and fiber composite materials forest products research society. – Madison, WI; 1991. P. 14...17.

10. Chapter V - Chromated Copper Arsenate (CCA) Wood Preservation Facilities. Environment and Climate Change Canada. – Government of Canada. Retrieved 6 July 2018.

11. Schmidt R., Marsh R., Balatinecz J.J., Cooper P.A. Increased wood-cement compatibility of chromate treated wood. Forest Prod J 1994;44(7/8 ):44-6

12. Wolfe R.W., Gjinolli A. Durability and strength of cement bonded wood particle composites made from construction waste. Forest Prod J 1999;49(2):24-31.

13. Halvarsson S., Norgren M., Edlund H. Manufacturing of fiber composite medium density fiberboards (MDF) based on annual plant fiber and urea formaldehyde resin // Jorge FC, editor. ICECFOP1 - International conference on environmentally-compatible forest products. – Oporto, Portugal: Fernando Pessoa University; 22-24 September 2004. P. 131...47
14. Soroushian P., Aouadi F., Chowdhury H., Nossoni A., Sarwar G. Cement-bonded straw board subjected to accelerated processing. *Cem. Concr. Compos.* 2004;26:797-802.
15. Pat. 2548624 RF: MPK51 S09K 21/00. Material dlya ispol'zovaniya v kachestve dobavki v beton.
16. Ashour Taha, Wieland Hansjorg, Georg Heiko, Bockisch Fronz-Josef, Wu Wei. The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings. *Mater Des* 2010;31:4676-85.
17. Lesovik B.C., Volodchenko A.H., Alfimov S.I., Zhukov R.V., Garanin V.K. Yacheisty beton s ispol'zovaniem poputno dobyvaemykh porod Arkhangel'skoy almazonosnoy provintsii // *Izv. vuzov. Stroitel'stvo.* – 2007, №2. S. 13...18.
18. Adylkhodzhaev A.I., Igamberdiev B.G., Umarova M.M. Ispol'zovanie risovoy solomy dlya uvelicheniya prochnostnykh kharakteristik gipsovykh vyazhushchikh veshchestv // *Universum: Tekhnicheskie nauki: elektron, nauchn. zhurn.* – 2018, №10(55). URL: <http://7universum.com/ru/techyarchive/item/6441> (data obrashcheniya: 26.12.2018).
19. Noskov A.V. i dr. Fiziko-mekhanicheskie i teploizolyatsionnye svoystva legkogo betona na osnove modifitsirovannogo torfa dlya stenovykh konstruksiy // *Stroitel'stvo i obrazovanie.* – 2011, №14. S. 52...56.
20. Nedayvodin E.G., Lebedeva N.Sh., Petrov A.V. Termokhimicheskoe issledovanie piroliza verkhovogo torfa // *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii.* – 2016, № 2 (19).
21. Kopanitsa N.O. Kompozitsionnye stroi-tel'nye materialy na osnove modifitsirovannykh torfov: Dis... dokt. tekhn. nauk. – Tomsk, 2011.
22. Nedayvodin E.G., Lebedeva N.Sh., Potemkina O.V. Kinetika termookislitel'noy destruktssii stroitel'nykh materialov na osnove magnezial'nogo vyazhushchego // *Pozharnaya bezopasnost'.* – 2016, №2. S. 55...63.
23. Lebedeva N.Sh., Nedayvodin E.G. Stroitel'nye kompozitsii na osnove magnezial'nykh vyazhushchikh s torfom // *Vestnik MGSU.* – 2017. T. 12, №. 6 (105).

Рекомендована кафедрой строительных материалов и технологий ИВГПУ. Поступила 23.09.19.