

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДОЛГОСРОЧНУЮ РАБОТУ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ХЛОПЧАТНИКА

канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ¹⁾, А.Н. ЯГУБКИН²⁾,

канд. техн. наук, доц. Н.В. БАКАТОВИЧ³⁾, PhD Д. ВЕН⁴⁾

^{(1)–(3)} Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,

⁴⁾ School of Urban Construction, Zhejiang Shuren University, Китайская Народная Республика)

В статье показана возможность получения теплоизоляционно-конструкционных материалов на основе дробленых стеблей хлопчатника. Приведены материалы и методы исследований, граничные условия исследований, основные факторы, определяющие долговечную эффективную работу стеновых блоков из отходов хлопчатника. Изучены монофракционные составы дробленых стеблей хлопчатника и полифракционные композиции структурообразующего материала. Исследована кинетика изменения влажности полифракционного состава структурообразующего материала для установления пригодности к применению в стеновых блоках. Подобран фракционный состав, позволяющий формировать максимально плотную структуру из дроблёных стеблей хлопчатника. Определены основные физические характеристики конструкционно-теплоизоляционных блоков из стеблей хлопчатника: прочность при сжатии, средняя плотность и коэффициент теплопроводности.

Ключевые слова: отходы хлопчатника, стебель хлопчатника, фракционный состав, цементное вяжущее, долговечность, коэффициент теплопроводности, сорбция, влажность, конструкционно-теплоизоляционный материал.

Введение. Постоянно возрастающая численность населения увеличивает потребность в одежде, что влечёт за собой рост объёмов производства ткани. В результате происходит повышение объёмов сбора хлопка, и как следствие увеличивается количество отходов хлопчатника. Основные объёмы производства хлопка приходится на страны Центральной и Средней Азии, для которых важной проблемой является эффективное использование получаемых отходов при производстве хлопка. По этой причине ведутся исследования, связанные с применением волокон и стеблей хлопчатника [1–3], улучшением механических и теплоизоляционных свойств каучука [4], разработкой составов для 3D печати [5], медицинским протезированием [6], обнаружением аммиака [7], производством сорбентов [8].

Перспективной отраслью, эффективно перерабатывающей стебли хлопчатника, можно считать строительство зданий. Хлопковые отходы, возможно использовать для производства изоляционных и стеновых материалов, на что указывает ряд научных исследований [9–14]. Предлагается для снижения энергопотребления зданий использовать вакуумные теплоизоляционные панели из отходов хлопка с коэффициентом теплопроводности 0,02–0,04 Вт/(м·°C) [10; 12]. Для получения высокоэффективных тепло- и звукоизоляционных панелей из гибридных биокomпозитов используют эпоксидные смолы и хлопковые отходы. При этом полученные результаты в ходе исследований свидетельствуют о том, что панели обладают значительным термическим сопротивлением равным 0,22141 (м²·°C)/Вт [11]. Конструкционно-теплоизоляционные биокomпозитные панели из стеблей хлопчатника с максимальным сопротивлением лучистому теплу и коэффициентом теплопроводности 0,063 Вт/(м·°C) разработаны в Бангладеш [9].

Куст хлопчатника представляет собой одревесневшее растение, поэтому традиционно в сельской местности стебли используют в качестве местного топлива, для получения золы и как корм для животных [15–17]. Однако с учётом достаточно высокой прочности на сжатие наиболее рациональным является использование стеблей хлопчатника в качестве заполнителя в смеси с цементом для возведения стен зданий аналогично использованию древесных волокон и древесной щепы для стеновых блоков [18; 19]. Таким образом, применение дроблённого фракционированного стебля хлопчатника для получения долговечных эффективных стеновых материалов с повышенными теплоизоляционными свойствами, обеспечивающих экологическую безопасность для человека и не содержащих в составах органических, синтетических связующих, а также полимерных добавок, будет способствовать максимально эффективному способу утилизации растительного отхода.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований конструкционно-теплоизоляционных блоков использовали стебли хлопчатника, произрастающего на полях сельскохозяйственных предприятий Китая и Туркменистана. Хлопчатник представляет собой одревесневший куст высотой до 1,8 м. Стебель хлопчатника состоит на 37,5–40% из целлюлозы, на 21,3–24,7% из лигнина, на 18,2% из пентозанов и на 3,1–5,8% из золы. Оставшиеся на поле после уборки хлопка стебли подбирают механизировано или вручную. Диаметр стебля составляет от 5 мм до 20 мм, длина стебля от 300 мм до 1800 мм.

При изготовлении образцов стеновых материалов в качестве вяжущего применяли портландцемент марки EN 197-1 – СЕМ I 42,5R ОАО «Кричевцементношифер». Требования к портландцементу регламентируются ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия»¹.

В исследовательской работе стебель хлопчатника (рисунок 1, а) использовали в качестве структурообразующего материала для получения образцов конструктивно-теплоизоляционных стеновых блоков. На стадии подготовки структурообразующего материала стебель хлопчатника дробился на фрагменты длиной 10–30 мм (рисунок 1, б).



а – стебли хлопчатника; б – измельчённые стебли хлопчатника

Рисунок 1. – Отходы хлопчатника

Образцы стеновых блоков на основе дробленных стеблей хлопчатника формовали в определенной последовательности. Изначально дробленые стебли хлопчатника обрабатывали известковым молоком (соотношение гашеной извести и воды 1:10) и выдерживали на протяжении 5–7 минут. Затем стебли хлопчатника тщательно перемешивали с предварительно подготовленным цементным тестом (водоцементное отношение составляет 0,5). Расход основных компонентов на 1 м³: стебли хлопчатника 252 кг, цемент 350 кг. Полученную композиционную смесь формовали под давлением 1,2–2,0 МПа и выдерживали в форме 24 часа. Образец извлекали из формы и хранили при температуре 20±2 °С и относительной влажности воздуха 60–70%. В возрасте 28 суток образцы высушивали до постоянной массы и проводили испытания.

Физико-механические показатели образцов стеновых блоков – плотность, прочность при сжатии – определяли в соответствии с ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия»² на образцах-кубах с размером ребра 150 мм.

Материалы и методика исследований подробно изложены в работах [8–10].

Пустотность структурообразующего материала из дробленых стеблей хлопчатника определяли по ГОСТ 8269.0 и визуально. Для визуальной оценки пустотности использовали форму из прозрачного пластика размером 150×150×150 мм. Фракционированный структурообразующий материал засыпали в форму без уплотнения и визуально изучали сформированную структуру из дробленых стеблей хлопчатника.

Граничные условия исследования связаны в основном с погрешностями приборов и оборудования, а также с вариацией при определении средней плотности. При этом погрешность весов лабораторных марки ВК-300 составила ±0,015 г, для весов МТ 15 В1ЖА равнялась ±2 г, штангенциркуль цифровой ШЦЦ-I имел

¹ ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. – Введ. 01.03.2021. – М.: НО «СОЮЗЦЕМЕНТ», 2021. – 28 с.

² ГОСТ 19222-84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. – Введ. 01.01.1985. – М.: Научно-исследовательский институт железобетона Госстроя СССР, 1985. – 24 с.

погрешность $\pm 0,03$ мм, погрешность прибора ИТП-МГ4 «250» соответствовала $\pm 5\%$. Стабильность температуры сушильного шкафа SNOL 60/300 по данным производителя не превышала $\pm 1^\circ\text{C}$. При определении средней плотности образцов и блоков коэффициент вариации равнялся 10%.

Основная часть. На первом этапе ставилась задача подобрать оптимальный фракционный состав структурообразующего материала, позволяющий формировать максимально плотную структуру из дроблённых стеблей хлопчатника. По длине нарезки дроблённые стебли разделили на 3 фракции. Дроблённые стебли в виде цилиндров мелкой фракции имели длину не более 10 мм. Для средней фракции дробили стебли на цилиндры длиной 15–20 мм, а для крупной фракции длина цилиндров составила 25–30 мм. Диаметр стеблей изменялся в пределах 4–8 мм для всех фракций.

Сначала исследовали монофракционные составы дроблённых стеблей. При заполнении формы-куба крупной фракцией пустотность составила 37%. При этом формировался связанный каркас с разноориентированным расположением частиц из стеблей. Объем пустого пространства в форме четко просматривался. Исследования пустотности средней фракции позволило установить, что показатель снизился относительно значения крупной фракции на 30% и составил 26%. Разноориентированность и связанность частиц в каркасе структурообразующего материала сохранилась. Для мелкой фракции пустотность не превысила 10%, но, несмотря на то, что сформированная структура имела достаточно плотное строение, визуально фиксировалось отсутствие связности между частицами и большинство частиц имели горизонтальную ориентацию.

На следующем этапе проводили изучение полифракционных композиций структурообразующего материала. Варьировали введение каждой фракции в общий объем в количестве 10–50%. В основном показатели пустотности композиций находились в пределах 18–35%. Минимальных показателей пустотности 10% удалось достичь при равном соотношении всех фракций, т.е. по 33,3%. Необходимо отметить, что связность структуры каркаса сохранилась. Таким образом, в результате подбора оптимального соотношения фракций в композиции структурообразующего материала пустотность каркаса снизилась на 71% относительно показателя крупной фракции.

После определения размеров и соотношений фракций исследовали кинетику изменения влажности полифракционного состава структурообразующего материала для установления пригодности к применению в стеновых блоках. Полифракционный структурообразующий материал выдерживали в камере при относительной влажности воздуха 97% (рисунок 2). Измельчённые стебли хлопчатника до начала испытаний приведены на рисунке 3.

Влажность дроблённых стеблей составила 6% (сутки после начала эксперимента). Через 10 суток испытаний влажность дроблённых стеблей достигла 18%. В возрасте 20 суток влажность возросла на 17% относительно показателя за 10 суток испытаний и составила 21%.

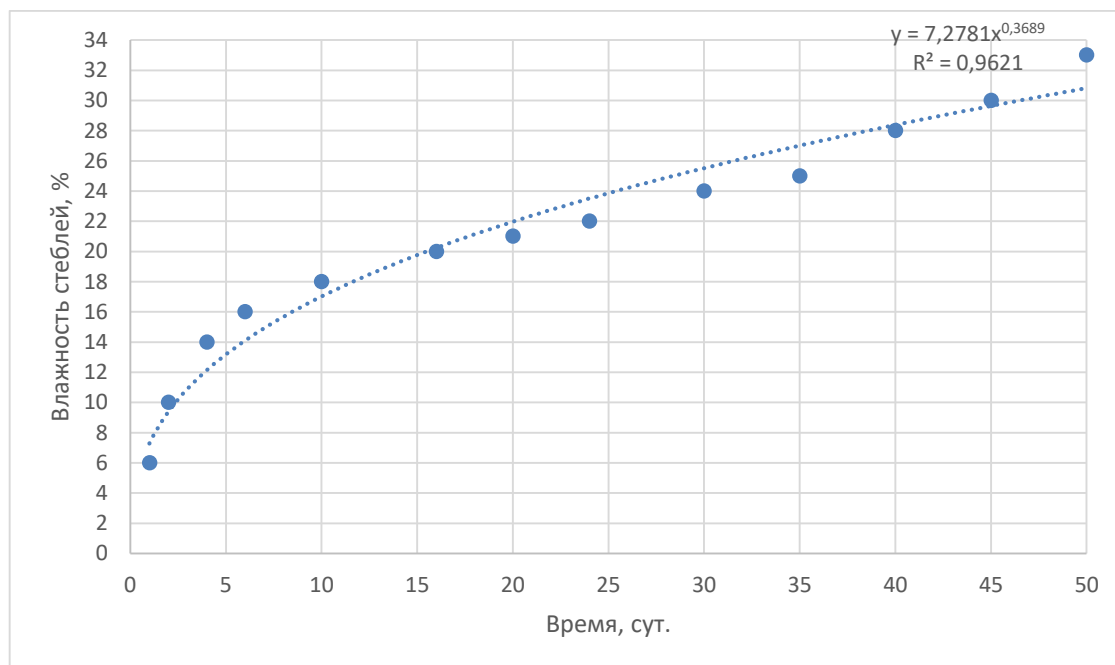


Рисунок 2. – Влажность заполнителя из дроблённого хлопчатника при выдерживании в камере при относительной влажности воздуха 97% (со степенной линией тренда)

Установлено, что на 40 сутки влажность увеличилась только на 7% и достигла 28%. Максимальная влажность дроблённых стеблей равна 33% и зафиксирована на 50 сутки после начала испытаний. Таким образом, за последние 30 суток испытаний прирост влажности составил только 12%. Грибок появляется на 106 сутки после начала эксперимента (рисунок 4).



Рисунок 3. – Стебли из хлопчатника перед экспериментом



Рисунок 4. – Появление грибка на стеблях хлопчатника

Полученные результаты сопоставимы с результатами исследований в работе [20], где приведены данные по аналогичным исследованиям соломы и костры с последующим успешным применением в стеновых блоках на цементном вяжущем. По результатам исследований дробленый хлопчатник можно отнести к материалам, стойким к загниванию при нахождении продолжительное время во влажных условиях.

После определения оптимального фракционного состава структурообразующего материала из хлопчатника, расходов компонентов композиционного стенового материала, плотности и прочности при сжатии образцов изучали тепло- и гидрофизические параметры экспериментальных составов. Фотографии образцов-плит на основе жидкого стекла с дробленным хлопчатником и цемента с дробленным хлопчатником для испытаний на теплопроводность показаны на рисунках 5, 6 соответственно.



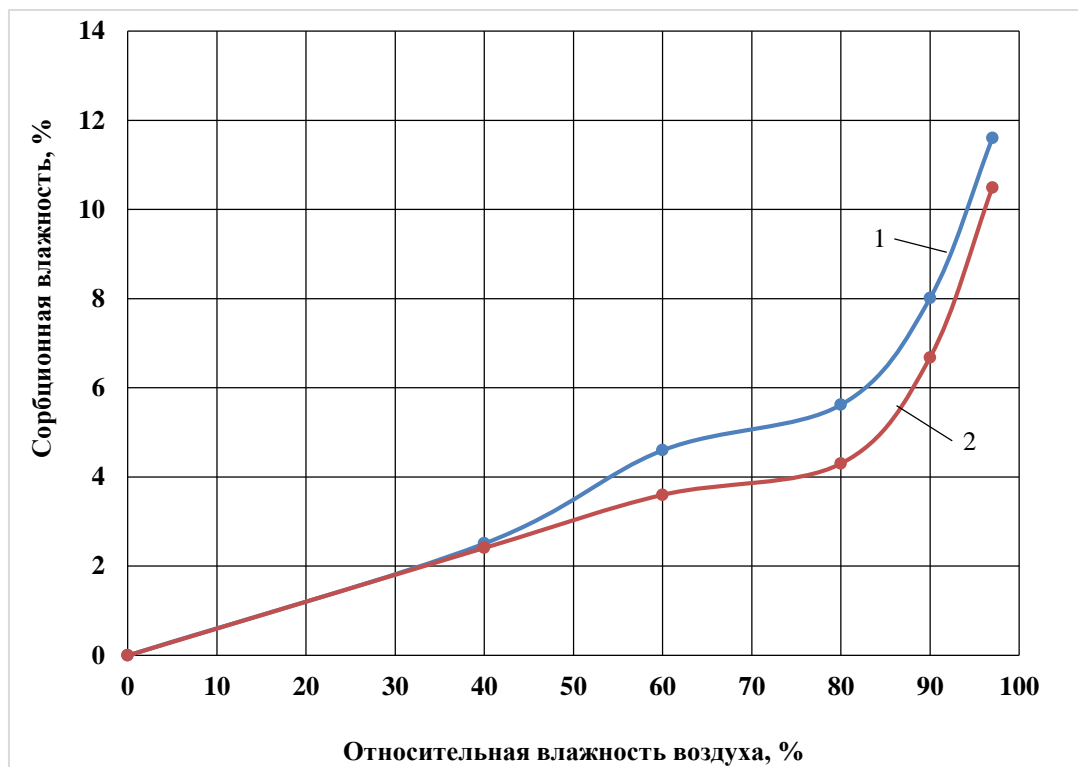
Рисунок 5. – Образец-плита на основе жидкого стекла и дробленного хлопчатника



Рисунок 6. – Образец-плита на основе цемента и дробленного хлопчатника

Необходимо отметить, что полученные показатели прочности, плотности, теплопроводности образцов на основе цемента и дробленного хлопчатника имеют значения, близкие к характеристикам арболита на основе древесной щепы [21].

В процессе эксплуатации здания могут происходить существенные изменения параметров конструкционно-теплоизоляционных стеновых материалов и в первую очередь теплопроводности. Изотермы сорбции водяного пара образцов-плит приведены на рисунке 7. Состав костросоломенной плиты приведён в работе [22].



1 – образец-плита из дробленного хлопчатника; 2 – образец-плита из соломы и костры льна

Рисунок 7. – Изотермы сорбции водяного пара

Выдержка образцов при относительной влажности воздуха 60% в эксикаторе показала, что сорбционная влажность образца стенового материала состава 2 равняется 3,8%, что на 9% меньше, чем у образца состава 1. При относительной влажности воздуха 80% в эксикаторе значение показателя сорбционной влажности образца состава 1 равнялось 5,8%, что больше на 32%, чем у образца состава 2. Выдержка образцов при относительной влажности воздуха 90% в эксикаторе показала, что сорбционная влажность образца стенового материала состава 2 равна 6,6%, что на 20% меньше, чем у образца состава 1. При относительной влажности воздуха 97% в эксикаторе значение показателя сорбционной влажности образца состава 1 равнялось 11,7%, что меньше на 11%, чем у образца состава 2.

В таблице 2 приведены результаты эксперимента по определению влияния показателя влажности на теплопроводность образцов-плит из стеблей хлопчатника и цемента.

Таблица 2. – Определение влияния показателя влажности на теплопроводность образцов-плит

№ образцов	Время выдерживания образца в камере, сутки	Показатели образца		
		плотность, кг/м ³	влажность, %	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
1	0	602	0	0,122
2	2	615	2,2	0,127
3	5	629	4,5	0,132
4	10	642	6,6	0,138
5	30	656	9,0	0,146
6	50	667	10,8	0,152
7	70	675	12,1	0,156

Результаты испытаний показали, что увеличение влажности образца до 12% приводит к росту коэффициента теплопроводности на 28% по сравнению с абсолютно сухим образцом, что должно учитываться при выполнении теплотехнического расчёта.

Закключение. Для стеновых блоков определяющим фактором долговечной эффективной работы является формирование прочной структуры из фракционированных дробленных стеблей хлопчатника.

При относительной влажности воздуха 97% в эксикаторе значение показателя сорбционной влажности образца на основе дроблёного хлопчатника и цемента равнялось 11,7%, что меньше на 11%, чем у образца на основе соломы и костры льна.

Результаты испытаний показали, что увеличение влажности образца на основе дроблёного хлопчатника и цемента до 12% приводит к росту коэффициента теплопроводности на 28% по сравнению с абсолютно сухим образцом, что должно учитываться при выполнении теплотехнического расчёта.

Стеновые блоки на основе стеблей дробленного хлопчатника рекомендуется использовать для возведения наружных и внутренних стен домов высотой 1–2 этажа с устройством легких перекрытий по деревянным балкам и деревянным стропильным системам.

В дальнейших исследованиях предполагается уделить основное внимание разработке составов на основе дробленного хлопчатника с изучением комплекса характеристик, включая температурно-влажностные режимы твердения составов, биостойкость (стойкость к появлению грибов), долговечность, испытания в климатической камере с определением плотностей теплового потока, коэффициента теплопроводности и влажности образцов, проведение натурных испытаний в условиях эксплуатируемых зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Influence of heat treatment and water absorption on mechanical properties of cotton-glass fiber reinforced epoxy hybrid composites: an eco-friendly approach for industrial materials / Silvina Siddika Shifa, Md Mehedi Hasan Kanok, Mohammad Salman Haque et al. // *Hybrid Advances*. – 2024. – Vol. 5. DOI: 10.1016/j.hybadv.2024.100181.
2. Thermal properties and decomposition products of modified cotton fibers by TGA, DSC, and Py–GC/MS / Mattia Isola, Giovanna Colucci, Aleandro Diana et al. // *Polymer Degradation and Stability*. – 2024. – Vol. 228. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2024.110937.
3. Research progresses of fibers in asphalt and cement materials: a review / Jing Li, Ling Yang, Lu He et al. // *Journal of Road Engineering*. – 2023. – Vol. 3, Iss. 1. DOI: 10.1016/j.jreng.2022.09.002.
4. Influence of carbon black and cotton fiber on the mechanical and thermal properties of natural rubber composites: a statistical optimization using Central composite design / Sumit Kumar, Sohan Lal, Sanjiv Arora et al. // *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. – 2025.
5. Development and 3D printing of PLA bio-composites reinforced with short yucca fibers and enhanced thermal and dynamic mechanical performance / Mohamed Amine Kacem, Moussa Guebailia, Mohammadreza Lalegani Dezaki et al. // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2025. – Vol. 36. – P. 1243–1258. DOI: 10.1016/j.jmrt.2025.03.184.
6. Jawad K. Oleiwi, Qahtan A. Hamad, Noor K. Faheed. Experimental, Theoretical, and Numerical Analysis of Laminated Composite Prosthetic Socket Reinforced with Flax and Cotton Fibers // *Biotribology*. – 2023. – Vol. 35–36. DOI: 10.1016/j.biotri.2023.100244.
7. Ghadah M. Al-Senani, Salhah D. Al-Qahtani. Preparation of biomolecular anthocyanin-immobilized plasma-cured nonwoven fibers from pomegranate (*Punica granatum* L.) and recycled cotton waste for detection of ammonia // *Journal of Cleaner Production*. – 2024. – Vol. 460.
8. Modifier-free sol–gel preparation of cotton fiber@SiO₂ superhydrophobic fabric for oil/water separation, / Tao Wen, Jianhao Lin, Zhiming Jiang et al. // *Microchemical Journal*. – 2024. – Vol. 202. DOI: 10.1016/j.microc.2024.110808.
9. Mechanically robust and thermally insulating natural cotton fiber-reinforced biocomposite panels for structural applications / M. Abu Darda, M.A. Rahman Bhuiyan, M. Ashnaim Bari et al. // *RSC Advances*. – 2025. – Vol. 15, Iss. 12. – P. 9534–9545. DOI: 10.1039/d5ra00213c.
10. Natural fibers as promising core materials of vacuum insulation panels / Rui Zhang, Zhenglai Shen, Bokyung Park et al. // *Construction and Building Materials*. – 2024. – Vol. 453. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138890.
11. Desert cotton and areca nut husk fibre reinforced hybridized bio-benzoxazine/epoxy bio-composites: thermal, electrical and acoustic insulation applications / Harinei Srinivasan, Hariharan Arumugam, A. Anto Dilip et al. // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 363. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129870.
12. Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels prepared with recyclable fibrous cotton core / Ankang Kan, Xuexiang Zhang, Zhaofeng Chen et al. // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2023. – Vol. 187. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2023.108176.
13. Thermal conductivity assessment of cotton fibers from apparel recycling for building insulation / Adriana Angelotti, Andrea Alongi, Andrea Augello et al. // *Energy and Buildings*. – 2024. – Vol. 324. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114866.
14. Rahman Bhuiyan M.A., Ashnaim Bari M., Abu Darda M. Thermal barrier performance of natural fiber-reinforced biocomposite panels with the reflective surface for conserving heat energy in buildings // *Energy Conversion and Management: X*. – 2025. – Vol. 26. DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.100926.
15. High efficiency electricity and gas cogeneration through direct carbon solid oxide fuel cell with cotton stalk biochar / Xiaofeng Gu, Xiaomin Yan, Mingyang Zhou et al. // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 226. DOI: 10.1016/j.renene.2024.120471.
16. Investigation on formation mechanisms of ash and deposit from cotton stalk vibrating grate boiler combustion based on their characteristics / Fenghai Li, Bing Yu, Wei Zhao et al. // *Fuel*. – 2022. – Vol. 323. DOI: 10.2139/ssrn.4040985.
17. Solid state fermentation improves the utilization value of cotton stalk / Rui Hu, Duoting Wu, Xiurong Liang et al. // *Industrial Crops and Products*. – 2025. – Vol. 230.
18. Research on adaptability between crop-stalk fibers and cement / Guozhong Li, Yanzhen Yu, Jianquan Li et al. // *Cement and Concrete Research*. – 2004. – Vol. 34, Iss. 7. – P. 1081–1085. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.11.026.

19. Maximizing strength and durability in wood concrete (arbolite) via innovative additive control and consumption / A. Yagubkin, D.N. Shabanov, A.M. Niyakovskii et al. // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2025. – Vol. 15. – P. 13365–13379. DOI: 10.1007/s13399-024-06071-6.
20. Долгонож А.В., Бакатович А.А. Особенности изменения коэффициента теплопроводности стеновых блоков на растительных отходах в зависимости от влажности материала // *Вестник Белгородского гос. техн. ун-та им. В.Г. Шухова*. – 2019. – № 10. – С. 19–28. DOI: 10.34031/article_5db3379ba2f9e5.82013353.
21. Бозылев В.В., Ягубкин А.Н. Инновационный арболит с заданными свойствами // *Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О.Н. Лешкевич и др.* – Минск, 2017. – Вып. 9. – С. 96–112. DOI: 10.23746/2017-9-7.
22. Bakatovich A., Davydenko N., Gaspar F. Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste // *Energy and Buildings*. – 2018. – № 180. – P. 72–82. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.09.032.

REFERENCES

1. Silvina Siddika Shifa, Md Mehedi Hasan Kanok, Mohammad Salman Haque, Tipu Sultan, Kanij Fatema Pritha, Mubasshira, Maruf Al Yeamin, Sudip Dey Dipta. Influence of heat treatment and water absorption on mechanical properties of cotton-glass fiber reinforced epoxy hybrid composites: an eco-friendly approach for industrial materials, *Hybrid Advances*, Volume 5, 2024. DOI: 10.1016/j.hybadv.2024.100181.
2. Mattia Isola, Giovanna Colucci, Aleandro Diana, Agusti Sin, Alberto Tonani, Valter Maurino. Thermal properties and decomposition products of modified cotton fibers by TGA, DSC, and Py–GC/MS, *Polymer Degradation and Stability*, Volume 228, 2024. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2024.110937.
3. Jing Li, Ling Yang, Lu He, Ruiwen Guo, Xinyu Li, Youchao Chen, Yaseen Muhammad, Yu Liu. Research progresses of fibers in asphalt and cement materials: a review, *Journal of Road Engineering*, Volume 3, Issue 1, 2023.
4. Sumit Kumar, Sohan Lal, Sanjiv Arora, Parvin Kumar, Shikha Rani, Anjali Verma, Anita Kumari. Influence of carbon black and cotton fiber on the mechanical and thermal properties of natural rubber composites: a statistical optimization using Central composite design, *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 2025.
5. Mohamed Amine Kacem, Moussa Guebailia, Mohammadreza Lalegani Dezaki, Said Abdi, Nassila Sabba, Ali Zolfagharian, Mahdi Bodaghi. Development and 3D printing of PLA bio-composites reinforced with short yucca fibers and enhanced thermal and dynamic mechanical performance, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 36, 2025, Pages 1243–1258. DOI: 10.1016/j.jmrt.2025.03.184.
6. Jawad K. Olewi, Qahtan A. Hamad, Noor K. Faheed. Experimental, Theoretical, and Numerical Analysis of Laminated Composite Prosthetic Socket Reinforced with Flax and Cotton Fibers, *Biotribology*, Volumes 35–36, 2023. DOI: 10.1016/j.biotri.2023.100244.
7. Ghadah M. Al-Senani, Salhah D. Al-Qahtani. Preparation of biomolecular anthocyanin-immobilized plasma-cured nonwoven fibers from pomegranate (*Punica granatum L.*) and recycled cotton waste for detection of ammonia, *Journal of Cleaner Production*, Volume 460, 2024.
8. Tao Wen, Jianhao Lin, Zhiming Jiang, Liyou Han, Wenbin Yang, Hanxian Chen, Xinxiang Zhang. Modifier-free sol–gel preparation of cotton fiber@SiO₂ superhydrophobic fabric for oil/water separation, *Microchemical Journal*, Volume 202, 2024. DOI: 10.1016/j.microc.2024.110808.
9. M. Abu Darda, M.A. Rahman Bhuiyan, M. Ashnaim Bari, Shafiqul Islam, M. Jakir Hossen. Mechanically robust and thermally insulating natural cotton fiber-reinforced biocomposite panels for structural applications, *RSC Advances*, Volume 15, Issue 12, 2025, Pages 9534–9545. DOI: 10.1039/d5ra00213c.
10. Rui Zhang, Zhenglai Shen, Bokyoung Park, Tianli Feng, Antonio Aldykiewicz, André Desjarlais, Diana Hun, Som Shrestha. Natural fibers as promising core materials of vacuum insulation panels, *Construction and Building Materials*, Volume 453, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138890.
11. Harinei Srinivasan, Hariharan Arumugam, Anto Dilip A, Balaji Krishnasamy, Abdul Aleem M.I, Arun Murugesan, Alagar Muthukaruppan. Desert cotton and areca nut husk fibre reinforced hybridized bio-benzoxazine/epoxy bio-composites: Thermal, electrical and acoustic insulation applications, *Construction and Building Materials*, Volume 363, 2023. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129870.
12. Ankang Kan, Xuexiang Zhang, Zhaofeng Chen, Dan Cao. Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels prepared with recyclable fibrous cotton core, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 187, 2023. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2023.108176.
13. Adriana Angelotti, Andrea Alongi, Andrea Augello, Alessandro Dama, Stefano De Antonellis, Antonino Ravidà, Michele Zinzi, Enrico De Angelis. Thermal conductivity assessment of cotton fibers from apparel recycling for building insulation, *Energy and Buildings*, Volume 324, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114866.
14. Rahman Bhuiyan M.A., Ashnaim Bari M., Abu Darda M. Thermal barrier performance of natural fiber-reinforced biocomposite panels with the reflective surface for conserving heat energy in buildings, *Energy Conversion and Management: X*, Volume 26, 2025. DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.100926.
15. Xiaofeng Gu, Xiaomin Yan, Mingyang Zhou, Gaochang Zou, Zidai Fan, Jiang Liu. High efficiency electricity and gas cogeneration through direct carbon solid oxide fuel cell with cotton stalk biochar, *Renewable Energy*, Volume 226, 2024. DOI: 10.1016/j.renene.2024.120471.
16. Fenghai Li, Bing Yu, Wei Zhao, Juan Wang, Meiling Xu, Hongli Fan, Jiejie Huang, Yitian Fang. Investigation on formation mechanisms of ash and deposit from cotton stalk vibrating grate boiler combustion based on their characteristics, *Fuel*, Volume 323, 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4040985.
17. Rui Hu, Duoting Wu, Xiurong Liang, Zhisheng Wang, Huawei Zou, Fali Wu, Hui Li, Yahui Jiang, Quanhui Peng, Jianxin Xiao, Hongbo Li, Zhenyong Zhou. Solid state fermentation improves the utilization value of cotton stalk, *Industrial Crops and Products*, Volume 230, 2025.

18. Guozhong Li, Yanzhen Yu, Jianquan Li, Changchun Li, Yingzi Wang. Research on adaptability between crop-stalk fibers and cement, *Cement and Concrete Research*, Volume 34, Issue 7, 2004, Pages 1081–1085. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.11.026.
19. Yagubkin A., Shabanov D.N., Niyakovskii A.M., Romanovski V.I. Maximizing strength and durability in wood concrete (arbolite) via innovative additive control and consumption. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Volume 15, 2025, Pages 13365–13379. DOI: 10.1007/s13399-024-06071-6.
20. Dolzhonok, A.V., & Bakatovich, A.A. (2019). Osobennosti izmeneniya koeffitsienta teploprovodnosti stenovykh blokov na rastitel'nykh otkhodakh v zavisimosti ot vlazhnosti materiala. *Vestnik Belgorodskogo gos. tekhn. un-ta im. V.G. Shukhova*, 10, 19–28. DOI: 10.34031/article_5db3379ba2f9e5.82013353.
21. Bozylev, V.V., & Yagubkin, A.N. (2017). Innovatsionnyi arbolit s zadannymi svoistvami. *Problemy sovremennogo betona i zhelezo-betona: sb. nauch. tr. / In-t BelNIIS; redkol.: O.N. Leshkevich i dr. – Minsk. – Vyp. 9. – S. 96–112*. DOI: 10.23746/2017-9-7.
22. Bakatovich, A., Davydenko, N., & Gaspar, F. (2018). Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste. *Energy and Buildings*, 180, 72–82. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.09.032.

Поступила 05.12.2025

FACTORS DETERMINING THE LONG-TERM PERFORMANCE OF COTTON WASTE WALL BLOCKS

A. BAKATOVICH¹⁾, A. YAGUBKIN²⁾, N. BAKATOVICH³⁾, J. WEN⁴⁾

^{1), 2), 3)} *Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk,*

⁴⁾ *School of Urban Construction, Zhejiang Shuren University, China)*

This article demonstrates the feasibility of producing thermal insulation and structural materials using crushed cotton stalks. It presents the materials and methods used, limitations of the research, and key factors determining the long-term, efficient performance of wall blocks made from cotton waste. Single-fraction compositions of crushed cotton stalks and multi-fraction compositions of the structure-forming material were studied. The kinetics of moisture content changes in the multi-fraction composition of the structure-forming material was investigated to determine its suitability for use in wall blocks. A fractional composition was selected that allows for the formation of the densest possible structure from crushed cotton stalks. The physical properties of the structural and thermal insulation blocks made from cotton stalks were determined: compressive strength, average density, and thermal conductivity.

Keywords: cotton waste, cotton stem, fractional composition, cement binder, durability, thermal conductivity coefficient, sorption, moisture, structural and thermal insulation material.