

УДК 691.12

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА СТЕНОВЫХ БЛОКОВ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ

*А.Н. Ягубкин, А.А. Бакатович*

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,

г. Новополоцк, Республика Беларусь

e-mail: [a.yagubkin@psu.by](mailto:a.yagubkin@psu.by), [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by)

*Для решения проблемы разуплотнения образцов в виде трещин и разрывов после расплубливания резанную пшеничную солому в форме трубок измельчали до формы пластин. Подбран оптимальный диаметр ячейки для измельчения – 10 мм. С целью сократить время выдержки образцов в формах до 24 часов дополнительно вводили кварцевый песок с одновременным сокращением расхода соломы. Применение состава с кварцевым песком для производства конструкционно-теплоизоляционных блоков позволит возводить двухэтажные здания с облегчёнными перекрытиями.*

**Ключевые слова:** растительное сырьё, пшеничная солома, химическая добавка, давление формования, стеновой материал, средняя плотность, коэффициент теплопроводности, прочность при сжатии.

## INFLUENCE OF THE SHAPE AND SIZE OF PLANT RAW MATERIALS ON THE PROPERTIES OF WALL BLOCKS FROM WHEAT STRAW

*A. Yagubkin, A. Bakatovich*

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: [a.yagubkin@psu.by](mailto:a.yagubkin@psu.by), [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by)

*To solve the problem of sample loosening in the form of cracks and ruptures after stripping, cut wheat straw in the form of tubes was crushed to form plates. The optimum cell diameter for crushing was selected - 10 mm. In order to reduce the holding time of samples in forms to 24 hours, quartz sand was additionally introduced with a simultaneous reduction in straw consumption. The use of a composition with quartz sand for the production of structural and heat-insulating blocks will allow the construction of two-story buildings with lightweight floors.*

**Keywords:** plant material, wheat straw, chemical additive, molding pressure, wall material, average density, thermal conductivity coefficient, compressive strength.

**Введение.** Во всём мире приобретает особую актуальность организованное производство за счёт использования только местного сырья и 100% локализации производства. Такое производство невозможно без рациональной утилизации многотоннажных отходов сельского хозяйства. Одним из таких отходов и при этом самым быстро возобновляемым ресурсом является пшеничная солома. Производство стеновых блоков из цемента с пшеничной соломой позволит создать новые рабочие места в такой наукоёмкой отрасли как строительство. Кроме того, за счёт экологичности предлагаемого материала возможно улучшение качества жизни в масштабах СНГ и других странах, улучшение санитарно-гигиенических условий жилых и производственных зданий. Возведение зданий из стеновых блоков с пшеничной соломой даёт возможность уменьшить теплотери, что приводит к снижению расхода энергоносителей на отопление здания. В итоге снижаются расходы на оплату счетов за отопление (энергоносители).

ли) или на закупку топлива. Такое направление во всём мире называется экономикой замкнутого цикла и имеет значительные экономические и экологические эффекты [1-4].

В статье впервые приводятся результаты исследований влияния структурообразующего материала в виде пластин из пшеничной соломы на свойства стеновых блоков [5, 6].

Объект исследования – стеновые блоки на основе цемента и структурообразующего материала в виде пластин из пшеничной соломы.

Предмет исследования – физико-механические свойства стеновых блоков из пшеничной соломы.

Практическая значимость – результаты исследования могут использоваться для подбора составов при производстве строительных материалов и изделий из растительного сырья, в учебном процессе строительных специальностей ВУЗов.

**Материалы и методы исследования.** Для выполнения исследований использовали портландцемент марки 42,5Н ГОСТ 30108-2020, ПЦ500Д0 (производства ОАО «Белорусский цементный завод», г.Костюковичи, Республика Беларусь). Применяли следующие химические добавки: гиперпластификатор «Frem S-SB» на основе поликарбоксилата, а также комплексную добавку, содержащую суперпластификатор «Frem C-3 В» (производства ЗАО «Завод добавок и смазок «ФРЭЙМ», Республика Беларусь) и ускоритель твердения - сульфат алюминия (производства ООО «Ксант-Инвест», Республика Беларусь). В качестве растительного структурообразующего материала исследовали пшеничную солому (д.Черноручье-1, Республика Беларусь) в форме пластин различной фракции длиной от 10 до 50 мм, которую получали на измельчителе «Алькор-1» (Китайская Народная Республика). Бетонную смесь затворяли водопроводной водой по СТБ 1114 [7].

Для взвешивания химических добавок использовались весы лабораторные марки ВК-300 (Российская Федерация). Для взвешивания цемента, воды, соломы при изготовлении бетонных образцов использовали весы марки МТ 15 В1ЖА (Российская Федерация).

Размеры бетонных образцов для расчёта средней плотности, коэффициента теплопроводности и прочности на сжатие измеряли штангенциркулем цифровым ШЦЦ-I (Российская Федерация). Массу бетонных образцов для расчёта средней плотности, коэффициента теплопроводности определяли на весах МТ 15 В1ЖА.

Прочность при сжатии бетонных образцов исследовали на образцах-кубах с размером ребра 150 мм (ГОСТ 10180 [8]) гидравлическим прессом ПГМ-500 МГ4А (Российская Федерация). Среднюю плотность образцов-кубов определяли по ГОСТ 12730.1 [9]. Коэффициент теплопроводности изучали прибором ИТП-МГ4 «250» (Российская Федерация) в соответствии с СТБ 1618 [10]. Для этого предварительно образцы размером 250×250×40 мм высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу SNOL 60/300 (Литва).

**Ограничения исследования.** Погрешности приборов: весы ВК-300 – ±0,015 г, весы МТ 15 В1ЖА – ±2 г, штангенциркуль цифровой ШЦЦ-I – ±0,03 мм, гидравлический пресс ПГМ-500 МГ4А – ±1%, прибор для определения теплопроводности ИТП-МГ4 «250» – ±5%, стабильность температуры в установившемся тепловом режиме для сушильного шкафа SNOL 60/300 – ±1°C. Статистические показатели: при испытаниях образцов из бетона коэффициент вариации – 10% (средняя плотность); коэффициент вариации – 15% (прочность на сжатие).

**Экспериментальная часть.** Целью исследований являлось определение влияния формы и размера растительного сырья на физико-механические свойства стеновых блоков из пшеничной соломы.

Основной проблемой при формовании изделий из резанной пшеничной соломы в форме трубок являлось разуплотнение образцов в виде трещин и разрывов после распалубливания на вторые сутки хранения [11]. Для решения данной задачи солому пропускали через

измельчитель «Алькор-1» с ситами диаметром отверстий 10, 12, 15 мм (рисунок 1). После измельчения частицы соломы представляли собой не полые цилиндры, а имели вид пластинок.



а – через отверстие диаметром 10 мм; б – через отверстие диаметром 12 мм;  
в – через отверстие диаметром 15 мм

Рисунок 1. – Внешний вид пшеничной соломы после измельчения

Оптимальной ячейкой сита для измельчения соломы является отверстие диаметром 10 мм (рисунок 1а). Сита с диаметром ячейки 12 и 15 мм (рисунок 1, б, в) пропускают до 10–15% частиц соломы длиной более 50 мм. Частицы соломы длиной более 50 мм затрудняют равномерное перемешивание смеси и препятствуют формированию однородной структуры композита. Таким образом, в дальнейших исследованиях использовалась солома, измельчённая через отверстия диаметром 10 мм.

В процессе эксперимента заменяли резанную солому в виде полых цилиндров (состав 1.1, таблица 1) на измельчённую солому в виде пластинок (составы 1.2–1.6, таблица 1).

Таблица 1. – Составы образцов

Шифр состава	Расход цемента, кг на 1 м <sup>3</sup>	Расход песка, кг на 1 м <sup>3</sup>	Расход воды, кг на 1 м <sup>3</sup>	Расход соломы, кг на 1 м <sup>3</sup>	В/Ц	Вид добавки	Расход добавки, % от массы цемента
1.1	625	-	375	225	0,6	Frem S-SB	1,5
1.2	625	-	375	225	0,6	Frem S-SB	1,5
1.3	400	800	300	130	0,75	Frem S-SB	1,5
1.4	400	800	300	130	0,75	Frem C-3 B Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,7 0,5
1.5	400	800	300	115	0,75	Frem S-SB	1,5
1.6	400	800	300	100	0,75	Frem S-SB	1,5

Результаты определения физико-механических свойств образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Основные физико-механические характеристики образцов

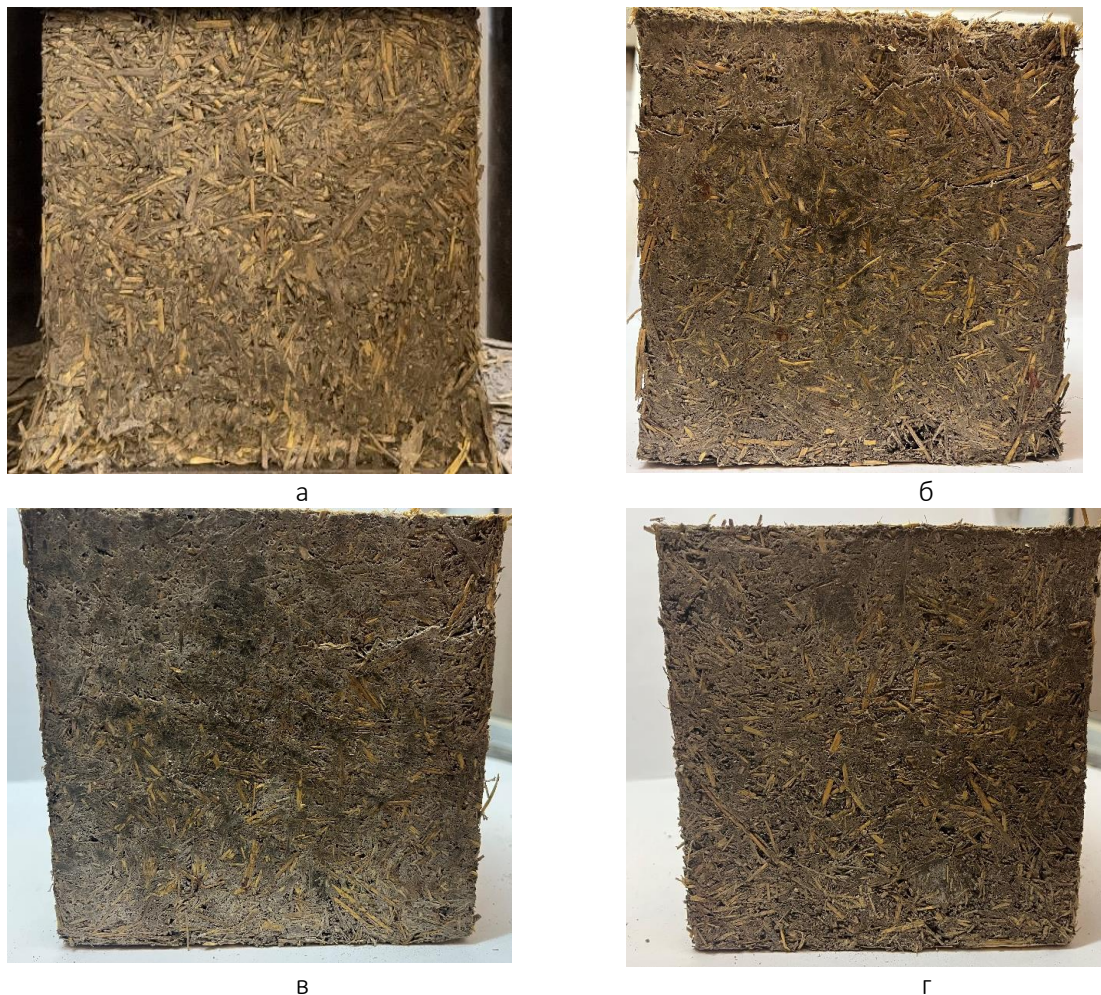
Шифр состава	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности в абсолютно сухом состоянии, Вт/(м·°С)	Прочность на сжатие, МПа	Давление формования, МПа	Время выдержки образца в форме, ч	Состояние образца
1.1	950	0,11	2,1	1,5	72	Сформированная связная структура
1.2	950	0,080	2,5	1,3	48	Сформированная связная структура (рис. 2, а)
1.3	1370	0,154	-	1,0	24	Сплошные горизонтальные разрывы в верхней части образца (рис. 2, б)
1.4	1370	0,157	-	1,0	24	Сплошные горизонтальные разрывы в верхней части образца
1.5	1355	0,191	-	0,8	24	Горизонтальные трещины длиной 30-40 мм (рис. 2, в)
1.6	1335	0,225	4	0,5	24	Сформированная связная структура (рис. 2, г)

Полученные образцы (состав 1.2) имеют связную структуру с равномерным распределением структурообразующего материала и вяжущего (таблица 1, рисунок 2а). По сравнению с составом 1.1 (таблица 1) время выдержки образца в форме сократилось с 72 до 48 часов, коэффициент теплопроводности снизился на 27% с 0,11 Вт/(м·°С) до 0,08 Вт/(м·°С). Прочность на сжатие составила 2,5 МПа, при плотности 950 кг/м<sup>3</sup>.

С целью сократить время выдержки образцов в формах до 24 часов дополнительно вводили кварцевый песок с одновременным сокращением расхода соломы. Корректировка состава обусловлена необходимостью создания цементно-песчаной матрицы для восприятия растягивающих усилий в структуре, возникающих от упругих деформаций частиц соломы при формовке. В составах 1.3–1.6 (таблица 2) время выдержки в форме сокращается до 24 часов. Количество песка по массе составило 800 кг на 1 м<sup>3</sup>. Расход пшеничной соломы варьировали в пределах 100-130 кг на 1 м<sup>3</sup>. В верхней части образцов (составы 1.3, 1.4) сплошные горизонтальные разрывы в верхней части появлялись на вторые сутки после распалубки (таблица 2, рисунок 2б). Необходимо отметить, что эффект разуплотнения при введении соломы 130 кг на 1 м<sup>3</sup> не удалось устранить. На образцах-кубах (состав 1.5, таблица 2, рисунок 2в) на вторые сутки после распалубки зафиксировано присутствие небольших горизонтальных трещин длиной 30-40 мм при расходе соломы 115 кг на 1 м<sup>3</sup>. При введении 100 кг измельченной соломы на 1 м<sup>3</sup> состава 1.6 (таблица 2, рисунок 2г) после распалубки через 24 часа и в последующие сутки хранения разрывов структуры и трещин не наблюдалось. Полученный результат

объясняется тем, что цементно-песчаная матрица после формовки образцов через 24 часа обеспечивает восприятие возникающих растягивающих усилий от частиц соломы.

Состав 1.6 при плотности  $1335 \text{ кг/м}^3$  и коэффициенте теплопроводности  $0,225 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$  обеспечивает прочность на сжатие образцов равную 4 МПа.



а – сформированная, связанная структура (состав 1.2); б – сплошные горизонтальные разрывы в верхней части образца (состав 1.3); в – горизонтальные трещины длиной 30-40 мм (состав 1.5); г – сформированная, связанная структура (состав 1.6)

Рисунок 2. – Внешний вид образцов-кубов

**Заключение.** В статье для решения проблемы разуплотнения образцов в виде трещин и разрывов после распалубливания на вторые сутки хранения при формовании изделий из резанной пшеничной соломы в форме трубок солому пропускали через измельчитель «Алькор-1» с ситами диаметром отверстий 10, 12, 15 мм. После измельчения частицы соломы представляли собой не полые цилиндры, а имели вид пластин.

Использование пшеничной соломы в виде пластин (состав 1.2), а не в виде полых трубок (состав 1.1) позволяет сократить время выдержки в формах на 33% с 72 до 48 ч. При этом коэффициент теплопроводности снижается на 27%, прочность при сжатии повышается на 19%. С целью сократить время выдержки образцов в формах до 24 часов дополнительно вводили кварцевый песок с одновременным сокращением расхода соломы. Корректировка состава обусловлена необходимостью создания цементно-песчаной матрицы для восприятия растягивающих усилий в структуре, возникающих от упругих деформаций частиц соломы при фор-

мовке. При введении 100 кг измельчённой соломы на 1 м<sup>3</sup> (состав 1.6) после распалубки через 24 часа и в последующие сутки хранения разрывов структуры и трещин не наблюдалось. Полученный результат объясняется тем, что цементно-песчаная матрица после формовки образцов через 24 часа обеспечивает восприятие возникающих растягивающих усилий от частиц соломы. Состав 1.6 при плотности 1335 кг/м<sup>3</sup> и коэффициенте теплопроводности 0,225 Вт/(м·°С) обеспечивает прочность на сжатие образцов равную 4 МПа. Применение состава для производства конструкционно-теплоизоляционных блоков позволит возводить двухэтажные здания с облегчёнными перекрытиями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зайченко, М. В. Новый строительный материал из соломы и земли / М. В. Зайченко // Университетская наука. – 2021. – № 1(11). – С. 45-47.
2. Rui Bo, Hongrui Zhang, Zixuan Ma, Riyong Yin, An Li, Xunzhi Yin, Straw bale construction towards nearly-zero energy building design with low carbon emission in northern China, *Energy and Buildings*, Volume 298, 2023, 113555, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113555>.
3. Cheng Sun, Jian Gu, Qi Dong, Dagang Qu, Wenshao Chang, Xunzhi Yin, Are straw bales better insulation materials for constructions? A review, *Developments in the Built Environment*, Volume 15, 2023, 100209, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100209>.
4. Maximilian Neusser, Franz Dolezal, Markus Wurm, Herbert Müllner, Thomas Bednar, Evaluation of the acoustic and environmental performance of different wall structures with particular emphasis on straw, *Journal of Building Engineering*, Volume 66, 2023, 105922, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.105922>.
5. Блоки строительные конструкционно-теплоизоляционные на растительном заполнителе. Технические условия: ТУ ВУ 300220696.063-2023. – Введ. 06.06.2023. – Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, 2023. – 11 с.
6. Строительный конструкционно-теплоизоляционный материал: Евразийский патент №047578. – Оpubл. 08.08.2024. – Москва: Евразийская патентная организация, 2024. – 3 с.
7. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: СТБ 1114-98. – Введ. 01.01.99. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь: РУП "Стройтехнорм", 1998. – 20 с.
8. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.02.2016. – Москва: НИИЖБ, 2012. - 36 с.
9. Бетоны. Методы определения плотности: ГОСТ 12730.1-78. – Введ. 01.01.80. – Москва: Издательство стандартов: СССР, 1980. - 5 с.
10. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме: СТБ 1618-2006. – Введ. 01.07.2006. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь: РУП «Стройтехнорм», 2006. - 12 с.
11. Ягубкин, А. Н. Влияние химических добавок на свойства цементного камня при разработке составов стеновых блоков на растительной основе / А. Н. Ягубкин, А. А. Бакатович, Р. С. Дембицкий // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс]: электрон. сб. ст. V Междунар. науч. конф., Новополоцк, 27 окт. 2023 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2024. – С. 325-328.