

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Долгонок А.В., Бакатович А.А.

Введение. Важной характеристикой стеновых материалов наряду с прочностными показателями является теплоизолирующая способность. Во время эксплуатации на теплопроводность значительное влияние оказывает влажность материала, постоянно изменяющаяся во времени. В исследованиях Шильда Е., Франчука А.У. [1, 2] рассмотрено влияние влажности на коэффициент теплопроводности и получены эмпирические формулы отражающие данное влияние для пеноизола, пенополистирола, силикатного кирпича. Для новых строительных материалов также требуется определение зависимостей коэффициентов теплопроводности от влажности.

Как известно, увеличение влажности материала приводит к повышению коэффициента теплопроводности [3], что ухудшает теплотехнические характеристики стеновых материалов. Для тепловлажностного расчета ограждающей конструкции необходимо определить влияние влажности материала на коэффициент теплопроводности, так как в процессе эксплуатации этот фактор может оказаться решающим в определении эффективной работы материала и его долговечности [4].

По причине отсутствия в нормативных документах стандартной методики по определению зависимости коэффициента теплопроводности от влажности за основу взята методика, применяемая Давыденко Н.В. в исследованиях теплоизоляционных материалов на растительном сырье [5].

Основная часть. Для изготовления стеновых блоков использовали дробленую солому и костру льна в качестве заполнителей. Цемент вводили как вяжущий компонент. В виде добавки применяли известь. Расход компонентов на 1 м^3 равен: цемент – 289 кг, известь – 71, заполнитель – 170 кг. С целью определения влияния влажности на коэффициент теплопроводности стеновых блоков предварительно изготавливали образцы в виде плит размерами $250 \times 250 \times 30$ мм на основе соломы и смеси соломы с кострой льна. В возрасте 28 суток образцы высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы и определяли коэффициент теплопроводности с использованием прибора ИТП – МГ4. Для стеновых материалов в сухом состоянии на основе соломы (составы 1 – 5) и соломы с кострой (составы 6 – 10) коэффициенты теплопроводности равны $0,085 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и $0,075 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ соответственно. Плотность образцов составляла $530 \text{ кг}/\text{м}^3$. Затем образцы помещали в герметичную камеру на сетчатую подставку над водой и выдерживали определенное время (2, 5, 10, 25, 60 суток). Наибольшая продолжительность выдержки в камере 60 суток обусловлена достижением образцами максимального влагонасыщения. В течении данного временного периода гидрозатвор обеспечивает герметичность и поддержание в камере относительной влажности воздуха на уровне 97%. По истечении каждого временного периода измеряли плотность и коэффициент теплопроводности образцов во влажном состоянии. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 1.

Проведенные исследования показали, что за первые 2 суток плотность образцов на основе соломы (состав 1) возросла на $20 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности на $0,005 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, а влажность составила 3,8%. Значение плотности костросоломенных образцов (состав 6) возросло на $10 \text{ кг}/\text{м}^3$ при влажности 1,9%, а показатель коэффициента теплопроводности незначительно увеличился на $0,004 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Влажность состава 1 относительно величины показателя состава 6 увеличилась в 2 раза, а коэффициент теплопроводности соломенных образцов превысил на 14% показатель композита на основе костросоломенной смеси.

При анализе полученных экспериментальных данных установлено, что наиболее интенсивно влажность образцов увеличилась за первые 10 суток. Так для стенового материала (со-

став 3) влажность увеличилась в 2 раза в сравнении с показателями состава 1 за первые 2 суток и составила 7,5%, а значение коэффициента теплопроводности возросло на 17%. Влажность состава 8 на основе костросоломенной смеси заполнителей в сравнении с показателем состава 6 в возрасте 2 суток увеличилась в 3,2 раза и достигла 6%. При этом значение коэффициента теплопроводности увеличилось на 16,5%. В возрасте 10 суток коэффициент теплопроводности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна увеличился на 25% и 23% относительно показателей в сухом состоянии.

Таблица 1 – Показатели плотности, влажности и теплопроводности стеновых материалов

№ состава	Вид заполнителя	Время выдерживания в камере, сутки	Физические характеристики			Коэффициент изменения теплопроводности
			плотность, кг/м ³	влажность, %	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	
1	солома	2	550	3,8	0,09	1,059
2		5	562	6,1	0,098	1,153
3		10	570	7,5	0,106	1,247
4		25	594	12,1	0,112	1,318
5		60	608	14,8	0,119	1,4
6	солома + костра льна	2	540	1,9	0,079	1,053
7		5	548	3,4	0,086	1,147
8		10	557	6,0	0,092	1,227
9		25	577	8,9	0,097	1,293
10		60	588	10,9	0,104	1,387

Кроме того, установлено, что после 10 суток выдержки в камере разница в показателях соломенных и костросоломенных образцов сохраняется. Так влажность состава 3 возросла на 25% относительно величины состава 8, а коэффициент теплопроводности увеличился на 22%.

При достижении максимального влагонасыщения через 60 суток влажность состава 5 увеличилась в 2 раза в сравнении с показателем состава 3 при выдержке 10 суток и в 3,9 раза при сравнении с составом 1 при выдержке 2 суток. Прирост плотности составил 38 кг/м³ и 58 кг/м³, а коэффициент теплопроводности возрос на 12% и 32% в сравнении с показателями составов 3 и 1 соответственно. Для костросоломенных образцов (состав 10) влажность увеличилась в 1,8 раза относительно состава 8 и в 5,7 раза в сравнении с составом 6. При сравнении с показателями составов 8 и 6 зафиксировано увеличение плотности костросоломенных образцов на 31 кг/м³ и 48 кг/м³, а коэффициента теплопроводности на 13% и 32% соответственно.

Показатель плотности стенового материала на соломенном заполнителе при выдержке в камере 60 суток (состав 5) на 20 кг/м³ превысил значение образца 10, при увеличении влажности на 36%. Из анализа экспериментальных данных (таблица 1) следует, что коэффициент теплопроводности по истечении 60 суток стенового материала на основе смеси соломы с кострой (состав 10) равен 0,104 Вт/(м·°С), что на 15% меньше показателя состава 5 на основе соломы равного 0,119 Вт/(м·°С).

Дополнительно проведены исследования по определению сорбционной влажности соломы и костры льна в насыпном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97%. Исследования показали, что максимальное значение в 35% показатель влажности соломы достигает через 15 суток, а влажность костры льна 10% составляет только на 9 сутки. Полученные результаты также подтверждаются исследованиями сотрудников Костромского государ-

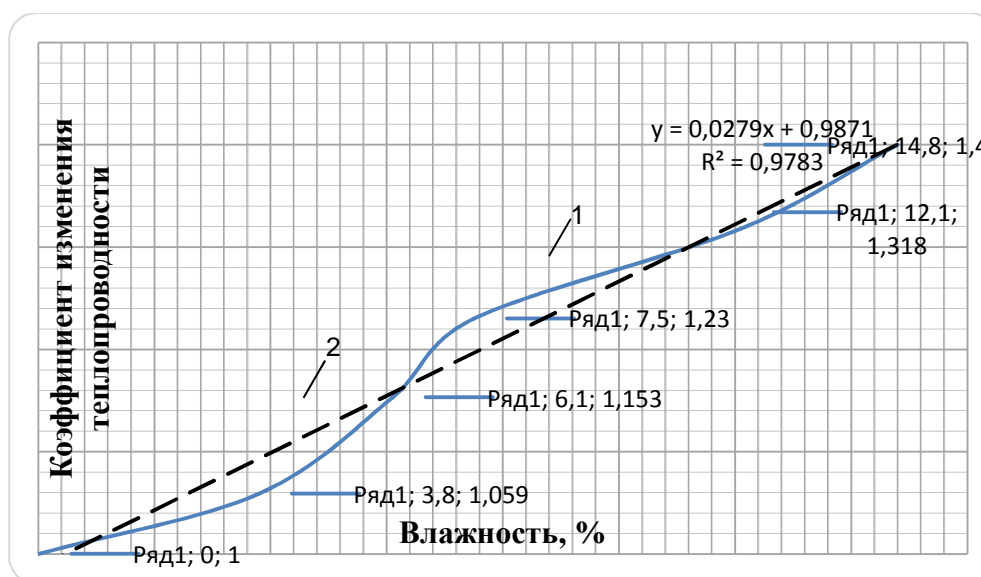
ственного университета [6]. Соответственно, при замене части соломы кострой льна в стеновых блоках происходит замедление процессов поглощения материалом влаги из воздуха за счет более низкой сорбционной влажности костры льна.

Кроме того, при формовке стеновых блоков на основе дробленой соломы происходит смятие и деформация всех соломенных трубок по всему объему заполнителя, что приводит к нарушению целостности внешней оболочки и микроструктуры заполнителя. Локальные разрушения внешнего защитного слоя и микроструктуры способствуют увеличению сорбции водяных паров соломенными трубками.

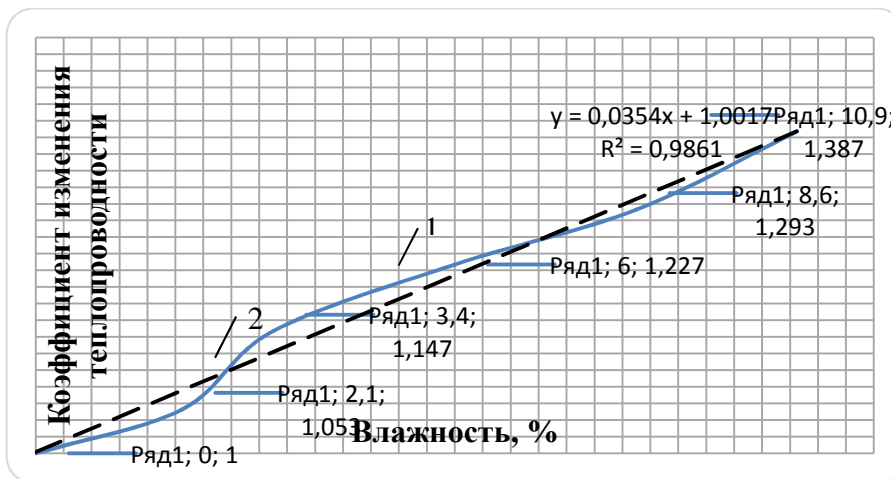
Введение костры льна в качестве мелкого заполнителя влечет за собой уменьшение объема костросоломенной смеси в сравнении с объемом соломенного заполнителя в насыпном состоянии, что способствует при формовании блоков смятию только трубок соломы диаметром 3 – 5 мм, а трубки диаметром менее 3 мм не подвергаются деформациям и не имеют поврежденной микроструктуры. Присутствие в костросоломенном каркасе неповрежденных трубок соломы в количестве 40 – 50% от массы крупного заполнителя дополнительно способствует снижению сорбции водяных паров стеновыми блоками на основе смеси из соломы и костры льна по сравнению с блоками на основе соломы.

Солома по своей природе является органическим материалом и подвержена ухудшению теплотехнических свойств из-за воздействия влаги. Из результатов исследований [7, 8] известно, что показатель влажности в 15 % является граничным, при котором в стеновом материале из соломы отсутствует ухудшение теплотехнических показателей. Увеличению влажности заполнителя из соломы до 16 % приведет к ухудшению качества соломенной трубки. Превышение порога влажности в 18 % приведет к активации спор находящихся на соломенной трубке и возникновению грибка [9]. В процессе исследований установлено, что максимальная влажность образцов содержащих солому в качестве заполнителя достигает 14,8% при относительной влажности воздуха 97%. Таким образом блоки на основе соломы могут достичь граничных условий по показателю влажности, что в дальнейшем будет способствовать снижению эксплуатационных характеристик, включая долговечность, а также стать причиной разрушения заполнителя и запустить механизм биоразложения соломы.

По результатам обработки данных эксперимента получены графики зависимостей (рис. 1, 2) коэффициентов изменения теплопроводности от влажности стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна.



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая
Рисунок 1 – Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности соломенного стенового материала



1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая
 Рисунок 2 – Зависимость коэффициента изменения теплопроводности от влажности костросоломенного стенового материала

При анализе построенных графиков полученных по данным таблицы 1 установлено, что зависимость коэффициента теплопроводности стенового материала от изменения влажности аппроксимируется линейной функцией с коэффициентом корреляции $R^2 = 0.9783$ для образца на основе соломы и $R^2 = 0.9861$ для материала с наполнителем из костросоломенной смеси.

На основании лабораторных исследований и построенных графиков получены эмпирические зависимости 1, 2 для стеновых материалов на наполнителях из соломы и смеси соломы с кострой льна в виде выражений:

$$\lambda_{w1} = \lambda_1 \cdot (1 + 0,0279 \cdot W_1) \quad (1)$$

$$\lambda_{w2} = \lambda_2 \cdot (1 + 0,0354 \cdot W_2) \quad (2)$$

где λ_1, λ_2 – теплопроводность сухих стеновых материалов на основе соломы и смеси соломы с кострой льна, Вт/(м·°C);

W_1, W_2 – влажность стеновых материалов, %;

0,0279; 0,0354 - коэффициенты переменной, определенные экспериментально для каждого стенового материала;

$\lambda_{w1}, \lambda_{w2}$ – теплопроводность материалов при данной влажности, Вт/(м·°C).

Используя выражения (1) и (2) построены зависимости коэффициента теплопроводности материала на основе соломы (прямая 1) и материала на основе смеси соломы с кострой (прямая 2) от заданных значений влажности (рис.3).

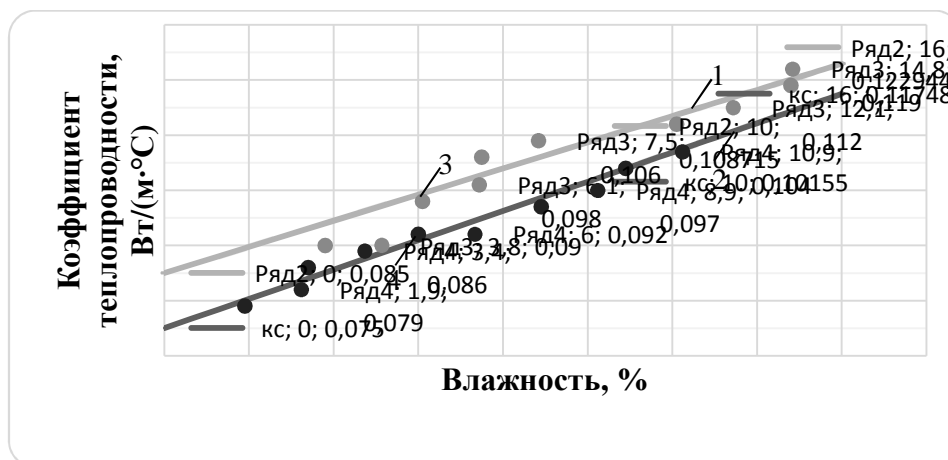


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности
 1 – эмпирическая зависимость для соломенного стенового материала;
 2 – эмпирическая зависимость для костросоломенного стенового материала;
 3 – экспериментальные данные для соломенного стенового материала;
 4 – экспериментальные данные для костросоломенного стенового материала

Полученные эмпирические зависимости для соломенных и костросломенных стеновых материалов обеспечивают возможность прогнозировать увеличение или понижение коэффициента теплопроводности в зависимости от влажностного режима эксплуатации стеновых ограждений зданий. Определенный расчетами влажностный режим работы стенового материала является необходимым условием для обоснования долговечности и оценки эффективности полученных стеновых блоков. Зависимости 1 и 2 могут использоваться при тепловлажностном расчете проектируемых стеновых ограждений из блоков на основе соломы и соломы с костью льна, а также при обосновании принимаемых технических решений для эффективной работы стеновой конструкции в целом.

Выводы. Представленные результаты показывают, что с использованием в качестве заполнителей соломы и костры льна для разработанных стеновых материалов с увеличением влажности возрастает коэффициент теплопроводности. После выдержки в камере влажность образцов на основе соломы достигла 14,8%, а теплопроводность повысилась на 40% до 0,119 Вт/(м·К). Максимальная влажность образцов на основе смеси соломы с костью составила 10,9%, что на 36% меньше по сравнению с образцами на основе соломы. При этом коэффициент теплопроводности увеличился на 39% и составил 0,104 Вт/(м·К).

Установлено, что стеновые блоки на основе соломы при длительном нахождении в условиях 97% относительной влажности воздуха практически достигают порогового значения влажности равного 15%. Влажность составов на основе смеси из соломы и костры не превышает 10,9% и ниже граничного показателя на 38%, что обеспечит высокие теплотехнические показатели наружных стен из блоков в процессе эксплуатации.

Полученные эмпирические зависимости коэффициента теплопроводности от влажности позволяют на стадии проектирования объектов определить теплотехнические характеристики ограждающих конструкций в заданных условиях эксплуатации и оценить эффективность работы стенового материала, как тепловой изоляции.

Список источников

1. Шильд, Е. Строительная физика /Е. Шильд, Х.-Ф; Кассельман, Г. Дамен, Р. Поленц; Пер. с нем. В.Г. Бердичевского; под ред. Э.Л. Дешко. - М.: Стройиздат. - 1982. -296с, ил.
2. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов /
3. А.У. Франчук.г М: НИИСФ Госстроя СССР, 1965.
4. Давыденко, Н.В. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности соломенных и костросоломенных теплоизоляционных материалов / Н.В. Давыденко, А.А. Бакатович // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 73–78.
5. Lawrence, M. Determining moisture levels in straw bale construction / M. Lawrence, A. Heath, P. Walker // Construction and Building Materials. -2009. Vol.23, Issue 8. – P. 2763 – 2768.
6. Давыденко Н. В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дис... канд. Техн. наук : 05.23.05 / Н. В. Давыденко; науч. рук. к.т.н. А.А. Бакатович; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2016. - 28 с.
7. Угрюмов, С.А. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.21.05 / С.А. Угрюмов. – Кострома, 2009. – 295 с.
8. Bainbridge, D.A High performance low cost buildings of straw / D.A. Bainbridge // Agricultural, Ecosystem and Environment. -1986. Vol.16, Issue 3 – 4. – P. 281 – 284.
9. Steen, A., Steen, B., Bainbridge, D., The Straw-bale House / A. Steen, B. Steen, D. Bainbridge.: Publisher Chelsea Green Publishing., 1994. – 320.
10. Ashour T. An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings / T. Ashour, H.Georg, W. Wu // Applied Thermal Engineering. -2011. Vol.31, Issue 2 – 3. – P. 293 – 303.