

УДК 666.973.2

**ВЛИЯНИЕ СОЛОМЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ,
СОДЕРЖАЩЕЙ ИЗМЕЛЬЧЕННЫЙ ТРОСТНИК****И.А. ПЕТЕРЕНКО***(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ, канд. техн. наук, доц. Н.В. БАКАТОВИЧ)*

Первоначально отдельно определены коэффициенты теплопроводности для измельченного тростника гигантского и ржаной соломы без связующего компонента. Также исследованы показатели теплопроводности для смеси заполнителя, содержащей 20 – 30 % соломы. Жидкое стекло вводили в композиции с расходом соломы 30 и 50 % от массы структурообразующей смеси. По итогам исследований установлено, что при соотношении арундо тростникового и соломы 1:1, расходе жидкого стекла 20% от массы растительной смеси при плотности образцов 176 кг/м^3 достигается минимальный коэффициент теплопроводности равный $0,053 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

Введение. Мировая практика разработки новых теплоизоляционных материалов на растительном сырье показывает, что практически в любой стране с подходящими климатическими условиями произрастают дикие растения или сельскохозяйственные культуры, являющиеся потенциальными источниками для получения структурообразующих материалов утеплителей. Известно применение в качестве исходного сырья для изоляции соломы злаковых культур, рисовой лузги, волокон коры эвкалипта и масляной пальмы, очесов льна, волокон конопли [1 - 5]. Потенциал использования растительного сырья далеко не исчерпан. Кроме того, растительные материалы относятся к возобновляемым источникам сырья. Благодаря своей экологической чистоте и безопасности для здоровья человека изоляция на растительном сырье становится все более востребованной при строительстве в первую очередь индивидуальных домов. Однако следует уделять внимание и экологичности связующих компонентов, т.к. использование фенолформальдегидных смол оказывает сильное негативное воздействие на здоровье человека. В качестве экологических безопасных вяжущих используют жидкое стекло, гипс, глину, крахмал [1, 4, 5]. Поиск структурообразующего растительного сырья для изготовления тепловой изоляции является весьма актуальным и перспективным направлением в строительной отрасли.

Материалы и методы. Частицы из измельченного стебля арундо тростникового (тростника гигантского) использовали в качестве основного структурообразующего компонента для тепловой изоляции. Арундо тростниковый произрастает в южных регионах Европы в т.ч. и Португалии. Полые стволы свежевырезанного тростника нарезали на цилиндры длиной 30 - 50 мм на ленточной пиле, а затем измельчали в шаровой мельнице, высушивали и фракционировали. Для изготовления образцов утеплителей использовали частицы тростника длиной 10 - 30 мм.

Дополнительным структурообразующим компонентом являлась солома ржи, получаемая в больших объемах в разных странах. Для переработки соломы использовали измельчитель типа Эликор-1 завода ПАО «Электромотор» (Украина). На выходе из измельчителя получали солому в виде мелких пластинок длиной 5-10 мм и шириной 1-2 мм. Высота соломенной пластинки соответствовала толщине стенки стебля ржи равной менее 1 мм.

В качестве вяжущего использовали натриевое жидкое стекло, производимое на ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (Беларусь) и отвечающее требованиям ГОСТ 13078.

Коэффициент теплопроводности экспериментальных утеплителей измеряли согласно СТБ 1618 «Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме» на образцах-плитах размером $250 \times 250 \times 30$ мм.

В первой серии образцы формовали без связующего. Необходимое количество материала укладывали и равномерно распределяли в приборе ИТП - МГ4 для установления показателя теплопроводности. Во второй серии образцов заполнитель перемешивали с модифицированным жидким стеклом. Предварительно производили дозировку компонентов. В жидкое стекло вводили сначала известь и перемешивали до однородной консистенции, а затем добавляли гипс. Сырьевую смесь равномерно укладывали в форму и подпрессовывали. Образцы выдерживали в форме 4 часа при температуре $20 \pm 2 \text{ °C}$, а затем высушивали в течение 12 часов в сушильном шкафу при температуре 40 - 45 °C. После определяли среднюю плотность и теплопроводность плит.

Сырьевые материалы и образцы теплоизоляционных плит высушивали в сушильном шкафу SNOL60/300 LFN (Литва). Настольные электронные весы ВНЭ-35 (УП «Завод Эталон» Беларусь) использовали для определения массы образцов и сырьевых материалов.

Экспериментальные исследования. Теплопроводность измельченного тростника имеет достаточно высокие показатели $0,057-0,059 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. С учетом имеющегося опыта [1, 7], решено вести второй

компонент заполнителя в виде измельченной соломы. Коэффициент теплопроводности измельченной ржаной соломы равен 0,045 Вт/(м·°С). Первоначально, заменили 20 и 30 % тростника по массе измельченной соломой. Влияние расхода соломы на теплопроводность смеси заполнителя изучали при изменении плотности от 120 до 180 кг/м³. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициент теплопроводности смеси тростника и соломы

Соотношение тростника к соломе, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С), при плотности, кг/м ³			
	120 (225)*	140 (260)*	160 (300)*	180 (340)*
80:20	0,055	0,05	0,049	0,052
70:30	0,055	0,047	0,048	0,05

*- расход смеси заполнителя по массе, г, на образец-плиту размером 250×250×30 мм.

При соотношении 80:20 коэффициент теплопроводности изменяется в пределах 0,049 – 0,055 Вт/(м·°С). Минимальное значение теплопроводности смеси заполнителя при плотности 160 кг/м³ на 11% ниже максимального показателя, соответствующего плотности 120 кг/м³. Увеличение расхода соломы до 30% обеспечило снижение коэффициента теплопроводности до 0,047 Вт/(м·°С), что меньше наибольшего значения на 15%.

Наименьшие коэффициенты теплопроводности 0,047 и 0,048 Вт/(м·°С) по результатам испытаний получен на смесях с соотношением массы тростника к соломе 70:30 при плотности 140 – 160 кг/м³. Введение измельченной соломы в количестве 30% привело к снижению коэффициента теплопроводности в среднем на 16 % относительно показателей измельченного тростника.

В качестве связующего для изготовления образцов-плит использовали жидкое стекло. Вяжущее обладает хорошей адгезией к основаниям растительного происхождения. Кроме того, жидкое стекло безопасно для окружающей среды. Соотношение тростника и соломы принято 70:30 и 50:50. Расход смеси заполнителя на образец плиту составил 250 – 300 г. Жидкое стекло вводили в количестве 40 – 70 г по сухому веществу. Формовку образцов-плит размером 250×250×30 мм производили под давлением 0,02 МПа. Образцы выдерживали в форме 5-6 часов, затем извлекали и в течение 8-9 часов высушивали в камере при температуре 40-50 °С. На полученных образцах-плитах исследовали влияние расхода жидкого стекла и смеси заполнителя, соотношения компонентов заполнителя на теплопроводность и плотность.

Результаты испытаний теплоизоляционного материала на основе тростника с добавлением соломы представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Составы и свойства тростниковосоломенных плит на жидком стекле

№ состава	Соотношение тростника к соломе	Расход на образец-плиту			Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
		заполнитель, г	жидкое стекло, г	вода, г		
1	70:30	300	40	510	185	0,057
2	70:30	300	55	485	189	0,059
3	70:30	300	70	455	197	0,064
4	70:30	270	40	510	165	0,054
5	70:30	270	55	485	176	0,057
6	70:30	270	70	455	181	0,062
7	70:30	250	40	510	155	0,061
8	70:30	250	55	485	163	0,063
9	70:30	250	70	455	170	0,068
10	50:50	300	40	510	181	0,054
11	50:50	300	55	485	189	0,056
12	50:50	300	70	455	197	0,059
13	50:50	270	40	510	165	0,051
14	50:50	270	55	485	176	0,053
15	50:50	270	70	455	181	0,057

По результатам испытаний установлено, что увеличение дозировки жидкого стекла с 40 г до 70 г приводит к увеличению коэффициента теплопроводности на 10 - 15 % и плотности на 12 - 16 кг/м³.

При соотношении тростника к соломе 70:30 наименьшие показатели теплопроводности получены на расходе заполнителя 270 и 300 г. Для составов 4, 5 коэффициенты теплопроводности составили

0,054 и 0,057 Вт/(м·°С) и является минимальными. Однако следует отметить слабосвязанную структуру образцов, что объясняется недостаточным количеством жидкого стекла. Плиты при незначительном усилии разрушались. При увеличении дозировки жидкого стекла (состав 6) формировалась более прочная структура, но происходило поверхностное шелушение заполнителя. Кроме того, возрастал коэффициент теплопроводности плит на 15 %.

Жесткие и прочные образцы теплоизоляционных плиты получены при плотности 300 г (составы 2, 3). Коэффициент теплопроводности составов 2,3 в среднем на 12 % превышает значения составов 4, 5 и на 29% показатели таблицы 1.

Для понижения коэффициента теплопроводности в составах 10 – 15 увеличили расход измельченной соломы до 50 % от общей массы. При расходе жидкого стекла в количестве 40 г на плитах составов 10 и 13 наблюдалось поверхностное шелушение при проведении ладонью по грани. На составах 11, 12, 14, 15 получены жесткие прочные плиты. Минимальный показатель теплопроводности 0,053 Вт/(м·°С) достигнут на образцах состава 14, что на 11% ниже показателей жестких плит состава 2.

Заключение

1. Коэффициент теплопроводности измельченного тростника имеет достаточно высокие показатели 0,057 – 0,059 Вт/(м·°С) при плотности 139 – 144 кг/м³. Введение второго компонента заполнителя в виде измельченной соломы обеспечило существенное снижение теплопроводности заполнителя. Наименьшие коэффициенты теплопроводности 0,047 и 0,048 Вт/(м·°С) по результатам испытаний получен на смесях с соотношением массы тростника к соломе 70:30 при плотности 140 – 160 кг/м³.

2. Увеличение количества измельченной соломы до 50% от общей массы заполнителя соответствующей 270 г при введении жидкого стекла в количестве 55 г позволило получить жесткие и прочные плиты плотностью 176 кг/м³ с обеспечением показателя теплопроводности 0,053 Вт/(м·°С).

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Bakatovich, N. Davydenko, Ensuring a sustainable structure and efficiency of thermal insulation strawboon slabs in full-scale conditions, *Scientific Journal of Riga Technical University «Construction Science»* – 2017. – vol. 20. – P. 4–9.
2. C. Buratti, E. Belloni, E. Lascaro, F. Merli, P. Ricciardi, Rice husk panels for building applications: thermal, acoustic and environmental characterization and comparison with other innovative recycled waste materials, *Constr. Build. Mater.* 171 (2018) 338–349. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.03.089.
3. Fuentealba, C. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus. / C. Fuentealba, J. Salazar, J. Vega-Lara, J. Norambuena-Contreras // *The 13th PacificBim Bio-Based Composites Symposium "Bio-based composites for a sustainable future"*, Concepcion, Chile, 13-15 November, 2016 // University of Concepcion. - Concepcion, 2016, P. 46 – 50.
4. F. Gaspar, A. Bakatovich, N. Davydenko, A. Joshi, Building insulation materials based on agricultural wastes // *Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-Efficient Construction* / F. Pacheco-Torgal, V. Ivanov, D. Tsang. – Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Elsevier, 2020 - P. 149-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819481-2.00008-8>.
5. S. Romanovskiy, A. Bakatovich, Full-scale study of flax fiber-based thermal insulating slabs on the atticfloor. 1st International Conference on Automation Innovation in Construction - CIAC 2019. Leiria. Polytechnical Institute of Leiria. 2019.
6. R. Pennacchio, L. Savio, D. Bosia, F. Thiebat, G. Piccablotto, A. Patrucco, S. Fantucci, Fitness: Sheep-wool and Hemp Sustainable Insulation Panels, *Energy Procedia.* 111 (2017) 287–297. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.030.
7. A. Bakatovich, F. Gaspar, Composite material for thermal insulation based on moss raw material, *Constr. Build. Mater.* 228 (2019). doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116699.