

УДК 691.182

## ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ИЗ ИНДЮШИНОГО ПЕРА

*А.А. Бакатович, В.Н. Шекиладзе, В.А. Медведь*

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь

e-mail: [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by), [v.n.shekiladze@students.psu.by](mailto:v.n.shekiladze@students.psu.by), [v.a.medved@students.psu.by](mailto:v.a.medved@students.psu.by)

*Проанализирована перспектива использования индюшиного пера в качестве материала для тепловой изоляции. Определены коэффициенты теплопроводности изоляции на основе переработанных перьев. По итогам исследований получены плиты на основе структурообразующего материала из опахала и нарезанных стержней индюшиных рулевых перьев.*

*Ключевые слова:* Рулевое перо, опахало, теплоизоляционный материал, плотность, коэффициент теплопроводности.

## THERMAL INSULATION BASED ON STRUCTURE-FORMING MATERIAL FROM TURKEY FEATHER

*A. Bakatovich, V. Shekiladze, V. Medved*

Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: [a.bakatovich@psu.by](mailto:a.bakatovich@psu.by), [v.n.shekiladze@students.psu.by](mailto:v.n.shekiladze@students.psu.by), [v.a.medved@students.psu.by](mailto:v.a.medved@students.psu.by)

*The prospect of using turkey feather as a material for thermal insulation has been analysed. Thermal conductivity coefficients of insulators based on reclaimed feathers are determined. Based on the results of the research, the slabs based on the structure-forming material from opahal and sliced rods of turkey feathers are obtained.*

*Keywords:* Steering feather, opahal, insulation material, density, thermal conductivity coefficient.

**Введение.** За последние годы в мировой строительной практике сформировалась устойчивая тенденция роста применения экологических материалов. В качестве исходного продукта используется не только растительное сырье, но и материалы животного происхождения. Данная тенденция наглядно прослеживается в тепловой изоляции. Так, наряду с теплоизоляционными материалами из растительного сырья, предлагаются разработки утеплителей на основе птичьего пера [1]. Перо представляет собой уникальный природный материал, обладающий разнообразными характеристиками и свойствами. Низкая плотность и теплопроводность пера обеспечивается благодаря наличию воздушных ячеек [2].

Птичье перо и пух являются отходами многочисленных птицеводческих фабрик. В основном отходы утилизируют путем сжигания или закапывают в землю, что наносит вред экологии. Небольшая часть отходов находит применение в изготовлении предметов быта, одежды, минеральной подкормки для домашней птицы, но возможности применения пера и пуха гораздо шире.

Выполненные ранее исследования показали, что композитные материалы, состоящие из куриных перьев и скрепленные с помощью цемента, могут использоваться в качестве материала для строительства недорогих домов в развивающихся странах. Оптимальная пропорция пера в плитах составляет 5 – 10% от общей массы изделия. Прочность на изгиб цементно-

перьевых плит составима с показателями доступных древесноволокнистых цементных плит при равной толщине и плотности. Цементно-перьевые плиты обладают отличной устойчивостью к гниению и воздействию термитов, что делает привлекательным применение плит в качестве строительного материала в тропическом климате [3].

Имеются сведения о возможности потенциального применения отходов куриного пера в качестве основного материала нетканого утеплителя. В исследованиях изучалось влияние ориентации перьев в структуре изоляции на теплоизоляционные свойства утеплителей. Тепловая изоляция из однонаправленно ориентированных куриных перьев обеспечивает высокую прочность на растяжение. Установлено, что материал из перьев однонаправленной ориентации лучше удерживает тепло и имеет более низкий коэффициент теплопроводности, чем традиционные изоляционные материалы [4].

**Экспериментальная часть.** В настоящее время в Полоцком государственном университете проводятся исследования, направленные на получение теплоизоляционных плит на основе птичьего пера. Основная задача исследований состоит в определении наиболее эффективного вида индюшиного пера или отдельных частей пера для применения в качестве структурообразующего материала тепловой изоляции. Предварительно проведены испытания по определению коэффициента теплопроводности рулевого индюшиного пера. При укладке в измерительную камеру прибора стержень пера подрезали, чтобы перо соответствовало длине 250 мм. Перья укладывали послойно, каждый слой укладывали во взаимно перпендикулярном направлении (рисунок 1).



Рисунок 1. – Индюшиное рулевое перо



Рисунок 2. – Стержень рулевого пера индюка, длиной 250 мм

По результатам испытания установлено, что коэффициент теплопроводности индюшиных рулевых перьев равен  $0,043 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  при плотности  $77 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Далее проводили исследования стержней рулевых перьев. На подготовительном этапе от пера отделяли опахало для получения стержней. Перед укладкой в камеру прибора стержни нарезали длиной 250 мм. Стержни укладывали в одном направлении для получения более плотной структуры (рисунок 2). При средней плотности  $152 \text{ кг}/\text{м}^3$  образец из стержней пера показал коэффициент теплопроводности равный  $0,055 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

В дальнейших исследованиях использовали нарезанные стержни в виде фрагментов, длиной 30 – 40 мм (рисунок 3). Переход на нарезанные стержни обусловлен технологическими трудностями, связанными с получением из целых стержней пера жестких плит при использовании вяжущего компонента. При определении коэффициента теплопроводности нарезанных стержней, варьировали плотность структурообразующего материала. Полученные результаты приведены в таблице 1.



Рисунок 3. - Фракция стержня рулевого пера индюка, длиной 30 – 40 мм в камере прибора ИТП-МГ4



Рисунок 4. – Фракция стержня рулевого пера индюка, длиной 10 – 20 мм в камере прибора ИТП-МГ4

Таблица 1. – Влияние средней плотности на коэффициент теплопроводности индюшиных перьев

№ сос-ва	Структурообразующий материал утеплителя	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности Вт/(м·°С)
1	Индюшиное рулевое перо	77	0,043
2	Стержень рулевого пера индюка, длиной 250 мм	152	0,055
3	Фракция стержня рулевого пера индюка, длиной 30 – 40 мм	112	0,069
4		139	0,061
5		165	0,054
6		192	0,061
7	Фракция стержня рулевого пера индюка, длиной 10 – 20 мм	118	0,07
8		168	0,059
9		213	0,056
10		250	0,057

Отмечается, что с увеличением плотности экспериментальных составов от 112 кг/м<sup>3</sup> до 165 кг/м<sup>3</sup> происходит уменьшение коэффициента теплопроводности на 21,7%. Таким образом при плотности 165 кг/м<sup>3</sup> (состав 5) измельченные стержни фракцией 30 – 40 мм достигают значения целых стержней (состав 2). Увеличение плотности до 192 кг/м<sup>3</sup> (состав 6) вызывает повышение коэффициента теплопроводности образцов на 11,5% до показателя 0,061 Вт/(м·°С).

Для снижения пустотности и получения более плотной структуры уменьшали длину фрагментов стержней до 10 – 20 мм. При засыпке нарезанных фрагментов в камеру прибора отмечено отсутствие сквозных пустот в структуре сырьевой смеси (рис. 4). В насыпном состоянии (состав 7) коэффициент теплопроводности образца совпадает с показателем состава 3. При возрастании плотности в 1,8 раза (состава 9), коэффициент теплопроводности понижается на 20%, по сравнению с показателем состава 7 и достигает значения 0,056 Вт/(м·°С). Тенденция последующего повышения плотности на 15% (состав 10), относительно (состава 9), не приводит к изменению коэффициента теплопроводности.

Для получения плиты из фрагментов стержня пера в качестве связующего использовали жидкое стекло в виде водного раствора, из расчета 150 г (80 кг/м<sup>3</sup>). Расход структурообразующего материала из фрагментов длиной 10 – 20 мм составил 470 г (250 кг/м<sup>3</sup>). Фрагменты стержней перемешивали с жидким стеклом до равномерного распределения вяжущего в смеси. Затем смесь укладывали в форму и равномерно распределяли по объему. Формовку

плиты производили под давлением создаваемым электродвигателем верхней траверсы гидравлического пресса. Плиту выдерживали в форме 24 часа после чего извлекали и помещали в сушильный шкаф на сушку при температуре 45 – 50°C. В результате получили жёсткий образец плиты с размерами 250 × 250 × 30 мм (рисунок 5). Коэффициента теплопроводности плиты составил 0,062 Вт/(м·°C) при плотности 284 кг/м<sup>3</sup>.



Рисунок 5. – Плита из фрагментов стержней фракцией 10 – 20 мм на жидком стекле



Рисунок 6. - Перьевая плита из нарезанного опахала рулевого пера индюка

Из полученных результатов, следует, что плитный утеплитель на основе фрагментов стержней пера имеет достаточно высокий коэффициент теплопроводности, а, следовательно, применение такого вида изоляции не является целесообразным.

Также исследовали образцы тепловой изоляции на основе нарезанного опахала рулевых перьев. С помощью ножниц опахало пера отрезали от стержня. Опахало разделяли на отдельные фрагменты в виде тонких гибких пластинок, близких к параллелограмму, размерами 30...50 × 10...20 мм. По результатам испытания образцов из опахала установлено, что коэффициент теплопроводности исследуемого состава равен 0,038 Вт/(м·°C) при плотности 43 кг/м<sup>3</sup>.

Для получения теплоизоляционной плиты опахало перемешивали с жидким стеклом. Расход жидкого стекла на плиту составил 200 г (107 кг/м<sup>3</sup>). В качестве структурообразующего материала использовали опахало пера в количестве 80 г (43 кг/м<sup>3</sup>). После сушки получили образец-плиту размерами 250 × 250 × 30 мм (рисунок 6). При относительно низкой плотности 112 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности составил 0,043 Вт/(м·°C).

Полученные предварительные показатели плотности и коэффициент теплопроводности плит указывают на возможность дальнейшего применения опахала в качестве структурообразующего материала для получения эффективной тепловой изоляции.

#### **Заключение.**

1. По результатам исследований установлено, что рулевые перья имеют показатель теплопроводности 0,043 Вт/(м·°C) при плотности 77 кг/м<sup>3</sup>. Для целых стержней рулевых перьев, отделенных от опахала, при плотности образца 152 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности равен 0,055 Вт/(м·°C).

2. Нарезка стержней на фрагменты длиной 10 – 20 мм и 30 – 40 мм, при варьировании плотности в пределах 112 – 213 кг/м<sup>3</sup>, не привела к снижению коэффициента теплопроводности. Для фракции 10 – 20 мм коэффициент теплопроводности изменяется в пределах 0,056 – 0,07 Вт/(м·°C), а при длине фрагментов 30 – 40 мм, показатель находится в пределах 0,054 – 0,069 Вт/(м·°C).

3. В отличие от целых стержней применение нарезанных фрагментов позволяет осуществлять механическое перемешивание частиц с вяжущим компонентом. Таким образом, при использовании фракций 10 – 20 мм и жидкого стекла получены жесткие плиты плотностью 284 кг/м<sup>3</sup> с коэффициентом теплопроводности 0,062 Вт/(м·°С).

4. Применение в качестве структурообразующего материала нарезанного опахала индюшиного пера при плотности 43 кг/м<sup>3</sup> обеспечивает получение образцов с коэффициентом теплопроводности на уровне 0,038 Вт/(м·°С). С использованием вяжущего отформованы жесткие плиты плотностью 112 кг/м<sup>3</sup>, имеющие коэффициент теплопроводности 0,043 Вт/(м·°С).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии пуха [Электронный ресурс] / сайт «sport-marafon.ru». – URL: <https://sport-marafon.ru/article/tekhnologii-pukha/> (Дата обращения: 07.11.2024).
2. Лаборатория экологии и управления поведением птиц [Электронный ресурс] / сайт «sev-in.ru». – URL: <https://sev-in.ru/laboratoriya-ekologii-i-upravleniya-povedeniem-ptic> (Дата обращения: 08.11.2024).
3. Устойчивое использование отходов куриных перьев для долговечных и недорогих строительных материалов для тропического климата [Электронный ресурс] / сайт «researchgate.net». – URL: [https://www.researchgate.net/publication/287694572\\_Sustainable\\_use\\_of\\_waste\\_chicken\\_feather\\_for\\_durable\\_and\\_low\\_cost\\_building\\_materials\\_for\\_tropical\\_climates](https://www.researchgate.net/publication/287694572_Sustainable_use_of_waste_chicken_feather_for_durable_and_low_cost_building_materials_for_tropical_climates) (Дата обращения: 08.11.2024).
4. Asril S. Soekoco; Muhammad Ichwan; Agus Hananto; Dody Mustafa, Application of chicken feather waste as a material of nonwoven insulator, AIP Conf. Proc. 2014, 020104 (2018).