

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.973.2

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МХА СФАГНУМА, ТРОСТНИКА И СОЛОМЫ

*канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены разработанные автором составы теплоизоляционных материалов на основе мха сфагнума. Исследованы их свойства. Определена плотность и теплопроводность утеплителей. При подборе составов учитывались усадочные деформации полученных образцов. Дополнительно для устранения усадочных деформаций при сушке вводили дробленый тростник или солому. Определены составы утеплителей с высокими физическими характеристиками на комплексном заполнителе на основе мха и соломы. С использованием электронного микроскопа получены поперечные и продольные срезы стеблей соломы и тростника, изучена микроструктура и объяснены механизмы, оказывающие значительное влияние на физико-механические свойства утеплителей.

Ключевые слова: *мох, тростник, солома, жидкое стекло, утеплитель, плотность, теплопроводность, микроструктура.*

Введение. Мох сфагнум произрастает главным образом в Северном полушарии и распространен от гор тропиков до арктической и субарктической зоны. Широко род *Sphagnum* представлен в умеренных широтах, особенно на Западно-Сибирской равнине, где на огромных пространствах образует растительность верховых болот [1].

Область применения мха сфагнума имеет достаточно большой диапазон и используется в различных отраслях жизнедеятельности человека: строительстве, медицине, пчеловодстве, животноводстве, садоводстве, флористике, в оценке экологической обстановки. К свойствам мха сфагнума можно отнести: экологичность; лечебные (бактерицидные) свойства; долговечность; выдерживание перепадов температур; неподверженность гниению; низкая теплопроводность; сохранение тепла; гигроскопичность.

Важный аспект использования природного растительного материала – возобновляемость сырья. Правильный сбор мха позволяет ускорить процесс роста и восстановления [2]. С целью получения мха с необходимыми свойствами и возможностью дальнейшего использования следует придерживаться определенных технологических правил в процессе сушки и хранения.

С давних пор известно о значительной пользе сфагнума в народной медицине в качестве лекарственного растения. Данные информационных источников свидетельствуют о том, что сфагнум в качестве перевязочного средства использовался еще в XI веке. Использовать сфагнум в качестве перевязочного средства позволяют его высокая гигроскопичность, дезинфицирующие и противогрибковые свойства, обусловленные входящими в его состав веществами [3]. Основными действующими веществами растений рода сфагнум являются фенольные соединения (преимущественно фенолкарбоновые кислоты) и полисахариды.

Метод мхов-биомониторов регулярно используется в течение последних 30 лет в скандинавских странах для мониторинга атмосферных выпадений металлов на обширных территориях, а в последнее время данная технология нашла масштабное применение в странах Западной Европы [4].

Биомониторинг загрязнений атмосферного воздуха химическими элементами с использованием мхов является в последнее десятилетие одним из самых эффективных, простых и менее затратных, а следовательно и перспективных методов оценки изменений и контроля качества воздуха [5]. Сфагновые мхи широко используются при проведении экологических исследований в качестве тест-объектов, чутко реагирующих на антропогенные воздействия, изменяя свои характеристики или аккумулируя поступающие из окружающей среды элементы. При этом концентрация веществ во мхах значительно выше, чем в травянистой растительности [6].

Ввиду своей малой теплопроводности сфагнум применяется в качестве изоляционного материала при утеплении венцов деревянных домов. Строители, разбирая старые деревянные дома, отмечают отличное состояние древесины в тех местах, где находился мох. Сохранность древесины обусловлена полезными бактерицидными свойствами сфагнума, содержащего сфагнол – вещество, препятствующее развитию гнилостных процессов. Данный факт подтверждается археологическими находками. Так, на моховом болоте в Австрии нашли остатки дороги из бревен, проложенной еще римлянами. В наше время строители постоянно применяют мох сфагнум в качестве утеплителя для строительства деревянных до-

мов, бань и саун. Для бани и сауны мох сфагнум отлично подходит, так как растение способно выдерживать перепады температур, влагу (конденсат) [7]. Однако до настоящего времени строительная промышленность не может предложить теплоизоляционный материал на основе сфагнума в виде плит, что позволило бы применять мох не только в бревенчатом строительстве.

Повышение экологической культуры заказчиков вынуждает строителей искать и предлагать теплоизоляционные материалы, обеспечивающие экологическую безопасность зданий. Разработка экологически чистого утеплителя на основе мха с бактерицидными свойствами в виде плит позволяет удовлетворить потребность в таком материале.

Материалы и методы. В проведенных нами исследованиях применяли нарезанный мох сфагнум, рубленую ржаную солому и тростник. Перед нарезкой мох предварительно высушивали. Рубка соломы и тростника осуществлялась на барабанной соломорезке типа РСБ-0.1.

Натриевое жидкое стекло соответствует ГОСТ 13078 [7]. Технические характеристики: силикатный модуль 2,9; pH 11...12; вязкость 0,0194 (Н·с)/м²; плотность 1,45...1,47 г/см³.

Плотность теплоизоляционных плит определяли в соответствии с ГОСТ 17177. Теплопроводность исследуемых материалов измеряли по СТБ 1618 при помощи прибора «ИТП-МГ4 100».

Микроскопический анализ структуры стеблей соломы ржи и тростника выполняли с использованием электронного микроскопа марки «JSM-5610 LV».

Экспериментальные исследования. Для получения теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья проведены комплексные исследования по подбору составов, включая подготовку заполнителя определенной фракции, изучены основные физико-механические характеристики полученных образцов. В экспериментальных исследованиях использовали однокомпонентный заполнитель из нарезанного мха или композиционный заполнитель, представляющий собой смесь из мха сфагнума с тростником обыкновенным или ржаной соломой. Натриевое жидкое стекло применяли в качестве связующего вещества. Использование мха как заполнителя обусловлено антисептическими свойствами и опытом использования в теплоизоляционных целях. Жидкое натриевое стекло обеспечивает теплоизоляционному материалу негорючесть, связывает заполнитель, является антисептиком и препятствует образованию грибка.

На предварительном этапе исследований в качестве заполнителя для получения теплоизоляционного материала использовали нарезанный мох длиной 1...2 см. 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 6...7 часов высушивали в камере при температуре 40...50 °С.

На полученных образцах-плитах определяли коэффициент теплопроводности и плотность.

Результаты испытаний теплоизоляционного материала на основе мха представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики плит на основе мха

№ состава	Масса образца, г	Расход компонентов на плиту, г			Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Размеры образца, см
		мох	жидкое стекло	вода			
1	531	300	400	175	300	0,075	24,4×24,4×3
2	499	260	400	160	285	0,06	24,4×24,4×3
3	464	220	400	145	265	0,047	24,4×24,3×3
4	437	180	400	130	250	0,05	24,3×24,3×3
5	396	140	400	115	225	0,056	24,3×24,2×3
6	352	100	400	100	200	0,063	24,2×24,2×3
7	439	300	300	175	255	0,068	24,4×24,3×3
8	410	260	300	160	235	0,053	24,3×24,3×3
9	377	220	300	145	215	0,04	24,3×24,2×3
10	349	180	300	130	200	0,045	24,2×24,2×3
11	316	140	300	115	180	0,051	24,2×24,2×3
12	280	100	300	100	160	0,058	24,2×24,1×3
13	346	300	200	175	205	0,059	24,3×24,3×3
14	320	260	200	160	185	0,047	24,3×24,3×3
15	289	220	200	145	170	0,034	24,3×24,2×2
16	261	180	200	130	155	0,04	24,2×24,2×3
17	236	140	200	115	140	0,046	24,2×24,1×3
18	208	100	200	100	120	0,052	24,1×24,1×3

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что при фиксированном количестве вяжущего (например, 300 г), увеличение расхода заполнителя на 120 г (составы 9 и 12) ведет к повышению плотности на 26% и снижению коэффициента теплопроводности на 31%. Однако при дальнейшем увеличении расхода заполнителя с 220 до 300 г (составы 9 и 7) наблюдается возрастание коэффициента теплопроводности на 42%, с 0,04 до 0,068 Вт/(м·°С). Повышение массы жидкого стекла также приводит к увеличению показателя теплопроводности. Так, при сравнении характеристик составов 3 и 9 можно отметить, что добавление 100 г связующего вызывает увеличение коэффициента теплопроводности на 15% и плотности на 19% при равном расходе заполнителя, а при сравнении составов 3 и 15 теплопроводность увеличилась на 28%, а плотность на 37%.

Таким образом, увеличение расхода как мха, так и жидкого стекла повышает коэффициент теплопроводности и плотность плит. Полученные зависимости объясняются тем, что при повышенном расходе жидкого стекла, слои связующего начинают выступать в качестве мостиков холода. По слоям связующего, покрывающим частицы заполнителя, начинает передаваться тепло. При низкой плотности утеплителя формируется рыхлая структура заполнителя, пропускающая через себя потоки теплого воздуха. При расходе мха 220 г удастся достичь оптимальной уплотненной структуры, блокирующей свободное перемещение воздушных тепловых потоков сквозь утеплитель, обеспечивающий сохранение максимальной целостности ячеистой микроструктуры мха. Дальнейшее повышение плотности теплоизоляционного материала приводит к смятию и уплотнению ячеистой микроструктуры, что вызывает разрушение стенок ячеек-клеток мха. В результате, несмотря на отсутствие сквозных потоков воздуха через структуру, повышаются теплотери через материал самого заполнителя. Наилучшие результаты по теплопроводности зафиксированы на составах 3, 9, 15 при разных расходах вяжущего, что обусловлено формированием оптимальной структурной системы из мха, блокирующей прохождение сквозных потоков воздуха через утеплитель. При этом внутренняя ячеистая микроструктура стволов и листьев мха остается максимально неповрежденной.

После сушки у теплоизоляционных плит отмечается присутствие значительных усадочных деформаций по длине и ширине на 7...8 мм, что составляет около 6% от размеров формовки. При перемешивании с жидким стеклом вследствие гигроскопичности мха, вода попадает в мертвые клетки и вызывает их разбухание, а следовательно и увеличение в объеме. Таким образом, происходит увеличение размеров нарезанных фрагментов мха, обладающего значительным коэффициентом линейного расширения при контакте с водой. В процессе сушки вода испаряется из мертвых гиалиновых клеток, и мох уменьшается в размерах, что приводит к появлению усадочных деформаций.

На втором этапе исследований с целью придания теплоизоляционному материалу большей жесткости и уменьшения усадки вводили в заполнитель дополнительный компонент – тростник обыкновенный в виде нарезанных трубок длиной 1,5...3 см. Основная фракция (до 70%) представлена тростником с длиной трубки 2...2,5 см. При попытке дробить стебель тростника на части длиной менее 1,5 см материал терял свою цилиндрическую форму и разрушался на сегменты. Использование трубок тростника длиной более 3 см не целесообразно с позиции формирования необходимой жесткой связной структурной системы. В составе комплексного заполнителя трубки тростника должны создать каркас из прочных и связанных между собой дробленых частиц цилиндрической формы. Таким образом, полученный каркас из трубок тростника в составе основной массы мха позволит воспринимать сжимающие усилия, уменьшая тем самым усадочные деформации. За общую массу комплексного заполнителя принята масса мха в однокомпонентных составах 3, 9 и 15 (см. таблицу 1) с наименьшими коэффициентами теплопроводности. Тростник вводили в количестве 20...50% от общей массы заполнителя. Результаты испытаний теплоизоляционного материала на основе мха и тростника представлены в таблице 2.

При рассмотрении составов с равным количеством связующего установлено, что повышение расхода дробленого тростника ведет к увеличению коэффициента теплопроводности плит. Введение тростника в количестве 50% от общей массы заполнителя (состав 5) вызывает повышение коэффициента теплопроводности относительно показателя состава 8 на 33% – с 0,045 до 0,06 Вт/(м·°С); также наблюдается возрастание показателя теплопроводности с увеличением количества связующего. Например, для составов 3 и 11 с равными расходами заполнителей увеличение массы жидкого стекла на 200 г (состав 3) привело к возрастанию показателя теплопроводности на 23%. В целом следует отметить, что показатели теплопроводности материалов на двухкомпонентной основе (см. таблицу 2) выше, чем показатели однокомпонентных составов (см. таблицу 1), при равном расходе компонентов. Состав 12 с наибольшим количеством мха в заполнителе при плотности 166 кг/м³ имеет коэффициент теплопроводности 0,041 Вт/(м·°С), что на 21% больше, чем показатель однокомпонентного материала с тем же количеством связующего (состав 15, см. таблицу 1).

Нарезанный тростник обладает высокой насыпной плотностью, равной 255 кг/м³. Вводимый дробленый тростник в количестве 20...40% не обеспечивает формирование связанного жесткого каркаса, необ-

ходимого для устранения усадочных деформаций плит. Отмечается неравномерное распределение дробленого тростника по массиву утеплителя. Устранить усадку плит удалось в составах с расходом мха 40 и 50% независимо от количества жидкого стекла. В остальных составах на основе смеси мха и тростника усадочные деформации уменьшились на 3...5 мм по сравнению с плитами изо мха.

Таблица 2. – Физико-механические характеристики плит на основе мха сфагнума и тростника обыкновенного

№ состава	Масса образца, г	Расход компонентов на плиту, г				Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Соотношение мх:тростник, %	Размеры образца, см
		мох	тростник	жидкое стекло	вода				
1	426	110	110	400	100	228	0,068	50:50	25×25×3
2	426	132	88	400	115	231	0,059	60:40	25×25×3
3	425	154	66	400	130	234	0,054	70:30	25×24,9×3
4	423	176	44	400	145	235	0,05	80:20	24,8×24,8×3
5	359	110	110	300	75	194	0,06	50:50	25×25×3
6	358	132	88	300	90	195	0,053	60:40	25×25×3
7	359	154	66	300	105	198	0,049	70:30	24,9×24,8×3
8	357	176	44	300	130	200	0,045	80:20	24,7×24,6×3
9	293	110	110	200	75	160	0,053	50:50	25×25×3
10	294	132	88	200	90	163	0,047	60:40	25×25×3
11	295	154	66	200	105	165	0,044	70:30	24,7×24,7×3
12	294	176	44	200	130	166	0,041	80:20	24,5×24,5×3

В процессе формовки материала 20...30% дробленых стеблей тростника в виде трубок расщепляется на сегменты, что сокращает занимаемый частицами объем в плите и приводит к разуплотнению структуры мха. Такие процессы отчетливо наблюдаются в составах с расходом тростника 40 и 50%. В результате, тепловые потоки свободно перемещаются сквозь структуру материала, что приводит к повышению коэффициента теплопроводности и снижению термического сопротивления утеплителей.

Максимально высокие показатели теплопроводности, несмотря на отсутствие усадочных деформаций, получены на составах с расходом тростника 50% (составы 1, 5, 9). Наименьшие значения теплопроводности плит на двухкомпонентной основе зафиксированы у составов 4, 8, 12 с минимальным расходом тростника. Состав 12 с наименьшим количеством мха в наполнителе при плотности 166 кг/м³ имеет коэффициент теплопроводности 0,041 Вт/(м·°С), что на 21% больше, чем показатель однокомпонентного материала с тем же количеством связующего (состав 15, таблица 1). При этом плиты составов 4, 8, 12 имеют усадочные деформации от 2 до 5 мм, меньшие на 2...5 мм по сравнению с образцами 3, 9, 15 на основе мха (см. таблицу 1).

Следует отметить, что полученные показатели теплопроводности теплоизоляционных плит определяются не только формирующейся структурой композиционного материала и расходом жидкого стекла, но в значительной степени обусловлены более низкими теплоизоляционными свойствами тростника по сравнению со мхом. Так, для тростника коэффициент теплопроводности равен 0,067 Вт/(м·°С) [2], а для мха составляет 0,031 Вт/(м·°С). Также в качестве второго компонента наполнителя использовали дробленую ржаную солому длиной трубки 1,5...3 см. Результаты испытаний теплоизоляционного материала на основе смеси мха и соломы приведены в таблице 3.

В ходе анализа полученных данных установлено, что изменения показателя теплопроводности от соотношения компонентов в смеси наполнителя и количества связующего аналогичны зависимостям утеплителя на основе смеси изо мха и тростника. Так, в составах 5 и 8 (таблица 3) при равной массе жидкого стекла повышение количества соломы в составе приводит к возрастанию коэффициента теплопроводности на 30% – с 0,043 Вт/(м·°С) до 0,056 Вт/(м·°С). В то же время добавление 200 г связующего при равном соотношении компонентов в смеси наполнителя в составах 2 и 10 увеличивает плотность плит на 45% – со 156 кг/м³ до 226 кг/м³, а коэффициент теплопроводности до 0,058 Вт/(м·°С) на 32%. Также установлено незначительное ухудшение теплоизоляционных свойств материала по отношению к составам с однокомпонентным наполнителем (см. таблицу 1) и улучшение показателей в сравнении с плитами на основе композиции изо мха и тростника (см. таблицу 2). Например, при максимальном коли-

честве мха и расходе связующего 200 г (состав 12), коэффициент теплопроводности равен 0,037 Вт/(м·°С), и практически достигает значения показателя состава 15 (см. таблицу 1) на основе мха.

Таблица 3. – Физико-механические характеристики плит на основе мха сфагнума и ржаной соломы

№ состава	Масса образца, г	Расход компонентов на плиту, г				Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Соотношение мох:солома, %	Размеры образца, см
		мох	солома	жидкое стекло	вода				
1	423	110	110	400	100	225	0,063	50:50	25×25×3
2	425	132	88	400	115	226	0,058	60:40	25×25×3
3	426	154	66	400	130	227	0,054	70:30	25×25×3
4	424	176	44	400	145	226	0,051	80:20	25×25×3
5	358	110	110	300	75	191	0,056	50:50	25×25×3
6	359	132	88	300	90	192	0,05	60:40	25×25×3
7	357	154	66	300	105	190	0,046	70:30	25×25×3
8	358	176	44	300	130	191	0,043	80:20	25×25×3
9	294	110	110	200	75	157	0,049	50:50	25×25×3
10	292	132	88	200	90	156	0,044	60:40	25×25×3
11	290	154	66	200	105	155	0,04	70:30	25×25×3
12	293	176	44	200	130	156	0,037	80:20	25×25×3

При сравнении тростника и ржаной соломы в качестве компонентов в составе комплексного заполнителя установлено, что насыпная плотность дробленой соломы в 2,2 раза меньше, чем показатель тростника, и равна 115 кг/м³. В комплексном заполнителе при равных массах компонентов дробленая солома занимает в 2 раза больший объем по сравнению с нарезанным тростником. В результате при формовке плит на основе смеси из мха и соломы формируется жестко связанный каркас из дробленых стеблей соломы с заполнением пустотного пространства плотной структурой из мха, препятствующей свободному движению воздушных потоков через структуру утеплителя. Полученная структурная система обеспечивает низкий коэффициент теплопроводности, высокую прочность и отсутствие усадочных деформаций при сушке.

Разрушение полых цилиндрических частиц тростника на сегменты при формовании плит препятствует образованию внутренних локальных воздушных пустот в трубках, что повышает теплопроводность в составах из смеси мха и тростника. Дробленые стебли соломы на всех технологических этапах производства теплоизоляционной плиты сохраняют свою цилиндрическую форму и свойства. После формовки воздушные полости в трубках по торцам закрываются уплотненным мхом, и циркуляция воздуха через внутреннюю пустоту трубки не происходит, что снижает теплопроводность соломы. Кроме того отсутствует разрушение ячеистой структуры капилляров соломы, так как не происходит деформации трубок дробленых стеблей при формовке, что также способствует повышению сопротивления теплопередачи составов из смеси мха и соломы.

Можно предположить, что микроструктура стеблей тростника и соломы оказывает существенное влияние на теплопроводность плит. Для объяснения механизмов влияния строения тростника и соломы на полученные результаты по теплопроводности утеплителей изучена микроструктура стеблей в поперечном и продольном направлении с использованием электронной микроскопии. Выявленной особенностью микростроения сухих стеблей тростника и соломы является присутствие в образцах двух одинаковых структурных областей – внутренней и внешней, имеющих свои особенности (рисунки 1–6).

По толщине внешняя область стебля соломы равна 250...350 мкм и состоит из капилляров диаметром 5...40 мкм, разделенных в продольном направлении перегородками толщиной 1...3 мкм через 150...500 мкм (рисунки 1–3). Капилляры внешней области обеспечивают прочность стебля в продольном и поперечном направлении. При этом капилляры могут подвергаться упругим или пластическим деформациям, сохраняя свою целостность.

Внутренняя область стебля соломы состоит из капилляров, напоминающих по строению в поперечном сечении пчелиные соты диаметром 40...90 мкм с толщиной стенки 0,4...0,5 мкм (рисунки 1, 2). По длине через 50...100 мкм капилляры разделены тонкими прозрачными перегородками толщиной менее 0,5 мкм (рисунок 3) и образуют ячейки, имеющие форму, близкую к цилиндрической. Толщина внут-

ренной области достигает 300...450 мкм. Благодаря своей эффективной структуре внутренняя область стебля определяет высокие теплоизоляционные свойства соломы.

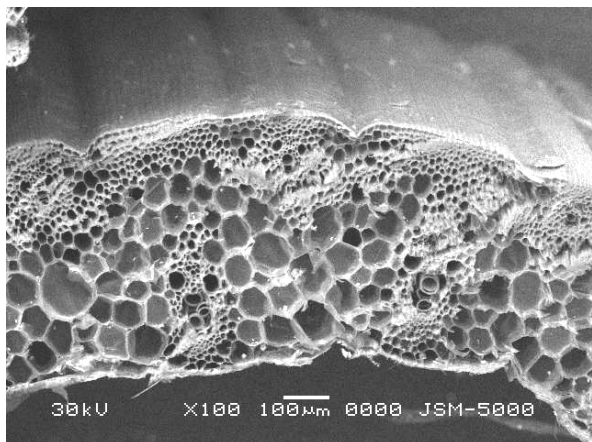


Рисунок 1. – Поперечный срез стебля ржаной соломы (100-кратное увеличение)

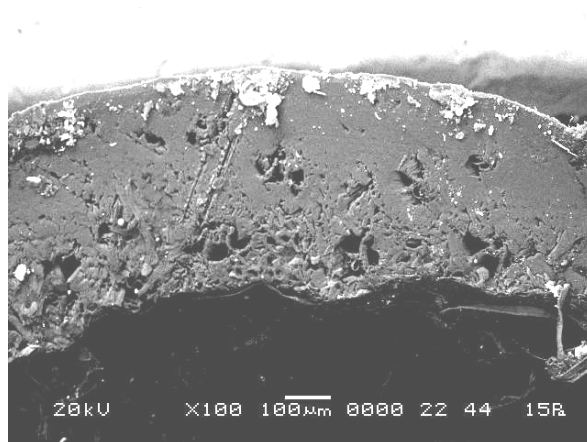


Рисунок 4. – Поперечный срез стебля тростника (100-кратное увеличение)

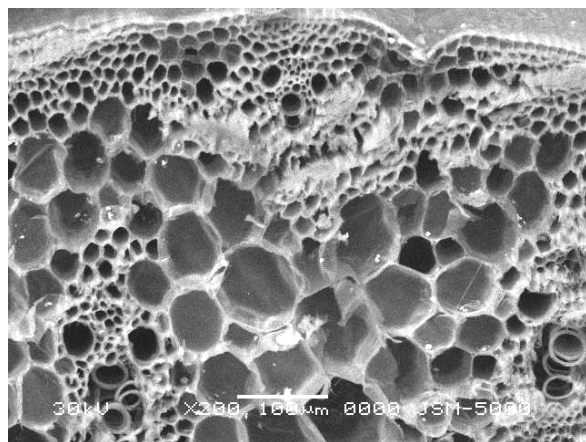


Рисунок 2. – Поперечный срез стебля ржаной соломы (200-кратное увеличение)

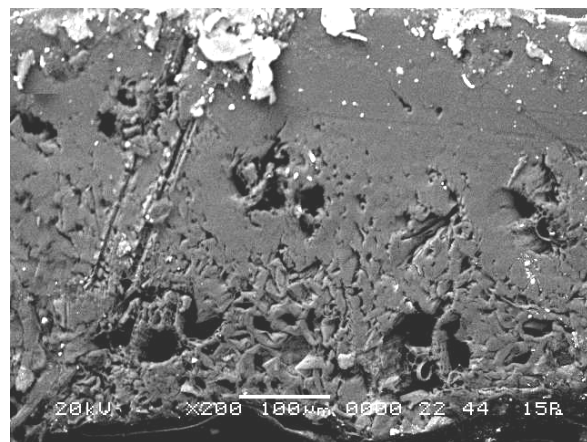


Рисунок 5. – Поперечный срез стебля тростника (200-кратное увеличение)

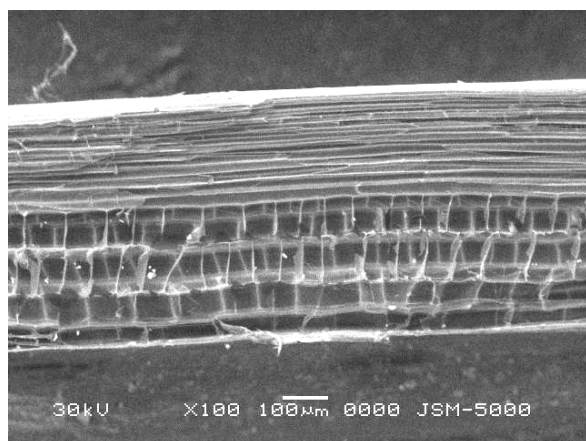


Рисунок 3. – Продольный срез стебля ржаной соломы (100-кратное увеличение)

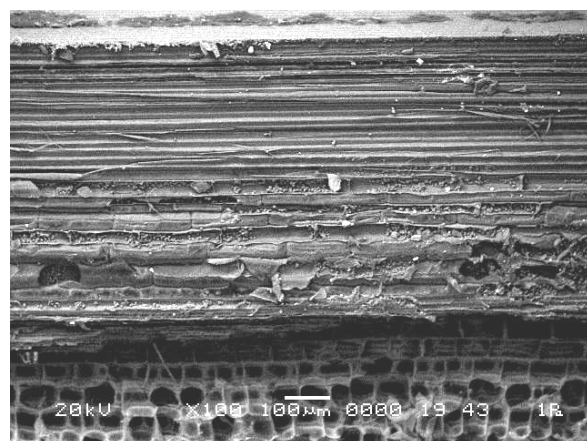


Рисунок 6. – Продольный срез стебля тростника (100-кратное увеличение)

Внешняя область тростника толщиной 250...400 мкм имеет плотную структуру из одревесневших волокон. Диаметр волокон составляет 10...20 мкм и увеличивается к внутренней области (рисунки 4–6). По центру каждого волокна расположен пустотный канал диаметром от 4 до 8 мкм.

Таким образом, волокна во внешней области представляют собой трубки с толщиной стенки 3...6 мкм. Трубки образуют жесткий и упругий каркас в продольном направлении стебля тростника. Каркас из волокон обеспечивает целостность растения при деформациях вызванных изгибающими усилиями от ветров. Однако в поперечном направлении структура с ориентацией волокон в продольном направлении неспособна подвергаться значительным упругим и пластическим деформациям, и при приложении небольших поперечных усилий происходит мгновенное хрупкое разрушение стебля. Данный недостаток не позволяет получать наполнитель из тростника в виде трубок длиной менее 10 мм при нарезке стебля. Толщина стенок волокон внешней области стебля тростника в 2...3 раза больше размеров стенок капилляров внешней области соломы. При этом диаметр волокон внешней области тростника в 2 раза меньше диаметра капилляров соломы.

Внутренняя область стебля толщиной 300...400 мкм состоит из основного слоя капилляров диаметром 20...40 мкм, разделенных поперечными перегородками через 100...150 мкм (см. рисунок 6). Толщина стенок капилляров составляет 2...3 мкм. С внутренней стороны стебля область покрыта тонким слоем капилляров в 100...120 мкм, по своему строению совпадающим со строением внутренней области стебля соломы. В результате внутренняя область стебля, в первую очередь, обеспечивает теплоизоляционные свойства тростника. Однако из-за меньших (в 2...2,3 раза) поперечных размеров ячеек и при большей толщине перегородок (в 5...6 раз) основного слоя капилляров тростник обеспечивает худшие теплоизоляционные свойства в сравнении с ржаной соломой. Подтверждением данного вывода могут служить показатели коэффициента теплопроводности для тростниковых плит и соломенных тюков, равные 0,067 Вт/(м·°C) [8] и 0,05 Вт/(м·°C) [9] соответственно.

Из результатов электронной микроскопии следует, что тростник обладает более плотной микроструктурой относительно соломы. Зафиксировано превышение в 2...6 раз толщины стенок капилляров при уменьшении в 2...5 раз диаметров самих капилляров стебля тростника по сравнению с показателями аналогичных параметров микроструктуры соломы. Таким образом, установлена причина превышения в 2,2 раза величины насыпной плотности нарезанного тростника по сравнению с показателем дробленой соломы.

Использование смеси из мха и соломы показало отсутствие усадочных деформаций. Также отмечено уменьшение плотности материала по сравнению с плитами на основе смеси из мха и тростника, что объясняется сохранением первоначальных размеров плит при одинаковой массе компонентов после сушки. Так, плотность состава 8 (см. таблицу 3) составила 191 кг/м³, что на 9 кг/м³ меньше показателя состава 8 (см. таблицу 2).

Большой объем соломы относительно занимаемого тростником пространства, сохранение геометрии дробленых стеблей в виде полых цилиндров-трубок позволили создать в структуре мха равномерно распределенный связанный каркас из соломы, воспринимающий сжимающие усилия при нагрузке и препятствующий появлению усадочных деформаций. Также по причине большего объема, заполняемого соломой в составе композитного наполнителя, наблюдается уплотнение мха до структуры, аналогичной составам 3, 4, 9, 10, 15, 16 (см. таблицу 1). Приведенные факторы обуславливают отсутствие усадочных деформаций теплоизоляционных плит при сушке.

Заключение

1. Применение мха сфагнума и жидкого стекла позволяет получить теплоизоляционные плиты с низким коэффициентом теплопроводности, равным 0,034...0,04 Вт/(м·°C) при плотности 155...170 кг/м³. Однако плитному утеплителю из мха присущ недостаток – значительные усадочные деформации материала после сушки.

2. Определен основной фактор, влияющий на теплопроводность утеплителя на основе смеси из смеси мха с тростником или соломой. По результатам электронной микроскопии установлено, что ячейки капилляров внутренней области стебля тростника в 2...2,3 раза меньше поперечных размеров ячеек соломы, но при этом толщина перегородок в 5...6 раз больше, что снижает теплоизоляционные свойства тростника в сравнении с ржаной соломой.

3. Присутствие соломы в композиции позволяет устранить усадочные деформации утеплителя при незначительном увеличении коэффициента теплопроводности. Оптимальными составами без усадочных деформаций после сушки являются комплексные составы 11 и 12 на основе мха сфагнума и ржаной соломы, обеспечивающие коэффициент теплопроводности 0,037...0,04 Вт/(м·°C) при плотности 155...156 кг/м³. Кроме того, введение ржаной соломы позволяет сократить расход мха сфагнума как ценного природного материала на 20...30% при производстве экологически безопасных эффективных теплоизоляционных плит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверев, А.А. Оценка условий местообитания сфагновых мхов Западно-Сибирской равнины по ведущим экологическим факторам / А.А. Зверев, Л.Г. Бабешина. – Томск : Вестн. Том. гос. ун-та, 2009. – 167 с.

2. Мох сфагнум. Свойства, заготовка, применение [Электронный ресурс] // Интернет-портал. – Режим доступа: <http://www.liveinternet.ru/users/651596/post345071054>. – Дата доступа: 12.04.2018.
3. Отдел моховидные. Общая характеристика и значение [Электронный ресурс // Интернет-портал]. – Режим доступа: <http://blgy.ru/biology6/moss>. – Дата доступа: 11.05.2018.
4. Винокурова, Е.П. Сравнение аккумуляционной способности различных видов мхов / Е.П. Винокурова, Н.С. Рогова, Н.К. Рыжакова // Современные техника и технологии: сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 4–8 мая 2009 г. : в 3 т. / Нац. исслед. Том. политехн. ун-т (ТПУ). – 2009. – Т. 3. – С. 19–21.
5. Боженко, Н.П. Особенности использования мхов в биомониторинговых исследованиях / Н.П. Боженко, А.М. Межибор // Проблемы геологии и освоения недр : тр. XIX Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвящ. 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6–10 апр. 2015 г. : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 1. – С. 578–580.
6. Емельянова, А.П. Выявление природно-климатических факторов, влияющих на содержание химических элементов в сфагновых мхах / А.П. Емельянова, Е.А. Шмелина, С.В. Алексеенко // Перспективы развития фундаментальных наук : сб. тр. IX Междунар. конф. студентов и молодых ученых, Томск, 24–27 апр. 2009 г. / Нац. исслед. Том. политехн. ун-т (ТПУ), 2012. – С. 98–100.
7. Мох сфагнум: применение в строительстве [Электронный ресурс] // Интернет портал. – Режим доступа: <http://dom.ukrbio.com/ru/articles/5654/>. – Дата доступа: 16.05.2018.
8. Плиты тростниковые строительные теплоизоляционные. Технические условия : СТБ 1868-2008 ; Введ. 01.01.2009. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 7 с.
9. Тюки соломенные прессованные строительные теплоизоляционные. ТУ 5768-001-85608424-2008. – Введ. 22.04.2008. – Волжский : ООО «Соломинка – Дом», 2008. – 11 с.

Поступила 29.05.2018

THE MAIN PROPERTIES OF THERMAL INSULATION PLATES WITH THE USE OF SPHAGNUM MOSS, REEDS AND STRAW

A. BAKATOVICH

The compositions and properties of thermal insulation materials based on moss sphagnum are developed and investigated. The density and thermal conductivity of the insulation are determined. Shrinkage deformations of the obtained samples were also taken into account in the selection of compositions. In addition, crushed reed or straw was introduced to eliminate shrinkage deformation during drying. The compositions of insulation with high physical characteristics on the filler from a mixture of moss and straw are determined. Using an electron microscope, transverse and longitudinal sections of straw and reed stems are obtained, microstructure is studied and mechanisms that have a significant impact on the physical and mechanical properties of insulation are explained.

Keywords: moss, reed, straw, liquid glass, insulation, density, thermal conductivity, microstructure.