

УДК 699.865  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

## ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА\*

*С.Г. Лучинкин, асп.*

*В.А. Кожухов, канд. техн. наук*

*Ю.Д. Алашкевич, д-р техн. наук, проф.*

Сибирский государственный университет науки и технологии им. академика  
М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, д. 82, г. Красноярск, Россия, 660049;  
e-mail: vkozkhukhov@mail.ru

Основное направление развития производства строительных материалов – получение материалов, обеспечивающих экономию энергетических ресурсов, включая снижение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений и технологического оборудования. Однако большая часть изоляционных материалов обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить невысокую теплостойкость, повышенную горючесть, наличие в их составе вредных компонентов, которые загрязняют окружающую среду. Существует проблема утилизации отходов при производстве и эксплуатации этих материалов, а также высоки затраты электроэнергии на их производство. Актуальность исследования заключается в необходимости разработки на основе вторичного целлюлозного волокна эффективного материала, обладающего необходимыми теплоизолирующими и эксплуатационными свойствами, и создание на его основе энергосберегающей технологии производства негорючих тепло- и звукоизоляционных материалов. Цель работы – разработка технологии изготовления тепло- и звукоизоляционного материала на основе измельченной бумажной макулатуры и негорючих наполнителей, борной кислоты и буры. По результатам исследований предложена новая технологическая схема производства целлюлозного утеплителя с системой 3-ступенчатого дробления с двойным воздушным вытягиванием и впусиванием волокон, позволившая получить материал с меньшей плотностью и повышенной энергетической эффективностью. Экспериментально определены основные эксплуатационные характеристики нового материала (коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости, сорбционная и равновесная сорбционная влажность, водородный показатель). Полученные нами результаты, свидетельствующие об улучшении большинства теплофизических показателей целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала по сравнению с известными аналогами, могут быть использованы при проектировании и строительстве промышленных и жилых зданий и сооружений.

*Ключевые слова:* целлюлозный материал, утеплитель, размол, тепло- и звукоизоляция, теплопроводность, сорбционная влажность.

---

\*Статья подготовлена по материалам IV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти проф. В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сент. 2017 г.).

*Для цитирования:* Лучинкин С.Г., Кожухов В.А., Алашкевич Ю.Д. Получение теплоизоляционных материалов на основе вторичного целлюлозного волокна // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 151–159. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

*Введение*

Основным направлением экономического и социального развития в условиях энергетического кризиса во всем мире и в России является – производство эффективных строительных материалов и экономия топливно-энергетических ресурсов, что предполагает минимизацию тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, сооружений и технологического оборудования [1].

Основной путь снижения энергозатрат на отопление зданий – повышение термического сопротивления ограждающих конструкций с помощью теплоизоляционных материалов. Подсчитано, что 1 м<sup>3</sup> теплоизоляции экономит 1,4...1,6 т условного топлива в год [8].

Эти проблемы позволяет решать современный, экологически чистый целлюлозный тепло- и звукоизоляционный материал (эковата). В мировой практике утеплитель на основе целлюлозных волокон, получаемый при переработке вторичного бумажного сырья, используется уже более 80 лет [11]. Высокая теплоизолирующая способность и отсутствие тепловых швов исключают образование «мостиков холода», обеспечивая максимальную теплоизоляционную способность. Однако в связи с негативными тенденциями в мировой и российской экономике постоянно ведется работа по созданию более экономичных и эффективных современных тепло- и звукоизоляционных материалов [9].

В связи с этим исследования, направленные на получение целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала с улучшенными свойствами, становятся актуальными.

*Объекты и методы исследования*

Исследования проводили на базе Испытательного центра «Красстрой», АО «Красноярский ПромстройНИИпроект».

Объектом исследования являлась легкая пушистая целлюлозная вата (фибриллированная бумажная макулатура) с добавками борной кислоты и буры.

Теплопроводность образцов определяли по методике [4] на измерителе теплопроводности ИТП-МГ-4 «250/Зонд» при средней температуре образца 25 °С. Теплопроводность измеряли на образцах в сухом состоянии и при двух значениях влажности, близких к влажности при условиях эксплуатации А и Б. Расчетные значения теплопроводности в условиях А и Б определяли по [5]. Целлюлозную вату с добавками испытывали в форме размером 250×250×30 мм.

Исследования коэффициента паропроницаемости проводили методом «мокрой чашки» [6] при следующих условиях: температура воздуха в камере 23 °С, относительная влажность воздуха 51 %. Испытания выполняли на образцах, засыпанных в цилиндрические формы диаметром 100 мм и высотой 40 мм. Количество образцов каждой марки – 5 шт.

Сорбционную влажность ускоренным методом определяли по [3]. Образцы (массой 5 г в количестве 3 шт.) выдерживали в эксикаторе над водой в течение 72 ч при температуре воздуха в помещении 20 °С.

Равновесную сорбционную влажность устанавливали в 3-кратной повторности [7] при температуре и влажности воздуха 20 °С и 57 %. Масса образца – 3 г.

Для определения водородного показателя (рН) водной вытяжки [2] целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала использовали навески массой 40 г.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

При рассмотрении используемых для получения целлюлозного утеплителя технологических решений были сделаны выводы о таких недостатках в их компоновке, как излишняя громоздкость и металлоемкость, высокий удельный расход электроэнергии на измельчение и транспортировку материала.

В связи с этим предложено оригинальное решение – совместить устройства пневмотранспорта материала (вентиляторы) с размольными устройствами (вихревыми дробилками), что позволит в одном аппарате производить фибрилляцию волокон целлюлозного материала и его транспортировку (рис. 1).

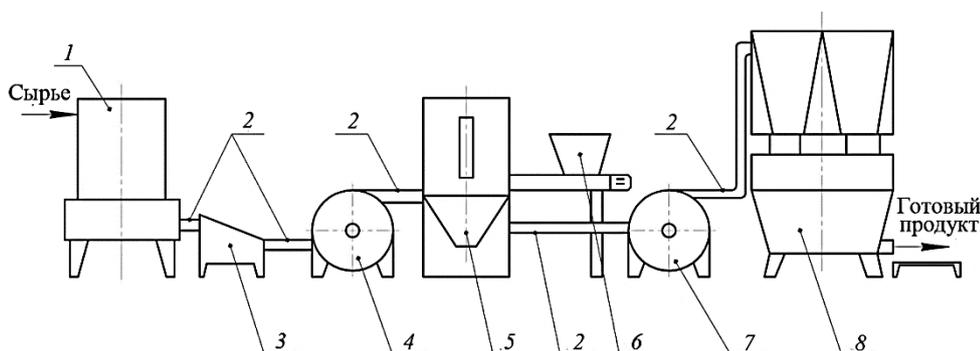


Рис. 1. Технологическая схема производства целлюлозного утеплителя с системой 3-ступенчатого дробления с двойным воздушным вытягиванием и вдушиванием волокон: 1 – шредер; 2 – трубопроводы; 3 – бункер-уловитель; 4, 7 – вихревые дробилки; 5 – камера смешивания боратов; 6 – дозатор подачи боратов; 8 – упаковка с аспирацией

Макулатура, являющаяся сырьем для получения тепло- и звукоизоляционного утеплителя, подается в шредер специально разработанной конструкции для измельчения газетной макулатуры, где в отличие от большинства подобных схем подача макулатуры производится пачками, а не отдельными листами, по гибким трубопроводам. Вентиляционными установками измельченный материал перемещается в бункер-уловитель железа и инородных предметов, откуда он поступает в вихревую дробилку грубого помола, где происходит измельчение материала до размеров крупного сита (15 мм), и подается в камеру смешивания с химическими компонентами в турбулентном потоке воздуха.

В обычной технологии химические компоненты просто высыпаются на конвейер с макулатурой. В разработанной технологии дозировка подачи химических компонентов осуществляется с помощью частотного преобразователя, что позволяет производить точную регулировку количества добавляемых химических реагентов. После смешивания с реагентами материал поступает в вихревую дробилку (7) тонкого помола (мелкое сито – 5 мм), а далее в систему аспирации и упаковки готового продукта.

В качестве основных показателей, характеризующих свойства исследуемого целлюлозного утеплителя, были выбраны теплопроводность, паропроницаемость, сорбционная влажность, равновесная сорбционная влажность, рН.

Исследуемый целлюлозный тепло- и звукоизоляционный материал обладает высокими теплоизоляционными свойствами благодаря низкому коэффициенту теплопроводности – 0,037...0,039 Вт/(м·°С) для сухого материала. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний на теплопроводность образцов утеплителя с разной плотностью**

Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	Номер образца	Коэффициент теплопроводности образца, Вт/(м·°С)		
		сухого	при условиях эксплуатации	
			А	Б
30	1	0,040	0,041	0,064
	2	0,040	0,043	0,069
	3	0,039	0,043	0,062
	4	0,038	0,042	0,067
	5	0,039	0,041	0,066
	Среднее значение	0,039	0,042	0,066
40	1	0,040	0,048	0,073
	2	0,038	0,042	0,070
	3	0,039	0,042	0,071
	4	0,038	0,044	0,072
	5	0,037	0,046	0,071
	Среднее значение	0,038	0,044	0,071
50	1	0,041	0,048	0,076
	2	0,040	0,047	0,072
	3	0,038	0,049	0,080
	4	0,039	0,048	0,079
	5	0,038	0,050	0,074
	Среднее значение	0,039	0,048	0,076

При утеплении любым материалом образуются стыковые пустоты, что влечет за собой потери тепла и дополнительные затраты электроэнергии. В отличие от других утеплителей предложенный целлюлозный тепло- и звукоизоляционный материал полностью заполняет все пустоты, швы, пазухи,

карманы, устраняя потери тепла и обеспечивая максимальную изоляционную способность. Его средняя теплопроводность составляет 0,038 Вт/(м·°С). Средний показатель для аналогичного материала (эковаты) – 0,042 Вт/(м·°С) при разбросе от 0,039 до 0,045 Вт/(м·°С). Снижение теплопроводности на 10 % позволит увеличить энергетическую эффективность сооружения и уменьшить эксплуатационные расходы.

Коэффициент паропроницаемости целлюлозного утеплителя (табл. 2) необходим для расчета его влажностного состояния в ограждающих конструкциях зданий.

Таблица 2

**Коэффициент паропроницаемости (мг/(м·ч·Па)) образцов утеплителя с разной плотностью (период испытания – с 05.06 по 28.06. 2017 г.)**

Номер образца	Средняя плотностью, кг/м <sup>3</sup>		
	30	40	50
1	0,67	0,69	0,74
2	0,68	0,73	0,73
3	0,73	0,75	0,77
4	0,71	0,70	0,76
5	0,70	0,71	0,73
Среднее значение	0,70	0,72	0,75

Исследования показали, что коэффициент паропроницаемости у предложенного материала выше, чем у аналогов (0,30 мг/(м·ч·Па)), что позволит поддерживать оптимальную влажность в помещениях.

Сорбционная влажность (табл. 3) обуславливается относительной влажностью воздуха и температурой, а также количеством и составом антисептика и антипирена.

Таблица 3

**Сорбционная влажность образцов утеплителя**

Номер образца	Масса образца, г		Сорбционная влажность, %
	сухого	увлажненного	
1	4,42	5,37	21,5
2	4,81	5,78	20,2
3	4,50	5,51	22,4
Среднее значение	4,58	5,55	21,4

Результаты испытаний по определению сорбционной влажности свидетельствуют, что влага в помещениях свободно проходит через новый целлюлозный утеплитель и испаряется с его поверхности, не накапливаясь в материале и не снижая его теплоизоляционных свойств. В неорганических утеплителях (минеральная вата) не происходит адгезии влаги с поверхностью волокон ма-

териала, она конденсируется и стекает по волокнам утеплителя на конструкции здания, вызывая их повреждение. В новом материале растительные полимеры могут удерживать в себе влагу и отдавать ее, не снижая при этом собственных изоляционных свойств, что объясняется полым строением клеток полимера, способных адсорбировать влагу и оставлять сухим пространство между волокнами (рис. 2) [10].

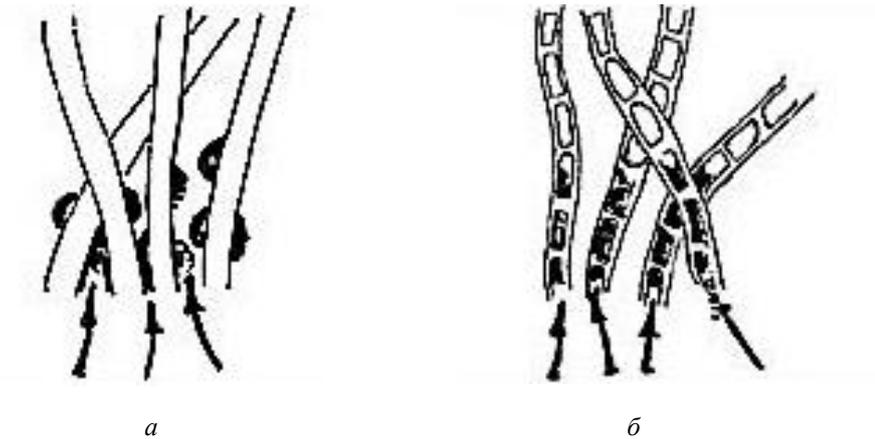


Рис. 2. Структура волокон утеплителей: *а* – минеральная вата, *б* – целлюлозный утеплитель

Равновесная сорбционная влажность (табл. 4) – это равновесная гигроскопическая влажность материала при определенных условиях в течение заданного времени.

Таблица 4

**Равновесная сорбционная влажность (%) образцов утеплителя**

Номер образца	Относительная влажность воздуха, %			
	60	80 (при условиях А)	90	97 (при условиях Б)
1	6,57	11,07	15,13	26,36
2	6,99	11,91	14,70	25,90
3	5,00	9,15	13,01	23,82
Среднее значение	6,19	10,71	14,28	25,36

Из результатов эксперимента можно сделать вывод, что влажность утеплителя будет возвращаться к равновесному состоянию, при этом влага не будет накапливаться в материале.

Данные по определению водородного показателя водной вытяжки целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала свидетельствуют, что рН для образцов 1–3 равен 6, т. е. материал является химически инертным и не может вызывать коррозию контактирующих с ним конструкций.

*Заключение*

На основе изучения технологических схем получения целлюлозных утеплителей выявлен ряд недостатков, с учетом которых нами была подобрана система 3-ступенчатого дробления с двойным воздушным вытягиванием и впусиванием волокон, что позволило получить тепло- и звукоизоляционный целлюлозный материал с меньшей плотностью, повышенной энергетической эффективностью и улучшенными эксплуатационными показателями.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на совершенствование процесса фибриляции волокнистого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бадьин Г.М., Сычев С.А.* Современные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
2. ГОСТ 17.5.4.01–84. Охрана природы. Определение рН водной вытяжки. М.: Стандартиформ, 1984. 10 с.
3. ГОСТ 17177–94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 1994. 14 с.
4. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. М.: Стандартиформ, 1999. 12 с.
5. ГОСТ Р 54855–2011. Материалы и изделия строительные. Определение расчетных значений теплофизических характеристик. М.: Стандартиформ, 2011. 12 с.
6. ГОСТ 25898–2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию. М.: Стандартиформ, 2012. 15 с.
7. ГОСТ 24816–2014. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности. М.: Стандартиформ, 2014. 11 с.
8. *Петров А.Н.* Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1998. 178 с.
9. Платформа материалов Pandia.ru. Режим доступа: <http://www.pandia.ru/text/77/185/10745.php> (дата обращения: 16.08.2017).
10. *Чудновский А.Ф.* Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Физматгиз, 1962. 456 с.
11. *Svennersedt B.* Field Data on Settling in Loose – Fill Thermal Insulation // Insulation Materials, Testing and Applications, ASTM STR 1030 / ed. by D.L. Mc Elroy, J.F. Kimpflen; American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA, 1990. Pp. 231–236.

Поступила 16.09.17

UDC 699.865

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

**Production of Thermal Insulating Materials on the Basis of the Secondary Cellulose Fiber**

*S.G. Luchinkin, Postgraduate Student*

*V.A. Kozhukhov, Candidate of Engineering Sciences*

*Yu.D. Alashkevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: vkozhukhov@mail.ru

The principal direction of production development of building materials is materials providing a saving of energy resources, including reduction of heat losses through enclosing structures of buildings, constructions and technological equipment. The majority of insulation materials have a number of drawbacks, such as a low thermal resistance and increased combustibility, the presence of hazardous components polluting the environment. The problems of waste disposal in the production and operation of materials and high-energy consumption for their production are relevant. The urgency of the research is the development of an effective material with the necessary heat insulating and performance properties on the basis of the secondary cellulose fiber; and the creation of an energy-saving technology of production of non-combustible thermal insulating and soundproof materials. The goal of research is to develop a manufacturing technology of such material based on shredded paper waste and non-combustible fillers, boric acid and borax. On the basis of the results of the study we propose a new technological scheme of production of cellulose insulation with the 3-step crushing system with double air stretching and fluffing of fibers, allowing us to obtain a material with reduced density and increased energy efficiency. The main operational characteristics of the new material (coefficients of thermal conductivity and vapor permeability, sorption and sorption equilibrium humidity, hydrogen index) are determined experimentally. The research results demonstrate an improvement of the majority of thermophysical parameters of the cellulose thermal insulating and soundproof material in comparison with the known analogs and can be used in the design and construction of industrial and residential buildings and structures.

*Keywords:* cellulosic material, heat insulating material, beating, heat and sound insulation, thermal conductivity, sorption humidity.

REFERENCES

1. Bad'in G.M., Sychev S.A. *Sovremennye tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy* [Modern Technologies of Construction and Reconstruction of Buildings]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2013. 288 p. (In Russ.)
2. *GOST 17.5.4.01–84. Okhrana prirody. Rekul'tivatsiya zemel'. Metod opredeleniya pH vodnoy vytyazhki vskryshnykh i vmeshchayushchikh porod* [State Standard 17.5.4.01–84. Nature Protection. Recultivation of Lands. Method of Determining pH Water Extraction of Overburden and Enclosing Rocks]. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 10 p. (In Russ.)

---

*For citation:* Luchinkin S.G., Kozhukhov V.A., Alashkevich Yu.D. Production of Thermal Insulating Materials on the Basis of the Secondary Cellulose Fiber. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 151–159. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

3. GOST 17177–94. *Materialy i izdeliya stroitel'nye teploizolyatsionnye. Metody ispytaniy* [State Standard 17177–94. Thermal Insulating Materials and Products for Building Application. Test Methods]. Moscow, Standartinform Publ., 1994. 34 p. (In Russ.)

4. GOST 7076–99. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime* [State Standard 7076–99. Building Materials and Products. Method of Determination of Steady-State Thermal Conductivity and Thermal Resistance]. Moscow, Standartinform Publ., 1999. 22 p. (In Russ.)

5. GOST P 54855–2011. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Opredelenie raschetnykh znacheniy teplofizicheskikh kharakteristik* [State Standard P 54855–2011. Building Materials and Products. Determination of Design Thermal Value]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 12 p. (In Russ.)

6. GOST 25898–2012. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metody opredeleniya paropronitsaemosti i soprotivleniya paropronitsaniyu* [State Standard 25898–2012. Building Materials and Products. Method for Determination of Water Vapour Permeability and Steam-Tightness]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 10 p. (In Russ.)

7. GOST 24816–2014. *Materialy stroitel'nye. Metod opredeleniya ravnovesnoy sorbtionnoy vlazhnosti* [State Standard 24816–2014. Building Materials. Method of Equilibrium Hygroscopic Moisture Determination]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 8 p. (In Russ.)

8. Petrov A.N. *Teploizolyatsionnye materialy na osnove solomy i neorganicheskikh svyazuyushchikh*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Heat-Insulating Materials Based on Straw and Inorganic Binders: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Kazan, 1998. 178 p.

9. *Platforma materialov Pandia.ru* [Platform of Materials Pandia.ru]. Available at: <http://www.pandia.ru/text/77/185/10745.php> (accessed 16.08.2017).

10. Chudnovskiy A.F. *Teplofizicheskie kharakteristiki dispersnykh materialov* [Thermophysical Characteristics of Disperse Materials]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962. 456 p. (In Russ.)

11. Svennersedt B. Field Data on Settling in Loose – Fill Thermal Insulation. *Insulation Materials, Testing and Applications, ASTM STR 1030*. Ed. by D.L. Mc Elroy, J.F. Kimpflen. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA, 1990, pp. 231–236.

Received on September 16, 2017

---