

РАЗРАБОТКА КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТА НАТРИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ВОЛОКОН

В. Н. Ермолин, А. Я. Василькова, М. А. Баяндин, А. В. Ермолина

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: alinavasilkova96@mail.ru

В работе приведены исследования по разработке связующего на основе силиката натрия для получения теплоизоляционных плит из древесных волокон. Представлены результаты экспериментальных исследований по повышению водостойкости силиката натрия с целью обеспечения требуемых физико-механических характеристик теплоизоляционных плит на его основе при эксплуатации в неблагоприятных температурно-влажностных условиях. Для этого был использован модификатор – кремнефтористый натрий, который при взаимодействии с силикатом способен образовывать прочные нерастворимые соединения. Установлено, что введение кремнефтористого натрия позволяет существенно повысить долю нерастворимого остатка в шесть раз, что создает предпосылки для получения плит с высокими эксплуатационными свойствами.

Для изучения взаимодействия разработанной клеевой композиции с древесным волокном были изготовлены образцы теплоизоляционных плит и реализован факторный эксперимент для получения зависимостей физико-механических показателей. Выходными величинами приняты: предел прочности на сжатие при 10-% линейной деформации и водопоглощение. Было установлено, что оптимальное количество кремнефтористого натрия в клеевой композиции составляет 7,5 %. Это обеспечивает наибольший предел прочности при 10-% линейной деформации и снижает водопоглощение плит на 30 %.

Полученные результаты доказывают возможность склеивания древесных волокон клеевыми композициями на основе силиката натрия. Для обеспечения требуемых свойств необходима модификация клеевой основы.

Ключевые слова: теплоизоляционные плиты, силикат натрия, кремнефтористый натрий, водостойкость, прочность.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 6, P. 538–543

DEVELOPMENT OF AN ADHESIVE COMPOSITION BASED ON SODIUM SILICATE FOR THE PRODUCTION OF WOOD-FIBER THERMAL INSULATION BOARDS

V. N. Ermolin, A. Ya. Vasilkova, M. A. Bayandina, A. V. Ermolina

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: alinavasilkova96@mail.ru

The present paper contains researches on the development of an adhesive based on sodium silicate for the production of wood-fiber thermal insulation boards. It presents the results of experimental researches aimed at the improvement of water-resisting properties of sodium silicate in order to ensure required physical and mechanical characteristics of thermal insulation boards based on it when being used in adverse temperature and humidity conditions. For this purpose, a modifier – sodium fluosilicate capable of forming strong insoluble compounds when interacting with silicate – has been used. It has been found that introduction of sodium fluosilicate makes it possible to significantly increase the share of insoluble residue six-fold, thus, creating opportunities for the production of boards with high performance properties.

For the purpose of study of interaction between the developed adhesive composition and wood fiber, samples of thermal insulation board have been produced and a factorial experiment has been realized to obtain the dependencies of physical and mechanical parameters. The output values are: compressive strength for 10 % linear deformation and water absorption. It has been found that the optimum quantity of sodium fluosilicate in the adhesive composition amounts to 7.5 %. It provides for the highest compressive strength for 10 % linear deformation and decreases water absorption of the boards by 30 %.

The results obtained prove the possibility of wood fiber gluing using adhesive compositions based on sodium silicate. In order to achieve required characteristics, the adhesive shall be modified.

Keywords: thermal insulation boards, sodium silicate, sodium fluosilicate, water resistance, strength.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение необходимых показателей теплового сопротивления ограждающих конструкций предопределяет широкое использование теплоизоляционных материалов. В связи с этим спрос на данный вид материалов постоянно растет. Повышение требований к экологии жилища стимулирует интерес к созданию безопасных теплоизоляционных материалов из сырья растительного происхождения. Существует ряд технологий производства теплоизоляции на основе древесины, например, в промышленных условиях, производятся мягкие древесноволокнистые плиты. Данные материалы благодаря своим гигроскопическим свойствам способствуют поддержанию благоприятных температурно-влажностных условий в помещениях. Однако следует отметить, что для обеспечения высоких механических характеристик мягких ДВП необходимо использование синтетических адгезивов, такие как формальдегидные и полиуретановые смолы [1].

При решении задач, связанных с получением экологически чистых древесных композиционных материалов возникает вопрос о замене активно используемых синтетических смол на связующее без эмиссии свободного формальдегида, который оказывает негативное влияние на окружающую среду во время эксплуатации. При этом в качестве альтернативы может быть предложено применение связующего не имеющего в своем составе токсичный формальдегид и который при этом позволит обеспечить высокие механические свойства изготавливаемых на его основе теплоизоляционных плит.

В качестве такого связующего может выступать жидкое стекло (силикат натрия) который является крупнотоннажным продуктом неорганического синтеза и производится во всех промышленно развитых странах мира. Интерес к этому продукту значительно возрос в последние годы. Он определяется широким спектром ценных свойств, экологической чистотой производства и применения, негорючестью и не токсичностью, а также во многих случаях дешевизной и доступностью исходного сырья. Однако к существенным недостаткам жидкого стекла как связующего следует отнести его низкую водостойкость [2; 3] которая зависит от полноты связывания катионов Na^+ в нерастворимые соединения.

Повысить водостойкость можно за счет использования различных модифицирующих добавок [4; 5]. В качестве таких добавок можно использовать соединения, действие которых основано на увеличении содержания двуокиси кремния в жидком стекле, то есть повышение его модуля (мольного отношения $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$). Как известно, растворы силиката, в которых преобладают коллоидные образования, отличаются большей адгезией и прочностью клеевого соединения [6]. На показатель водостойкости также оказывает влияние температура, порядок смешивания и концентрация реагентов. Таким образом, необходимо применение жидкого стекла низкой плотности и присутствие модификатора в клеевой композиции [7].

Ряд исследователей [1; 2] сходятся во мнении, что повысить адгезионные свойства жидкого стекла и его

водостойкость можно путем модифицирования кремнефтористым натрием $\text{Na}_2[\text{SiF}_6]$.

При добавлении кремнефтористого натрия в жидкое стекло происходит разложение щелочного силиката с выделением кремнекислоты, которая является цементирующим веществом и после окончания твердения получается масса устойчивая к действию воды [2].

Известен опыт использования жидкого стекла в качестве связующего для древесных материалов. В работе Л. Ю. Дубовской был проведен анализ взаимодействия гексафторосиликата натрия и жидкого стекла с древесными частицами. Результаты проведенных исследований указывают, что прочность полученного композиционного материала обусловлена образованием устойчивой кристаллической структуры, состоящей из молекул $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и NaF , образующихся при взаимодействии Na_2SiF_6 и Na_2SiO_3 [8]. По мнению автора, повышение прочности материалов, получаемых на основе измельченной древесины и жидкого стекла в присутствии кремнефтористого натрия, вызвано образованием новых водородных связей с древесиной вследствие участия в формировании структуры ионов фтора, присутствующих в анионе SiF_6^{2-} и обладающих большой электроотрицательностью [9].

На основе анализа существующих представлений можно считать, что твердение композитов на основе жидкого стекла в присутствии кремнефтористого натрия является химическим процессом [10; 11]. Выделяющаяся в процессе взаимодействия активная кремниевая кислота обладает хорошими связующими свойствами, а образующиеся продукты реакции позволяют создать соединение нерастворимое в водной среде, что говорит о возможности использования силикатного связующего в технологии изготовления плитных материалов.

Данная работа посвящена проведению исследований по разработке рецептуры на основе силиката натрия, которая исключит все недостатки и позволит обеспечить высокую водостойкость и высокие физико-механические свойства производимых на ее основе теплоизоляционных плитных материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ключевую роль в обеспечении прочности волокнистых композитов играет адгезионная прочность соединения «волокно-матрица» в элементарной ячейке композита. От нее в значительной степени зависит и то, насколько полно будет реализован вклад прочностных характеристик волокон в прочность плитного материала, и то, по какому характеру будет происходить разрушение материала.

При формировании плит малой плотности возникает проблема, связанная с формированием структуры плитного материала вследствие редких пространственных связей между связующим и древесными частицами. Обязательным условием для образования адгезионной связи является смачивание, которое характеризует взаимодействие между элементарными частицами контактирующих веществ в результате адсорбции, а также способность адгезива распределяться по подложке [12].

Как показывает опыт, с уменьшением угла смачивания адгезивом древесины, прочность клеевого соединения повышается за счет увеличения площади клеевого контакта [13].

Поэтому для оценки адгезионных свойств силикатов натрия к древесине в качестве критерия был принят краевой угол смачивания. Для исследования использовали силикат натрия с исходными параметрами (плотность 1455 кг/м^3 , силикатный модуль $M_{Si} = 3$) Количество воды, добавленной к силикату составляло 10, 20 и 30 %. В качестве подложки использовали лущеный шпон древесины сосны с влажностью 6 %. За результаты исследований приняли среднее значение угла смачивания из 10 серий опытов. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Как видно из полученных данных, исходный раствор силиката натрия имеет высокий угол смачивания и составляет 82° . Без добавления воды вследствие высокой вязкости, капля по подложке не растекается, тем самым не обеспечивая достаточное смачивание поверхности. При разбавлении водой происходит уменьшение угла смачивания на 40 %. Высота капли при этом уменьшается, обеспечивая в дальнейшем большую площадь клеевого соединения.

Таким образом, для использования силиката в качестве связующего для плит малой плотности, необходимо снижать его концентрацию. При разбавлении с водой молекулы силиката взаимодействуют с молекулами твердого тела сильнее, чем между собой, что позволяет говорить о большей площади смачиваемости поверхности [14].

Теплоизоляционные плиты в процессе эксплуатации могут находиться в условиях высокой влажности. Поэтому для обеспечения долговечности плит необходимо обеспечить достаточную водостойкость клеевого соединения. В условиях повышенной влажности будет происходить растворение жидкого стекла и его вымывание из материала. Как было отмечено выше, снизить вымываемость можно за счет использования кремнефтористого натрия.

Для исследования влияния этой добавки на нерастворимый остаток была использована методика циклических испытаний, подробно рассмотренная в работе [3]. Согласно данной методике, образцы фланелевой ткани пропитывались жидким стеклом методом вымачивания с различным соотношением кремнефтористого натрия 5;7,5;10 (масс%). Затем образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре $80...110^\circ\text{C}$. По достижении постоянной массы образцы охлаждали и погружали в емкость с водой с температурой $20\pm5^\circ\text{C}$. Через 2 часа образцы фланели извлекали из емкости, подвешивали для стекания излишков воды, после этого высушивали в сушильном шкафу и взвешивали. По величине изменения массы после высушивания образцов определяли долю нерастворимого остатка связующего к первоначальному. Показатели выражали в процентах. Всего было произведено три цикла испытаний, что обусловлено тем, что на последнем этапе масса сухого остатка существенно не изменялась. Результаты исследований представлены на рис. 2.

Как видно, из полученных результатов, представленных на рис. 2, величина сухого остатка у всех об-

разцов в процессе вымачивания снижается. Введение кремнефтористого натрия в клеевую композицию позволяет существенно сократить потерю масса при циклических температурно-влажностных воздействиях. При этом необходимо отметить, что повышение количества модификатора до 10 % и более в составе клеевой композиции вызывает достаточно быстрое отверждение, что предопределяет его малую жизнеспособность. В тоже время при содержании кремнефтористого натрия в связующем 7,5 %, позволяет обеспечить вымываемость жидкого стекла после 3 циклов испытаний не более 20 %, что сопоставимо со значением вымываемости для связующего содержащего 10 % модификатора.

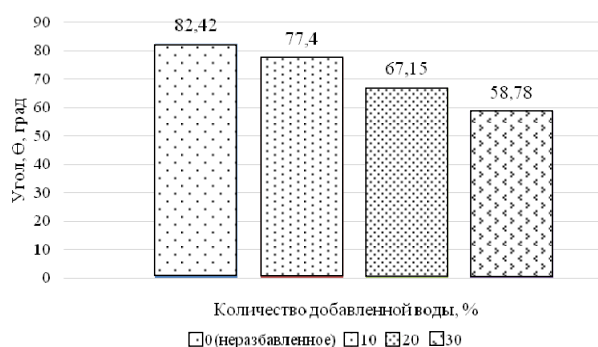


Рис. 1. Краевой угол смачивания в зависимости от количества добавленной воды

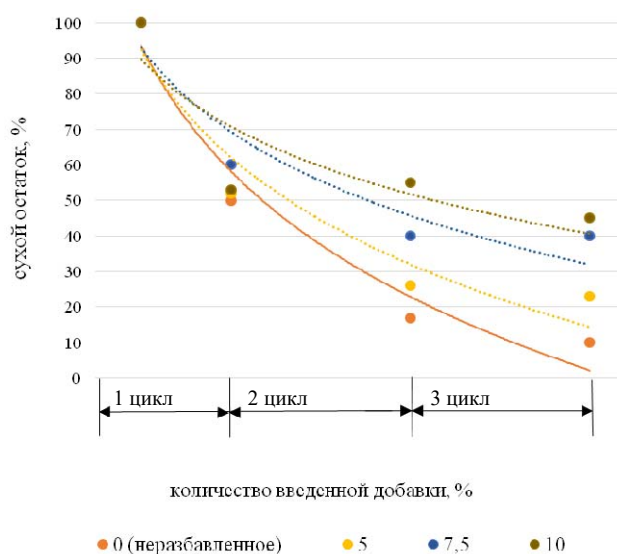


Рис. 2. Сухой остаток образцов в % от исходного веса

В целом введение данного модификатора приводит к существенному увеличению вязкости связующего, что требует введение разбавителя. Для изучения этого, проведены исследования условной вязкости многокомпонентного связующего, результаты которых представлены в таблице.

Как видно из таблицы, вязкость полученного связующего при добавлении воды начинает существенно снижаться. Вода в составе клеевой композиции позволяет сдерживать преждевременное отверждение силиката, а также упрощает работу с ним. Это необ-

ходимо учитывать при использовании такой композиции в процессе производства теплоизоляционных древесных плит.

Вязкость силиката натрия в зависимости от количества добавленной воды и кремнефтористого натрия

Количество добавленной воды, %	Количество кремнефтористого натрия, %		
	5	7,5	10
0	130	134	135
10	13,2	13,4	13,6
20	8,6	8,8	9,1
30	7,9	8,1	8,1

На втором этапе исследований для изучения адгезионного взаимодействия клеевой композиции (силикат натрия и кремнефтористый натрий) с древесным волокном были изготовлены образцы теплоизоляционных плит. Для этого использовалось древесное волокно хвойных пород, полученное в промышленных условиях путем двухступенчатого размола с начальной влажностью 5 % и жидкое стекло соответствующее ГОСТ [15].

Для выявления зависимостей физико-механических показателей теплоизоляционных плит от состава клеевой композиции был реализован факторный эксперимент согласно В3-план. Методика эксперимента и обработка результатов проводилась согласно [18; 19].

В качестве варьируемых факторов были приняты: расход добавки в клеевой композиции X1-5;7,5;10 (масс. ч %); количество добавленной воды в композиции X2-10;20;30 (масс. ч %). В качестве постоянного фактора принята плотность плит 120 кг/м³. Пропорции компонентов в плитах (масс.%) были следующие: древесные частицы 60 %; связующее 40 % (в рабочей концентрации).

Выходными величинами приняты: предел прочности на сжатие при 10-% линейной деформации σ_{10} , МПа (Y1); водопоглощение Wв, % (Y2).

В процессе анализа полученных результатов получены уравнения регрессии в нормализованных значениях факторов. Для оптимизации технологических параметров процесса получения теплоизоляционных плит построены поверхности отклика в натуральных значениях варьируемых факторов, представленных на рис. 1, рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований и обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения регрессии:

Зависимость предела прочности на сжатие при 10-% линейной деформации

$$Y1 = 0,0313 - 0,0020 \cdot X1 + 0,0080 \cdot X2 - 0,0090 \cdot X1^2 - 0,0004 \cdot X1 \cdot X2 - 0,0022 \cdot X2^2$$

Зависимость Водопоглощения

$$Y2 = 74,5 - 5,3 \cdot X1 - 3,1 \cdot X2 - 9,9 \cdot X1^2 + 2,1 \cdot X1 \cdot X2 + 1,4 \cdot X2^2$$

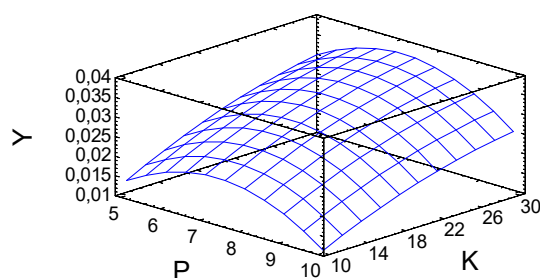


Рис. 1. Прочность на сжатие при 10-% линейной деформации теплоизоляционных древесноволокнистых плит:

P – расход модификатора (X1), %; K – количество добавленной воды (X2), %

Анализ полученных результатов (рис. 1) указывает на то, что увеличение количества воды в составе связующего, приводит к повышению величины нагрузки при 10-% линейной деформации. При добавлении воды в клеевую композицию происходит снижение ее вязкости, что обеспечивает снижение размеров капель связующего в процессе осмоления. Увеличение дисперсности связующего, как уже было отмечено, позволяет увеличить долю осмоленных древесных частиц, что обуславливает большее количество клеевых контактов. При этом, полученная зависимость имеет экстремальный характер. При основном уровне варьирования содержания добавки (7,5 %) наблюдалась максимальная нагрузка при 10 % линейной деформации. Дальнейшее увеличение добавки в составе композиции ведет к уменьшению прочности. Это можно объяснить тем, что снижается коэффициент осмоления древесных частиц, что в свою очередь приводит к уменьшению клеевых контактов.

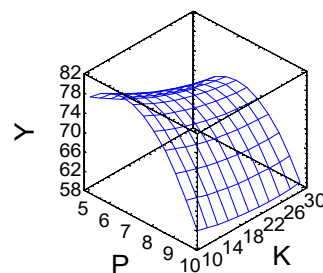


Рис. 2. Водопоглощение теплоизоляционных древесноволокнистых плит:

P – расход модификатора (X1), %; K – количество добавленной воды (X2), %

На показатель водопоглощения (рис. 2) оказывает существенное влияние расход модификатора. С увеличением кремнефтористого натрия в составе плиты величина водопоглощения снижается более чем на 30 %. Как было отмечено выше, кремнефтористый натрий позволяет снижать вымываемость силиката натрия из материала. При взаимодействии силиката с кремнефтористым натрием образуются нерастворимые соединения, благодаря чему, как показали исследования, образцы плит не разрушаются после действия воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что перспективным направлением получения экологически безопасных плит малой плотности является использование силикатных клеев. Для обеспечения требуемых свойств теплоизоляционных материалов на основе древесных волокон в качестве модификатора натриевого жидкого стекла предлагается использовать водный раствор кремнефтористого натрия.

Полученные результаты указывают на то, что добавка кремнефтористого натрия позволяет существенно повысить водостойкость волокнистого материала. Многокритериальная оптимизация позволила определить, что для получения плит с требуемыми механическими свойствами необходимо рецептуру связующего следующего состава: количество вводимой добавки составляет 7,5 (масс. %); количество добавленной воды 20 % (масс. %)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Кутугин В. А., Лотов В. А. Теплоизоляционные материалы на основе жидкого стекла // Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий : материалы IV Междунар. науч. конф. Томск, 2006. С. 76–77.
2. Григорьев П. Н., Матвеев М. А. Растворимое стекло (получение, свойства и применение). М. : Гос. изд. литературы по строительным материалам, 1956. 444 с.
3. Давыденко Н. В., Бакатович А. А. Повышение водостойкости жидкого стекла, применяемого в качестве вяжущего при производстве теплоизоляционных костросоломенных плит // Вестник полоцкого государственного университета. 2015. № 8. С. 71–75.
4. Особенности получения щелочно-силикатных теплоизоляционных материалов / С. Н. Леонович, Г. Л. Щукин, А. Л. Беланович, В. П. Савенко, С. А. Карпушенков // Наука и техника. 2012. № 6. С. 45–50.
5. Матвеев М. А., Курицына Ю. С. Зависимость прочности кислотоупорных замазок, растворов и бетонов от природы и кремнеземистого модуля щелочных силикатов // Журнал ВХО им. Менделеева. 1964. Т. 9, № 6. С. 699.
6. Фиговский О. Л., Кудрявцев П. Г. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых композиционных материалов // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. 42 с.
7. Лисовский В. В. О влиянии некоторых технологических параметров приготовления жидкостекольных целлюлозосодержащих композиций на водостойкость // Пластические массы. 1997. № 4. С. 23–25.
8. Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В. Влияние взаимодействия гексафторосиликата натрия и жидкого стекла на прочность древесных композиционных материалов // Труды БГТУ. 2008. № 2. С. 240–242.
9. Жбанков Р. Г. Инфракрасные спектры целлюлозы и ее производных. Минск, 1964. 338 с.
10. Обливин А. Н., Лопатников М. В., Тарасов С. М. Древесные композиционные материалы на неорганическом связующем // Лесной вестник. 2016. № 4. С. 64–68.

11. Корнеев В. И., Данилов В. В. Жидкое и растворимое стекло. СПб. : Стройиздат, СПб., 1996. 214 [2] с. : ил.; 22 см.

12. Физические методы испытаний древесины / А. Н. Чубинский, А. А. Тамби, Г. С. Варанкина, А. А. Федяев, М. А. Чубинский, В. Л. Швеиц, К. В. Чаузов. СПб. : СПбГЛТУ, 2015. 125 с.

13. Волынский В. Н. Технология клеевых материалов : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск : Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. 280 с.

14. Басин В. Е. Адгезионная прочность. М. : Химия, 1981. 208 с

15. ГОСТ 13078–81. Стекло натриевое жидкое. Технические условия.

16. ГОСТ EN 1609–2011 Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения водопоглощения при кратковременном частичном погружении.

17. ГОСТ EN 826–2011. Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Методы определения характеристик сжатия.

18. Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. Красноярск, 1982. 192 с.

19. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки. М. : Лесн. пром-сть, 1988. 295 с.

20. Лисовский В. В. О влиянии некоторых технологических параметров приготовления жидкостекольных целлюлозосодержащих композиций на водостойкость // Пластические массы. 1997. № 4. С. 23–25.

21. Отлев И. А., Штейнберг Ц. Б. Технологические расчеты в производстве древесно-стружечных плит. СПб. : Лесн. пром-сть, 1979. 143 с.

22. Матвеев М. А., Курицына Ю. С. Зависимость прочности кислотоупорных замазок, растворов и бетонов от природы и кремнеземистого модуля щелочных силикатов // Журнал ВХО им. Менделеева. 1964. Т. 9, № 6. С. 699.

REFERENCES

1. Kutugin V. A., Lotov V. A. Teploizolyatsionnyye materialy na osnove zhidkogo stekla // Khimiya, khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya na rubezhe tysyacheletiy : materialy IV Mezhdunar. nauch. konf. Tomsk, 2006. S. 76–77.
2. Grigor'yev P. N., Matveyev M. A. Rastvorimoye steklo (polucheniye, svoystva i primeneniye). M. : Gos. izd. literatury po stroitel'nym materialam, 1956. 444 s.
3. Davydenko N. V., Bakatovich A. A. Povysheniye vodostoykosti zhidkogo stekla, primenyayemogo v kachestve vyazhushchego pri proizvodstve teploizolyatsionnykh kostrosolomennykh plit // Vestnik polotskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 8. S. 71–75.
4. Osobennosti polucheniya shchelochno-silikatnykh teploizolyatsionnykh materialov / S. N. Leonovich, G. L. Shchukin, A. L. Belanovich, V. P. Savenko, S. A. Karpushenkov // Nauka i tekhnika. 2012. № 6. S. 45–50.
5. Matveyev M. A., Kuritsyna Yu. S. Zavisimost' prochnosti kisloutopornykh zamazok, rastvorov i betonov ot prirody i kremnezemistogo modulya shchelochnykh

- silikatov // Zhurnal VKhO im. Mendeleyeva. 1964. T. 9. № 6. S. 699.
6. Figovskiy O. L., Kudryavtsev P. G. Zhidkoye steklo i vodnyye rastvory silikatov, kak perspektivnaya osnova tekhnologicheskikh protsessov polucheniya novykh kompozitsionnykh materialov // Inzhenernyy vestnik Dona. 2014. № 2. 42 s.
7. Lisovskiy V. V. O vliyaniy nekotorykh tekhnologicheskikh parametrov prigotovleniya zhidkostekol'nykh tsellyulozosoderzhashchikh kompozitsiy na vodostoykost' // Plasticheskiye massy. 1997. № 4. S. 23–25.
8. Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V. Vliyaniye vzaimodeystviya geksafторосиликата natriya i zhidkogo stekla na prochnost' drevesnykh kompozitsionnykh materialov // Trudy BGTU. 2008. № 2. S. 240–242.
9. Zhibankov R. G. Infракрасные спектры tsellyulozy i eye proizvodnykh. Minsk, 1964. 338 s.
10. Oblivin A. N., Lopatnikov M. V., Tarasov S. M. Drevesnyye kompozitsionnyye materialy na neorganicheskom svyazuyushchem // Lesnoy vestnik. 2016. № 4. S. 64–68.
11. Korneyev V. I., Danilov V. V. Zhidkoye i rastvorimoye steklo. SPb. : Stroyizdat, SPb., 1996. 214 [2] s. : il.; 22 sm.
12. Fizicheskiye metody ispytaniy drevesiny / A. N. Chubinskiy, A. A. Tambi, G. S. Varankina, A. A. Fedyayev, M. A. Chubinskiy, V. L. Shvets, K. V. Chauzov. SPb. : SPbGLTU, 2015. 125 s.
13. Volynskiy V. N. Tekhnologiya kleyenykh materialov : ucheb. posobiye dlya vuzov. 2-e izd., ispr. i dop. Arkhangel'sk : Izd-vo Arkhang. gos. tekhn. un-ta, 2003. 280 s.
14. Basin V. E. Adgezionnaya prochnost'. M. : Khimiya, 1981. 208 s
15. GOST 13078–81. Steklo natriyevoye zhidkoye. Tekhnicheskiye usloviya.
16. GOST EN 1609–2011 Izdeliya teploizolyatsionnyye, primenyayemyye v stroitel'stve. Metod opredeleniya vodopogloshcheniya pri kratkovremennom chastichnom pogruzhenii.
17. GOST EN 826–2011. Izdeliya teploizolyatsionnyye, primenyayemyye v stroitel'stve. Metody opredeleniya kharakteristik szhatiya.
18. Pen P. Z. Statisticheskiye metody modelirovaniya i optimizatsii protsessov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Krasnoyarsk, 1982. 192 s.
19. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. Osnovy modelirovaniya i optimizatsii protsessov derevoobrabotki. M. : Lesn. prom-st', 1988. 295 s.
20. Lisovskiy V. V. O vliyaniy nekotorykh tekhnologicheskikh parametrov prigotovleniya zhidkostekol'nykh tsellyulozosoderzhashchikh kompozitsiy na vodostoykost' // Plasticheskiye massy. 1997. № 4. S. 23–25.
21. Otleiv I. A., Shteynberg Ts. B. Tekhnologicheskiye raschety v proizvodstve drevesno-struzhechnykh plit. SPb. : Lesn. prom-st', 1979. 143 s.
22. Matveyev M. A., Kuritsyna Yu. S. Zavisimost' prochnosti kislotoupornykh zamazok, rastvorov i betonov ot prirody i kremnezemistogo modulya shchelochnykh silikatov // Zhurnal VKhO im. Mendeleyeva. 1964. T. 9, № 6. S. 699.

© Ермолин В. Н., Василькова А. Я.,
Баяндин М. А., Ермолина А. В., 2022

Поступила в редакцию 10.04.2022
Принята к печати 10.11.2022