

УДК 684.62.059

Л. Ю. Дубовская¹, Л. В. Игнатович², Е. В. Дубоделова²¹Белорусская государственная академия искусств²Белорусский государственный технологический университет**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ПОЛУЧЕНИЯ ПЛИТНОГО ДРЕВЕСНО-МИНЕРАЛЬНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Критической технологической операцией в производстве плитных композиционных материалов является горячее прессование. Исследования технологических параметров, определяющих режимы прессования плитных материалов, обеспечивают не только эффективность применения технологии, но и их показатели качества и безопасности.

В статье рассмотрены режимы прессования плитного древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения. В качестве вяжущего было использовано модифицированное жидкое стекло. Рассмотрены два способа получения теплоизоляционного материала: при термообработке исходной массы и при комнатной температуре. Особое внимание уделено таким параметрам, как продолжительность прессования и температура прогрева плит, являющимся необходимым условиям получения качественного конечного продукта. Рассмотрены зависимость изменения температуры в центре образца от времени прогрева, влияние параметров выдержки на сроки схватывания массы при получении древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения, влияние температуры получения композита на его прочность, а также, с целью экономии энергоносителей, изучена динамика твердения образцов при комнатной температуре.

Установлено влияние температуры на сроки схватывания образцов: при температуре 150°C срок схватывания древесно-минерального композиционного материала составляет 60 мин, при 100°C – 140 мин, при 20°C – 220 мин. При этом образцы, полученные при температуре (20 ± 2)°C достигли за 4 дня постоянной влажности (9,5%). На основании полученных результатов высказано мнение об оптимальных технологических режимах получения древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения.

Ключевые слова: минеральное вяжущее, плитный древесно-минеральный композиционный материал теплоизоляционного назначения.

Для цитирования: Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Дубоделова Е. В. Оптимизация технологических режимов получения плитного древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 169–175.

L. Yu. Dubovskaya¹, L. V. Ignatovich², Ye. V. Dubodelova²¹Belarusian State Academy of Arts²Belarusian State Technological University**OPTIMIZATION OF PRODUCTION TECHNOLOGY
MODES PLATE WOOD-MINERAL COMPOSITE MATERIAL
FOR THERMAL INSULATION PURPOSE**

Hot pressing is a critical technological operation in the production of composite board materials. The study of technological parameters that determine the modes of pressing of panel materials provide not only the effectiveness of the technology application, but also their quality and safety indicators.

The article discusses the modes of pressing the board wood-mineral composite material for thermal insulation purposes. Modified liquid glass was used as a binder. Two methods of obtaining heat-insulating material are considered: by heat treatment of the initial mass and at room temperature. Particular attention is paid to such parameters as the duration of pressing and the heating temperature of the plates, which are the necessary conditions for obtaining a high-quality final product. The dependence of the temperature change in the center of the sample on the heating time, the effect of holding parameters on the setting time of the mass when obtaining a wood-mineral composite material for thermal insulation purposes, the effect of the temperature of obtaining a composite on its strength, and also, in order to save energy, the dynamics of hardening of samples at room temperature.

The effect of temperature on the setting time of the samples was established: at a temperature of 150°C, the setting time of a wood-mineral composite material is 60 minutes, at 100°C – 140 minutes,

at 20°C – 220 minutes. In this case, the samples obtained at a temperature of (20±2)°C reached constant humidity (9.5%) in 4 days. On the basis of the results obtained, an opinion was expressed on the optimal technological modes of obtaining a wood-mineral composite material for thermal insulation purposes.

Key words: mineral binder, wood-mineral composite board for thermal insulation purposes.

For citation: Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Dubodelova Ye. V. Optimization of production technology modes plate wood-mineral composite material for thermal insulation purpose. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no 1 (240), pp. 169–175 (In Russian).

Введение. Критической технологической операцией, согласно теории планирования и управления в производстве плитных композиционных материалов, является горячее прессование [1]. В результате воздействия температуры и давления опилочный брикет превращается в материал с заданными плотностью и свойствами. Для достижения предъявляемых к материалу технических требований, согласно действующим техническим нормативным правовым актам, необходимо, чтобы режим прессования обеспечивал решение такой задачи, как сближение древесных частиц и их контакт на время, необходимое для образования клеевых соединений.

Эта задача решается созданием не только необходимого удельного давления прессования, но и быстрого смыкания нагревательных плит прессового оборудования до толщины дистанционных прокладок и стабильного удержания их в этом положении на протяжении всего цикла прессования. Кроме того, необходимо создавать условия для быстрого и полного отверждения связующего путем прогрева всего объема опилочного брикета до температуры, достаточной для протекания реакции отверждения связующего, испарения избыточной влаги и удаления парогазовой смеси через торцы и пласти брикета [2, 3]. Решающими факторами, определяющими режимы прессования плитных материалов, являются продолжительность прессования и температура прогрева плит прессового оборудования [4, 5].

Под продолжительностью прогрева подразумевается время, в течение которого температура в середине плиты достигает такого значения, при которой происходит отверждение связующего (вяжущего), а также перераспределение и удаление из брикета влаги в виде пара.

С увеличением скорости нагрева уменьшается время выдержки плит в прессовом оборудовании и, следовательно, повышается его производительность, что приводит к снижению себестоимости продукции. В работе И. Г. Корчаго [6] отмечается, что время прогрева плит зависит от многих факторов, и в частности от типа применяемых древесных частиц.

Наиболее быстро прогреваются плиты из мелкой станочной стружки и опилок, более медленно – плиты из специально резанной стружки [6]. Мелкие древесные частицы более плотно компонуются в опилочном брикете, препятствуя, тем самым, перемещению в нем влаги в виде пара. Это вызывает более быстрый прогрев внутренних слоев, но увеличивает время прессования. Такой характер прогрева брикета может быть связан с тем, что плотно скомпанованные мелкие частицы препятствуют выходу парогазовой смеси из него.

Установлено, что при использовании в качестве вяжущего жидкого стекла значительно повышается влажность получаемого брикета по сравнению с традиционно достигаемой влажностью в технологии древесностружечных плит. Так, влажность осмоленной стружки при использовании карбамидоформальдегидных смол составляет порядка 9–12%, а в случае жидкого стекла – 40–45% [7–10].

Исследованию влияния влажности древесных частиц на свойства древесностружечных плит посвящены работы многих авторов [11–14]. Влажность древесных частиц оказывает существенное влияние не только на свойства получаемых плит, но и на технологические режимы процесса прессования. Важно отметить, что с ростом влажности увеличивается избыточное давление пара внутри плиты, а это приводит к разрушению некоторого количества образовавшихся связей и, следовательно, снижению прочности плит. Существенное влияние на процесс прессования и свойства получаемых плитных материалов оказывает также температура прессования. Согласно исследованиям Г. М. Шварцмана [15], с повышением температуры прессования, т. е. с увеличением градиента температуры, увеличивается и градиент избыточного давления пара, что ускоряет прогрев пакета за счет массопереноса. По мере прогрева брикета влажность его наружного слоя резко падает в результате продвижения образующегося пара во внутрь брикета. При этом влажность внутреннего слоя брикета постепенно возрастает, затем достигает максимума и только потом начинает снижаться

вследствие частичного выхода пара через торцы, что приводит к понижению общей влажности плиты [15].

Одним из способов ускорения прогрева прессуемого пакета является повышение температуры плит пресса. Однако повышение их температуры ограничено из-за возможности преждевременного отверждения связующего в поверхностных слоях брикета [16]. Согласно данным Э. А. Шахзадяна, на большинстве предприятий температура плит пресса при прессовании древесностружечных плит принята в пределах 145–185°C.

Основная часть. Отличительной особенностью теплоизоляционных материалов является их низкая плотность. К таким материалам на минеральном вяжущем относятся материалы со средней плотностью до 500 кг/м³ [17].

Для получения плитных материалов низкой плотности прессование в полочных прессах не требуется, достаточно укладки массы в формы и ее дальнейшей выдержки при комнатной или повышенной температуре до достижения транспортировочной прочности.

Для разработки режима формования теплоизоляционного материала было проверено два способа его получения: при термообработке исходной массы и при комнатной температуре.

Предварительными опытами было установлено соотношение опилок и модифицированного жидкого стекла, необходимое для равномерного смачивания опилок [7]. С учетом их результатов были изготовлены образцы размерами 100×100 мм и толщиной 50 мм по рецептуре, приведенной в источниках [7, 18, 19]. Плотность получаемых образцов составила (360 ± 20) кг/м³.

При загрузке массы из опилок и вяжущего в формы, в центр ее вводили предварительно от-

тарированную термопару, подключенную к цифровому вольтметру В7-27А/1. Форму помещали в нагретый до 150°C термошкаф. Температура термообработки массы была принята аналогичной температуре, используемой при получении конструкционного материала [7]. Изменение температуры в центре образца во времени показано на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в первые тридцать минут выдержки температура в центре образца возрастает незначительно, что можно объяснить некоторым остыванием термошкафа во время помещения в него форм. По достижении термошкафом 100°C температура внутри образца практически не меняется в течение 70 мин, что связано с переходом влаги в парообразное состояние и перераспределением ее по толщине образца. Затем температура начинает достаточно быстро возрастать и достигает 150°C через 230 мин с начала эксперимента, что связано с удалением физической и кристаллогидратной воды. Согласно источнику [20], при увеличении температуры от 20 до 300°C из раствора Na₂O · SiO₂ удаляется 84,5% воды от общего ее содержания (для трехмодульного жидкого стекла).

Для определения сроков схватывания массы в формах с нагревом и без нагрева был использован прибор Вика, позволяющий достаточно просто и с большой степенью точности оценивать изменение вязкости массы. Форму с исследуемой массой периодически помещали под иглу, которая под действием груза погружалась в массу, и при этом фиксировали глубину погружения иглы. Эксперимент проводили на образцах, которые были приготовлены по той же рецептуре, что и в вышеописанном исследовании. Температура, при которой определяли сроки схватывания композиции, составляла (20 ± 2)°C, (100 ± 2)°C и (150 ± 2)°C. Результаты исследований представлены на рис. 2.

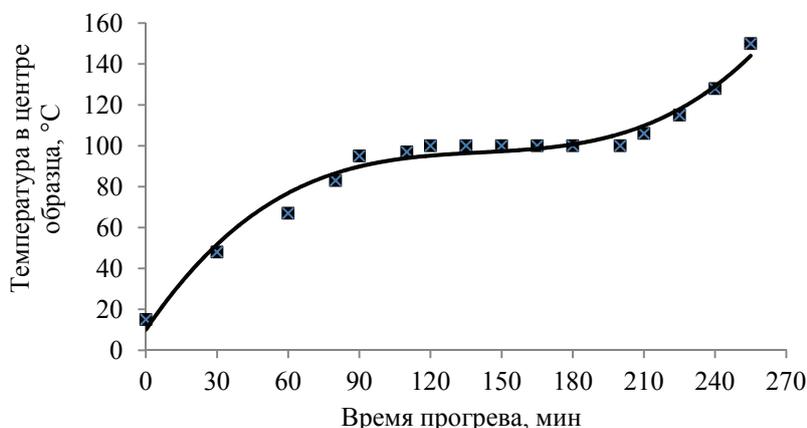


Рис. 1. Зависимость изменения температуры в центре образца от времени прогрева

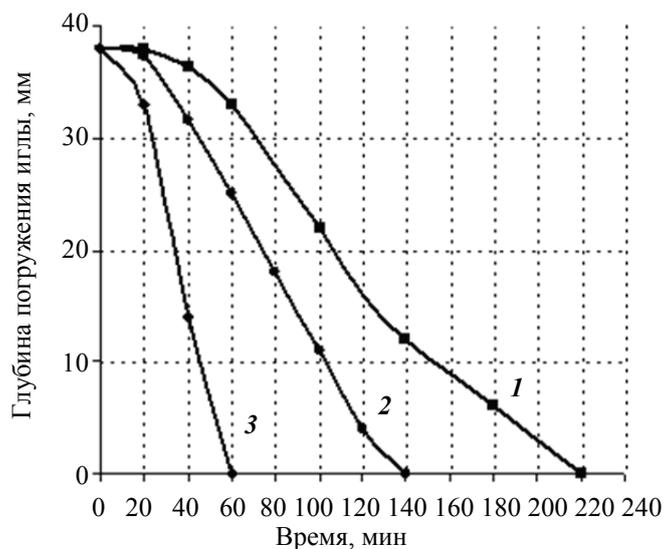


Рис. 2. Влияние параметров выдержки на сроки схватывания массы при получении теплоизоляционного материала:
1 – $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 2 – $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$; 3 – $(150 \pm 2)^\circ\text{C}$

Как видно из рис. 2, в случае испытаний образцов, выдерживаемых при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, в течение первых 45 мин с момента введения в опилки вяжущего игла полностью проходила сквозь образец. После 45-минутной выдержки началось схватывание смеси, вязкость образцов стала возрастать, а глубина погружения иглы уменьшаться. Через 220 мин с начала эксперимента наступило окончание схватывания.

Таким образом, можно считать, что через 4 ч после приготовления теплоизоляционный материал набирает достаточную прочность, позволяющую извлекать его из формы и транспортировать к месту использования. Схватывание образцов, выдерживаемых при температуре 100°C ,

началось через 22 мин, а время достижения окончания схватывания, когда прочность материала позволила извлечь его из формы, составляло 140 мин. Схватывание для образцов, выдерживаемых при температуре 150°C , началось через 14 мин, а время окончания процесса составляло 60 мин. Для определения влияния температуры на прочностные характеристики были изготовлены 4 партии образцов по следующим рецептурам: к 100 мас. ч. опилок добавляли 150 мас. ч., 200 мас. ч., 250 мас. ч. и 300 мас. ч. модифицированного жидкого стекла. Температуру термообработки меняли в диапазоне от 20 до 160°C с интервалом 20°C . Полученные образцы испытывали на прочность на сжатие. Результаты исследований представлены на рис. 3.

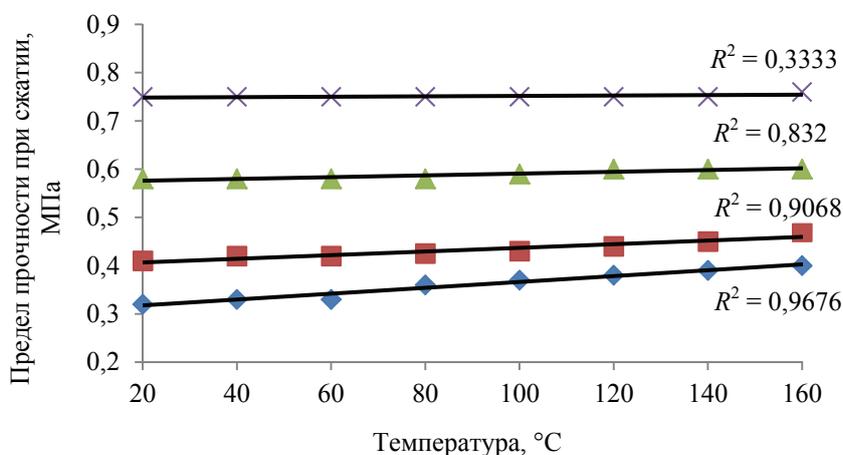


Рис. 3. Влияние температуры получения теплоизоляционного материала на его прочность:
Содержание вяжущего, мас. ч.:
♦ – 150; ■ – 200; ▲ – 250; × – 300

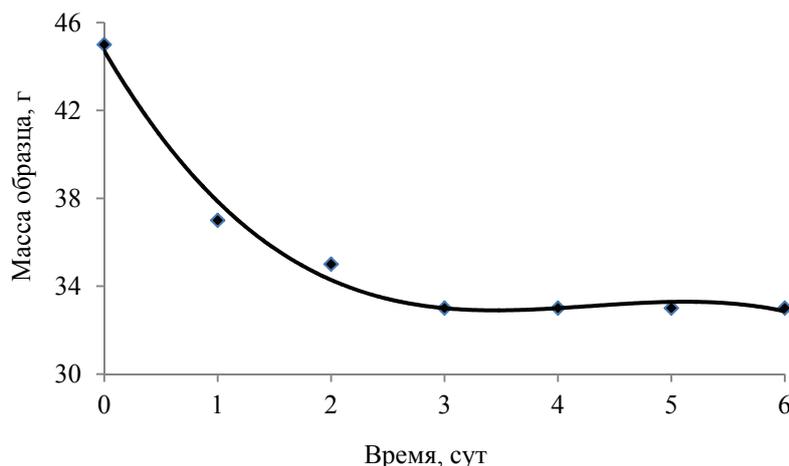


Рис. 4. Динамика высыхания теплоизоляционного материала при комнатной температуре

Как видно из рис. 3, на прочность в большей степени влияет количество вяжущего. Температура формования существенного воздействия на прочность образцов не оказывает, однако влияет на время схватывания массы и влажность получаемых образцов. Важнейшим условием упрочнения пленок жидкого стекла является его дегидратация под воздействием тепла [21, 22]. Однако температура, принятая для получения материала, является недостаточной для окончательной дегидратации жидкого стекла, в результате чего прочность образцов существенно не возросла. Образцы, полученные без термообработки, имели высокую влажность, и потребовалось дополнительное время для их окончательного высыхания. Динамика изменения массы образцов от времени выдержки при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ представлена на рис. 4.

Как видно из рис. 4, для достижения образцами постоянной массы потребовалось 4 дня. Конечная влажность образцов составила 9,5%.

Заключение. В результате выполненных исследований установлено влияние температуры на

сроки схватывания образцов древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения. При температуре 150°C оно составляет 60 мин, при 100°C – 140 мин, при 20°C – 220 мин. Постоянной влажности (9,5%) образцы, полученные при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, достигли за 4 дня. Учитывая высокую стоимость энергоносителей, можно рекомендовать получение древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

При изготовлении древесно-минерального композиционного материала теплоизоляционного назначения температура оказывает влияние только на продолжительность выдержки и влажность материала. На прочность плит влияет количество вяжущего: с его увеличением прочность возрастает. В связи с этим за оптимальные технологические параметры изготовления плитного композиционного материала теплоизоляционного назначения приняты те, которые обеспечивают достаточные прочностные свойства плит при минимальных затратах на их производство.

Список литературы

1. Еспаева А. С. Технология плитных материалов. Алматы: ТОО РПИК «Дэуір», 2011. 488 с.
2. Угрюмов С. А., Смирнов Д. А. Композиционные материалы на основе отходов деревообработки // Костромской государственный технологический университет. 2012. URL: <http://rae.ru/forum2012/pdf/1958.pdf> (дата обращения 10.10.2020).
3. Чубинский А. Н., Варанкина Г. С., Русаков Д. С. Технология древесных плит. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. 37 с.
4. Отлев И. А., Дыскин И. М. Динамика изменения температуры и избыточного давления парогазовой смеси в стружечном брикете // Деревообрабатывающая промышленность. 1984. № 10. С. 7–8.
5. Справочник по производству древесностружечных плит / И. А. Отлев [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1990. 384 с.
6. Корчаго И. Г. Древесностружечные плиты из мягких отходов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
7. Дубовская Л. Ю. Композиционные материалы на основе мягких древесных отходов и модифицированного жидкого стекла. Минск: Белпринт, 2010. 188 с.
8. Дубовская Л. Ю., Янушкевич А. А. Композиционный материал на основе древесных отходов и минерального вяжущего // Известия Белорусской инженерной академии. 2004. № 2. С. 29–30.

9. Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Бахар Л. М. Теплоизоляционный материал на основе древесных опилок и минерального вяжущего // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2005. Вып. XIII. С. 169–170.
10. Дубовская Л. Ю. Теплоизоляционный материал на основе древесных отходов и минерально-связующего // Деревообрабатывающая промышленность. 2005. № 3. С. 13–14.
11. Методы исследования древесины и ее производных / Н. Г. Базарнова [и др.]. Барнаул: Алт. гос. ун-т, 2002. 160 с.
12. Исследование взаимодействия компонентов древесины в процессе ее термической обработки. Особенности термических превращений целлюлозы в комплексе с другими компонентами / Г. Э. Домбург [и др.] // Химия древесины. 1983. № 3. С. 62–79.
13. Челышева И. Н. Использование отходов переработки древесины при производстве древесноволокнистых плит // ЭКиП: Экология и промышленность России. 2006. № 12. С. 22–25.
14. Композиционный материал на минеральном вяжущем: заявка на пат. Респ. Беларусь / Л. Ю. Дубовская; заявитель УО «Белорусский государственный технологический университет». № а 20050936; заявл. 20.09.2005; положительное решение 21.06.07.
15. Шварцман Г. М. Производство древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1977. 312 с.
16. Шахзадян Э. А., Квачев Ю. А., Попков В. С. Температурные переходы в древесине и ее компонентах // Высокомолекулярные соединения 1992. Т. 34А, № 9. С. 3–14.
17. Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе. М.: Высшая школа, 2005. 334 с.
18. Дубовская Л. Ю. Теплоизоляционный материал на основе древесных отходов и минерально-связующего // Деревообрабатывающая промышленность. М., 2005. № 3. С. 13–14.
19. Дубовская Л. Ю., Игнатович Л. В., Бахар Л. М. Теплоизоляционный материал на основе древесных опилок и минерального вяжущего // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2005. Вып. XIII. С. 169–170.
20. Корнеев В. И., Данилов В. В. Производство и применение растворимого стекла. Жидкое стекло. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. 176 с.
21. Сычев М. М. Твердение вяжущих веществ. Л.: Стройиздат, 1974. 80 с.
22. Кудина Е. Ф. Разработка органосиликатных связующих и гибридных наполнителей для композиционных материалов машиностроительного назначения: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.02.01. Гомель, 2001. 21 с.

References

1. Yespayeva A. S. *Tekhnologiya plitnykh materialov* [Technology of plate materials]. Almaty, TOO RPIK «Дәуір» Publ., 2011. 488 p.
2. Ugryumov S. A., Smirnov D. A. Composite materials based on woodworking waste. *Kostromskoy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet* [Composite materials based on woodworking waste]. Kostroma State Technological University, 2012. Available at. <http://rae.ru/forum2012/pdf/1958.pdf> (accessed 10.10.2020)
3. Chubinsky A. N., Varankina G. S., Rusakov D. S. *Tekhnologiya drevesnykh plit* [Technology of wood-based panels]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2019. 37 p.
4. Otlev I. A., Dyskin I. M. Dynamics of temperature change and excess pressure of a steam-gas mixture in a chip briquette. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1984, no. 10, pp. 7–8 (In Russian).
5. *Spravochnik po proizvodstvu drevesnostruzhechnykh plit* [Reference book on the production of particle boards]. I. A. Otlev [et al.]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 384 p.
6. Korchago I. G. *Drevesnostruzhechnyye plity iz myagkikh otkhodov* [Wood chip plates from soft wastes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 104 p.
7. Dubovskaya L. Yu. *Kompozitsionnyye materialy na osnove myagkikh drevesnykh otkhodov i modifitsirovannogo zhidkogo stekla* [Composite materials based on soft wood waste and modified liquid glass]. Minsk, Belprint Publ., 2010. 188 p.
8. Dubovskaya L. Yu., Yanushkevich A. A. Composite material based on wood waste and mineral binders. *Izvestiya Belorusskoy inzhenernoy akademii* [Bulletin of the Belarusian Engineering Academy], 2004, no. 2, pp. 29–30 (In Russian).
9. Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Bakhar L. M. Thermal insulation material based on sawdust and mineral binder. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2005, issue XIII, pp. 169–170 (In Russian).
10. Dubovskaya L. Yu. Thermal insulation material based on wood waste and mineral binder. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 3, pp. 13–14 (In Russian).

11. *Metody issledovaniya drevesiny i yeye proizvodnykh* [Methods for the study of wood and its derivatives]. N. G. Bazarnova [et al.]. Barnaul, Izdatel'stvo Altayskogo gosudarstvennogo universiteta Publ., 2002. 160 p.

12. Study of the interaction of wood components in the process of its heat treatment. Features of thermal transformations of cellulose in a complex with other components. G. E. Domburg [et al.]. *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry], 1983, no. 3, pp. 62–79 (In Russian).

13. Chelysheva I. N. The use of wood processing waste in the production of fibreboard. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2006, no. 12, pp. 22–25 (In Russian).

14. Dubovskaya L. Yu. *Kompozitsionnyy material na mineral'nom vyazhushchem* [Composite material based on mineral binder]. Application for US Pat. Rep. Belarus, no. a 20050936, declared 20.09.2005, positive decision on 21.06.07.15.

15. Shvartsman G. M. *Proizvodstvo drevesnostruzhechnykh plit* [Production of particle boards]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 312 p.

16. Shakhzadyan E. A., Kvachev Yu. A., Popkov V. S. Temperature transitions in wood and its composites. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya* [High-molecular compounds], 1992, vol. 34A, no. 9, pp. 3–14 (In Russian).

17. Sulimenko L. M. *Tekhnologiya mineral'nykh vyazhushchikh materialov i izdeliy na ikh osnove* [Technology of mineral binding materials and products based on them]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005. 334 p.

18. Dubovskaya L. Yu. Thermal insulation material based on wood waste and mineral binder *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2005, no. 3, pp. 13–14 (In Russian).

19. Dubovskaya L. Yu., Ignatovich L. V., Bakhar L. M. Thermal insulation material based on sawdust and mineral binder. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry. Minsk, 2005, issue XIII, pp. 169–170 (In Russian).

20. Korneyev V. I., Danilov V. V. *Proizvodstvo i primeneniye rastvorimogo stekla. Zhidkoye steklo* [Production and application of soluble glass. Liquid glass]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1991. 176 p.

21. Sychev M. M. *Tverdeniye vyazhushchikh veshchestv* [Hardening of binders]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1974. 80 p.

22. Kudina Ye. F. *Razrabotka organosilikatnykh svyazuyushchikh i gibridnykh napolniteley dlya kompozitsionnykh materialov mashinostroitel'nogo naznacheniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Development of organosilicate binders and hybrid fillers for composite materials for machine-building purposes. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Gomel, 2001. 21 p.

Информация об авторах

Дубовская Людмила Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры ин-терьера и оборудования. Белорусская государственная академия искусств (220012, г. Минск, пр. Независимости, 81а, Республика Беларусь). E-mail: luda.dubovskaya@tut.by

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Дубоделова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katedubodelova@tut.by

Information about the authors

Dubovskaya Lyudmila Yurievna – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Academy of Arts (220012, Minsk, Independence Avenue, 81a, Republic of Belarus). E-mail: luda.dubovskaya@tut.by

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (220006, Minsk, Sverdlova str., 13a, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Dubodelova Yekaterina Vladimirovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (220006, Minsk, Sverdlova str., 13a, Republic of Belarus). E-mail: katedubodelova@tut.by

Поступила 18.10.2020