

УДК 674.048

**А. А. Барташевич<sup>1</sup>, Л. В. Игнатович<sup>1</sup>, Е. В. Коробко<sup>2</sup>, А. И. Скродский<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова  
Национальной академии наук Беларуси**РОЛЬ ПРИРОДНОГО КРЕМНЕЗЕМА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ КЛЕЕВ**

В статье рассмотрена роль наполнителя клеевого состава – природного кремнезема – в улучшении физико-механических показателей фанерной продукции. Недостатком фанеры, изготовленной с карбамидоформальдегидным клеем, является относительно невысокая прочность и водостойкость, что ограничивает возможности применения ее в естественной среде. Применение природного кремнезема улучшает ряд физико-механических показателей фанеры общего назначения. При горячем склеивании происходит гелеобразование клеевой смеси, частицы кремнезема образуют разветвленные цепочки Si-O-Si-, которые пронизывают весь объем геля, и этот процесс сопровождается связыванием формальдегида и увеличением прочности склеивания древесных клеевых материалов. В статье приведены значения прочности фанеры в зависимости от объема вводимого в клей наполнителя природного кремнезема (от 0 до 12 мас. ч.), а также показывается роль наполнителя в улучшении водостойкости фанеры и уменьшении эмиссии формальдегида.

**Ключевые слова:** карбамидо-формальдегидные клеи, наполнитель, природный кремнезем, прочность, клеевой слой, скалывание, водостойкость, изгиб, формальдегид, эмиссия.

**A. A. Bartashevich<sup>1</sup>, L. V. Ignatovich<sup>1</sup>, E. V. Korobko<sup>2</sup>, A. I. Skrotskiy<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus**THE ROLE OF NATURAL SILICA AS ADHESIVE FILLER**

The article considers the role of an adhesive filler – natural silica, to improve the physical and mechanical properties of plywood products. The disadvantage of plywood made with the use of urea-formaldehyde glue, is a relatively low strength and water resistance, which limits the possibility of its using in a natural environment. The use of natural silica improves a number of physical and mechanical properties of general purpose plywood. When gluing hot glue mixture gelation occurs, the silica particles form branched chain Si-O-Si-, which penetrate the entire volume of the gel, and this process is accompanied by formaldehyde binding and an increase in bonding strength of wood laminated materials. The paper presents the plywood strength values depending on the amount of natural silica filler added into glue (from 0 to 12 pts. wt). However, the role of the filler in plywood water resistance improving and formaldehyde emission reducing is indicated.

**Keywords:** urea-formaldehyde adhesives, filler, natural silica, strength, adhesive layer, chipping resistance, water resistance, flexural strength, formaldehyde emissions.

**Введение.** В строительстве и мебельном производстве в большом объеме используется фанера общего назначения с наружными слоями из шпона древесины лиственных (ГОСТ 3916.1–96) и хвойных пород (ГОСТ 3916.2–96). В мебели фанера используется для изготовления щитовых деталей, задних стенок конструктивных элементов, ящиков и других изделий, в строительстве – для устройства опалубок, оборудования транспортных средств, интерьеров, при изготовлении паркетных изделий и др.

Для изготовления фанеры общего назначения марки ФК применяют карбамидоформальдегидные смолы и клеи на их основе, которые относятся к средней водостойкости. К важнейшим недостаткам фанеры общего назначения можно отнести: относительно низкую водостойкость, что ограничивает сферы ее применения; невы-

сокую прочность и долговечность при использовании в условиях с переменными климатическими условиями; выделение формальдегида, который является токсичным веществом [1–6].

Для достижения практических результатов по повышению качественных показателей фанеры общего назначения необходимо выполнить ряд экспериментальных исследований, в частности по применению адсорбирующих добавок к смолам, которые снижают концентрацию свободного формальдегида и способствуют улучшению эксплуатационных свойств клеевых композиций.

Предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры общего назначения марки ФК после вымачивания в воде в течение 24 ч должен быть не менее 1,5 МПа. Испытания фанеры объединения ОАО «Речицадрев» показали величину, близкую к уровню нижнего допустимого

предела. Такой водостойкости фанеры общего назначения недостаточно для широкого ее использования, в том числе в строительстве. Эти недостатки сужают рынок сбыта и область применения фанерной продукции.

Целью работы была разработка модифицированных клеев, позволяющих получить композиционные материалы из мягколиственных пород древесины с улучшенными эксплуатационными показателями.

**Основная часть.** Карбамидоформальдегидный клей модифицированный (далее КФ НФП-МД) предназначен для использования в качестве связующего при склеивании древесностружечных плит и фанеры.

КФ НФП-МД представляет собой водную суспензию, состоящую из карбамидоформальдегидной смолы марки КФ НФП (ТУ РБ 100699348.449–2002), сульфата аммония (ГОСТ 9097–82) в качестве отвердителя и природного кремнезема (ТУ 58761-001–2005) в качестве наполнителя. Отвердитель и наполнитель вводятся в смолу за 30–60 мин до начала работы.

Применение наполнителей кремнийорганической природы должно способствовать улучшению физико-химических и механических свойств клеевых соединений. Стоит отметить, что природный кремнезем состоит исключительно из активного микрокристаллического кремнезема, который отличается гораздо более низким водопоглощением по сравнению с другими наполнителями. Это свойство должно обеспечить увеличение водостойкости клеевого соединения.

Обладая большой удельной поверхностью, которая является одной из самых важных характеристик, природный кремнезем при протекании химической реакции образует цепочечную структуру и повышает сопротивление материала разрыву и изгибу.

Долговечность материала определяется его термо- и морозостойкостью, возможностью сохранять прочность при переменных климатических условиях. Так, одной из отличительных особенностей кремнийорганических соединений является возможность работать в температурном диапазоне от  $-60$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ .

Применение клеевых композиций с природным кремнеземом в качестве наполнителя должно уменьшить содержание формальдегида до класса эмиссии E 05 и улучшить ряд физико-механических показателей фанеры общего назначения. При горячем склеивании происходит гелеобразование. Частицы кремнезема образуют разветвленные цепочки Si-O-Si-, которые целиком пронизывают объем геля. Этот процесс сопровождается связыванием формальдегида в процессе структурирования и увеличением прочности склеивания древесных клееных материалов.

В целях определения оптимального состава клея проведены исследования по определению различных его свойств при следующих объемах вводимого в клеевую композицию наполнителя: 0, 2, 4, 6, 8, 10 и 12 мас. ч.

Эксперименты проводились в соответствии со стандартами:

– отбор и подготовка образцов – по ГОСТ 9620–94;

– физико-механические испытания фанерной продукции – по ГОСТ 9624–2009;

– определение предела прочности клеевых соединений при скалывании вдоль волокон – по ГОСТ 15613.1;

– определение предела прочности клеевых соединений при скалывании – по Европейским стандартам DINEN 204, DINEN 205;

– определение предела прочности образцов при статическом изгибе – по ГОСТ 9625–87;

– определение влажности образцов – по ГОСТ 9620–94;

– стандартами, регламентирующими технические условия на фанеру общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных и хвойных пород (ГОСТ 3916.1–96 и ГОСТ 3916.2–96);

– определение содержания свободного формальдегида – по методу WK1.

Обработку результатов выполняли с применением программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007 и Statistika, статистический анализ – по ГОСТ 16483.0–89.

В процессе эксплуатации клеевые соединения подвергаются механическим нагрузкам, действию разнообразных физических и химических факторов, вследствие чего клеевой шов может набухать, становится хрупким, снижает прочность, т. е. стареет. Процесс старения может проходить в течение длительного времени, его скорость зависит от целого ряда факторов [7]. Прогнозирование долговечности клеевых соединений является одной из наиболее сложных задач. Для получения исчерпывающих данных о стойкости клеевых соединений необходимо затратить много времени на проведение испытаний. Поэтому используются ускоренными методами исследований с применением жестких режимов термовлагообработки. Рекомендуемые техническими условиями режимы испытаний определяются в первую очередь условиями эксплуатации и видом изделий [8–14].

Лабораторные испытания включали: испытания клеевой композиции (проводились в лаборатории реофизики и макрокинетики ИТМО имени А. В. Лыкова); склеивание образцов в производственных условиях ОАО «Речица-древ»; проверку прочности при изгибе, при скалывании по клеевому слою и водостойкости изделий из композиционных материалов (про-

водились на кафедре технологии и дизайна изделий из древесины Белорусского государственного технологического университета).

Опытные образцы формировали из пяти слоев березового лущеного шпона толщиной 1,5 мм. Применяли клей марки КФ-НФП. В качестве отвердителя использовали сульфат аммония, в качестве наполнителя – природный кремнезем при различном его количестве в составе клеевой смеси (в пределах от 0 до 12 мас. ч.)

Контрольные образцы склеивались клеем без наполнителя.

В целях сопоставимости результатов промышленных и лабораторных испытаний все опыты проводились при одинаковых условиях.

Результаты лабораторных и промышленных испытаний фанерной продукции при скалывании по клеевому слою, при статическом изгибе и по водостойкости приведены в табл. 1, 2 и 3 соответственно.

Таблица 1

**Сравнительные показатели лабораторных и промышленных испытаний клеевых соединений композиционного материала при скалывании по клеевому слою**

| Рецептура клея (мас. ч.)                  | Вид обработки образца перед испытанием | Предел прочности при скалывании, МПа, при испытаниях |              | Степень сходимости результатов (лаб./произв.) |
|---|--|--|--------------|---|
|   |  | промышленных   | лабораторных |   |
| 98 смола + 2 отвердитель                  | Без предварительной обработки          | 1,57   | 1,49         | 0,95  |
| 94 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель  | Без предварительной обработки          | 2,35   | 2,40         | 1,02  |
| 92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель  | Без предварительной обработки          | 2,89   | 2,92         | 1,01  |
| 90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель  | Без предварительной обработки          | 3,43   | 3,21         | 0,94  |
| 88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель | Без предварительной обработки          | 3,71   | 3,59         | 0,97  |
| 86 смола + 2 отвердитель + 12 наполнитель | Без предварительной обработки          | 3,86   | 3,67         | 0,95  |

Таблица 2

**Данные лабораторных и производственных испытаний фанеры при статическом изгибе**

| Рецептура клея (мас. ч.)                  | Вид обработки образца перед испытанием       | Предел прочности при скалывании, МПа, при испытаниях |              | Степень сходимости результатов (лаб./произв.) |
|---|--|--|--------------|---|
|   |  | промышленных   | лабораторных |   |
| 98 смола + 2 отвердитель                  | Без вымачивания                              | 76,0   | 74,6         | 98,1  |
| 98 смола + 2 отвердитель                  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 54,6   | 52,6         | 96,3  |
| 94 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 64,0   | 62,4         | 93,3  |
| 92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 67,3   | 62,8         | 93,3  |
| 90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 76,2   | 69,7         | 91,4  |
| 88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 72,7   | 67,9         | 93,4  |
| 86 смола + 2 отвердитель + 12 наполнитель | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 74,2   | 70,5         | 95,0  |

Таблица 3

**Сравнительные показатели лабораторных и промышленных испытаний  
клеевых соединений по водостойкости**

| Рецептура клея<br>(мас. ч.)               | Вид обработки образца<br>перед испытанием    | Предел прочности при скалывании,<br>МПа, при испытаниях |              | Степень сходимости<br>результатов (лаб./произв.) |
|---|--|---|--------------|--|
|   |  | промышленных  | лабораторных |  |
| 98 смола + 2 отвердитель                  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 1,53  | 1,42         | 0,93   |
| 94 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 2,06  | 1,93         | 0,94   |
| 92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | –   | 2,19         | –  |
| 90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель  | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 2,39  | 2,31         | 0,90   |
| 88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 2,56  | 2,48         | 0,95   |
| 86 смола + 2 отвердитель + 12 наполнитель | Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C | 2,61  | 2,78         | 0,95   |

Результаты испытаний по определению содержания свободного формальдегида методом WKI приведены в табл. 4.

Циклические испытания для прогнозирования долговечности фанерной продукции проведены при условии: образцы подвергались

заморозке при температуре –20°C в течение 12 ч и размораживанию при +20°C в течение 12 часов. Всего было проведено 20 циклов каждого этапа обработки. Прочность клеевых соединений на скалывание после циклических испытаний (–20°C...+20°C) приведена в табл. 5.

Таблица 4

**Данные лабораторных испытаний при определении выделений формальдегида по методу WKI**

| Рецептура образца (мас. ч.)               | Содержание формальдегида,<br>100 г/100 г сухого вещества |
|---|--|
| 98 смола + 2 отвердитель                  | 6,27   |
| 92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель  | 4,96   |
| 90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель  | 4,25   |
| 88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель | 4,16   |

Таблица 5

**Физико-механические показатели фанерной продукции  
на скалывание поклеевому слою после циклических испытаний**

| Рецептура клея (мас. ч.)                  | Вид обработки образца<br>перед проведением испытаний (–20°C...+20°C) | Предел прочности<br>при скалывании, МПа |
|---|--|---|
| 98 смола + 2 отвердитель                  | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 1,760                                   |
| 96 смола + 2 отвердитель + 2 наполнитель  | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 2,020                                   |
| 94 смола + 2 отвердитель + 2 наполнитель  | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 2,123                                   |
| 92 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель  | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 2,274                                   |
| 90 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель  | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 2,141                                   |
| 88 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель  | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 1,880                                   |
| 86 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель | 12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C                         | 1,830                                   |

**Заключение.** Результаты лабораторных опытов по определению прочности клеевых соединений на скалывание и прочности фанеры на статический изгиб подтверждают те же закономерности, что и при промышленных испытаниях [15–16].

Данные лабораторных испытаний на скалывание по клеевому слою в среднем на 5,3% меньше, чем данные промышленных испытаний, но они превышают требования, допускаемые ГОСТ 3916.1–96 (1,5 МПа после выдержки в воде в течение 24 ч). Данные лабораторных

испытаний на статический изгиб в среднем на 7,6% меньше, чем при промышленных испытаниях, но выше, чем требуется по ГОСТ 3916.1–96 (не менее 25 МПа).

Применение природного кремнезема в качестве наполнителя способствует улучшению физико-механических показателей и долговечности клеевых композиционных материалов, уменьшению выделения свободного формальдегида. Лучшие показатели обеспечивает природный кремнезем в количестве 8–10 мас. ч. в клеевой композиции.

### Литература

1. Волынский В. Н. Технология клеевых материалов: учеб. пособие для вузов. Архангельск: Архангельский государственный технологический университет, 1998. 299 с.
2. Глебов М. П., Брутян К. Г. Анализ природных минеральных модификаторов для клеящих смол // Лесопиление и сушка пиломатериалов. Состояние и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГЛТА, 2007. С. 28–33.
3. Кондратьев В. П., Кондращенко В. И. Синтетические клеи для древесных материалов. М.: Научный мир, 2004. 520 с.
4. Хрулев В. М., Мартынов К. Я. Долговечность древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1977. 168 с.
5. Соболевский М. В. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов. М.: Химия, 1975. 295 с.
6. Справочник фанерщика / И. А. Шейдин [и др.]; под общ. ред. И. А. Шейдина. 3-е изд. М.: Лесная промышленность, 1968. 832 с.
7. Трутенько В. В., Божелко И. К., Снопков В. Б. Абиотические и биологические факторы, влияющие на разрушение древесины в период эксплуатации // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 152–157.
8. Бучнева Е. А. Исследование клеевой композиции для фанеры // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2004. Вып. XII. С. 206–209.
9. Реестр интеллектуальной собственности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru> (дата обращения: 16.04.2013).
10. Независимый научно-технический портал [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ntpo.com/patents\\_building\\_materials](http://www.ntpo.com/patents_building_materials) (дата обращения: 16.04.2013).
11. ЛесПромИнформ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lesprominform.ru/> (дата обращения: 16.04.2013).
12. ТехноСфера [Электронный ресурс]. URL: <http://tekhnosfera.com> (дата обращения: 16.04.2013).
13. Чубинский А. Н., Варанкина Г. С., Брутян К. Г. Совершенствование технологии склеивания фанеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 179. С. 167–175.
14. Ковальчук Л. М. Технология склеивания. М.: Лесная пром-сть, 1973. 268 с.
15. Коробко Е. В., Барташевич А. А., Скродский А. И. Прогнозирование долговечности фанерной продукции строительного назначения // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2015. С. 413–416.
16. Игнатович Л. В., Шпак С. И., Скродский А. И. Экспортноориентированная фанерная продукция строительного назначения с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2015. С. 421–424.

### References

1. Volynskiy V. N. *Tehnologija kleenyh materialov: uchebnoe posobie dlia vuzov* [The technology of laminated materials: a manual for schools]. Arhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 1998. 299 p.

2. Glebov M. P., Brutjan K. G. Analysis of natural mineral modifiers for adhesives resins. *Lesopilenie i sushka pilomaterialov. Sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [The sawing and during of lumber. The state and prospects of development: proceedings of the International scientific-practical conference]. St. Petersburg, SPbGLTA, 2007. Pp. 28–33 (In Russian).
3. Kondratjev V. P., Kondrashchenko V. I. *Sinteticheskie klei dlja drevesnyh materialov* [Synthetic adhesives for wood materials]. Moscow, Nauchniy mir Publ., 2004. 520 p.
4. Hruljov V. M., Martynov K. Ja. *Dolgovechnost' drevesnostruzhechnyh plit* [Durability chipboard]. Moscow, Lesnaja promyshlennost Publ., 1977. 168 p.
5. Sobolevskiy M. V. *Svoystva i oblasti primeneniya kremniyorganicheskikh produktov* [Properties and applications of silicone products]. Moscow, Himija Publ., 1975. 295 p.
6. Sheydin I. A. *Spravochnik fanerschika* [Plywooder's directory]. Moscow, Lesnaja promyshlennost Publ., 1968. 832 c.
7. Trut'ko V. V., Bozhelko I. K., Snopkov V. B. Abiotic and biological factors influencing the destruction of the timber during operation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], no. 2: Forest and Woodworking industry, 2015, pp. 152–157 (In Russian).
8. Buchneva E. A. Investigation of plywood the adhesive composition. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Ser. 2, issue 12: Forest and Woodworking industry, pp. 206–209 (In Russian).
9. *Reestr intellektual'noy sobstvennosti* [Intellectual Property Register]. Available at: <http://www.findpatent.ru/> (accessed 16.04.2013).
10. *Nezavisimiy nauchno-tehnicheskij portal* [Independent scientific and technical portal]. Available at: [http://www.ntpo.com/patents\\_building\\_materials/](http://www.ntpo.com/patents_building_materials/) (accessed 16.04.2013).
11. *LesPromInfo* [TimberInfo]. Available at: <http://www.lesprominform.ru/> (accessed 16.04.2013).
12. *Tekhnosfera* [Tekhnosfera]. Available at: <http://teknosfera.com> (accessed 16.04.2013).
13. Chubinskiy A. N., Varankina G. S., Brutjan K. G. Improved plywood adhesion technology. *Izvestija Sankt-Peterburzhskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of St. Petersburg Forest Technical Academy], 2007, vol. 179, pp. 167–175 (In Russian).
14. Koval'chuk L. M. *Tehnologija skleivaniya* [Bonding Technology]. M.: Lesnaja promyshlennost' Publ., 1973. 268 p.
15. Korobko E. V., Bartashevich A. A., Skrotskiy A. I. Predicting the durability of plywood products for construction application. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Noveyshie dostizheniya v oblasti innovacionnogo razvitija v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nyh materialov"* [Materials of International scientific-technical conference "The latest achievements in the field of innovation development in the chemical industry and the production of building materials"]. Minsk, BGTU Publ., 2015, pp. 413–416 (In Russian).
16. Ignatovich L. V., Shpak S. I., Skrotskiy A. I. Export-oriented plywood products construction application with improved performance. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Noveyshie dostizheniya v oblasti innovacionnogo razvitija v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nyh materialov"*. [Materials of International scientific-technical conference "The latest achievements in the field of innovation development in the chemical industry and the production of building materials"]. Minsk, BGTU Publ., 2015, pp. 421–424 (In Russian).

### Информация об авторах

**Барташевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, почетный доктор, профессор, профессор кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: BAArch\_AABS@mail.ru.

**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

**Коробко Евгения Викторовна** – доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (229972, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: evkorobko@gmail.com.

**Скrockий Алексей Игоревич** – магистр технических наук, ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: skrocki-a@belstu.by

**Information about the authors**

**Bartashevich Aleksandr Aleksandrivich** – PhD (Engineering), Honoris Doctor, Professor, Professor of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: BAArch\_AABS@mail.ru.

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

**Korobko Eugenia Viktorovna** – DSc (Engineering), Professor, Head of the Laboratory Reophysical and Macrokinetics. A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovki str., 229972, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evkorobko@gmail.com

**Skrotskiy Aleksey Igorevich** – Master of Engineering, assistant lecturer of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: skrocki-a@belstu.by

*Поступила 25.10.2016*