

УДК 004.92:684.7

А. С. Чуйков, Л. В. Игнатович

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ
И КОНСТРУКЦИЙ ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ
И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Компьютерные технологии все больше интегрируются в технологические процессы деревообрабатывающих предприятий, заменяя частично или полностью традиционные. Не исключением стал и процесс производства декоративных элементов мебели.

Современные дизайнеры все чаще используют различные декоративные стили прошлых эпох. Самыми распространенными и излюбленными для подражания являются барокко, рококо, классицизм и прочие. Каждое из этих художественных направлений предполагает использование специальных декоративных элементов, которые определяют эстетический уровень изделия.

Художественная обработка древесины основана на использовании различных приемов. Одним из наиболее древних является резьба. Это достаточно трудоемкий процесс, который состоит из таких операций, как разработка эскизов декоративных элементов, воплощение их в материале, а также создание конструкторской документации. Изготовление элементов сложной формы подразумевает использование дорогостоящего оборудования, привлечение высококвалифицированных работников предприятий, увеличение материальных затрат и продолжительности производственного цикла.

Рассмотренная в статье технология трехмерного моделирования и 3D-печати позволяет в значительной степени упростить, сократить, а в некоторых случаях исключить некоторые этапы производства изделия, что, в свою очередь, даст возможность снизить продолжительность технологического процесса и себестоимость готовой продукции при сохранении высокого качества изделий.

Ключевые слова: проектирование, декоративный элемент, трехмерная модель, 3D-принтер, 3D-печать.

Для цитирования: Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 156–161.

A. S. Chuikov, L. V. Ignatovich

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF DESIGNING THREE-DIMENSIONAL MODELS
AND STRUCTURES OF DECORATIVE FURNITURE ELEMENTS
AND THEIR MANUFACTURING**

Computer technologies are increasingly integrated into the technological processes of woodworking enterprises, replacing partially or completely traditional ones. The production process of decorative furniture elements is no exception.

Modern designers are increasingly using various decorative styles of past eras. The most common and favorite to follow are the Baroque, Rococo, Classicism and others. Each of these artistic directions involves the use of special decorative elements that determine the aesthetic level of the product.

Artistic wood processing is based on the use of various techniques. One of the most ancient is carving. This is a rather time-consuming process, which consists of such operations as developing sketches of decorative elements, implementing them in the material, as well as creating design documentation. The production of complex elements involves the use of expensive equipment, attracting highly qualified employees of enterprises, increasing material costs and the duration of the production cycle.

The technology of three-dimensional modeling and 3D printing considered in the article makes it possible to significantly simplify, reduce, and in some cases exclude certain stages of product production, which in turn will reduce the duration of the technological process and the cost of finished products while maintaining a high quality of products.

Key words: design, decorative element, three-dimensional model, 3D printer, 3D printing.

For citation: Chuikov A. S., Ignatovich L. V. Features of designing three-dimensional models and structures of decorative furniture elements and their manufacturing. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 156–161 (In Russian).

Введение. В последнее время ни один процесс проектирования мебели и столярно-строительных изделий не обходится без технологий трехмерного моделирования, поскольку они позволяют наглядно визуализировать любые предметы, а также сохранять проектируемые объекты в виде объемной модели или изображения.

Как известно, процесс производства любого изделия мебели включает различные подготовительные этапы, в числе которых изготовление конструкторской документации, художественная проработка и, при необходимости, создание прототипа или опытного образца [1–4].

Современные возможности, предоставляемые специализированными компьютерными программами по трехмерному моделированию [5], в значительной степени упрощают, сокращают и даже исключают некоторые этапы производства изделия, при этом позволяют значительно сэкономить время и финансовые ресурсы.

Создание виртуальных объектов и конструкций, в частности декоративных элементов мебели, заключается в разработке управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) и создании твердотельных трехмерных графических образцов декоративных элементов методом 3D-печати на специальном оборудовании.

Основная часть. Процесс компьютерного моделирования позволяет создать в виртуальной среде любые изделия, включая самые сложные и трудоемкие, и снизить риски, связанные с ошибками и просчетами оператора-конструктора [5].

Однако стоит отметить, что есть и другие способы повышения эффективности производственных и технологических процессов за счет использования современных 3D-технологий. Например, изготовление пресс-форм декоративных элементов, используемых при производстве мебели. Далее будут рассмотрены этапы создания оснастки производственного оборудования с применением возмоздственной экосистемы 3D-печати [6].

Основная роль 3D-принтера в процессе изготовления пресс-форм заключается в создании шаблона, формы или непосредственно пресс-формы для изготовления шаблона.

Благодаря интеграции 3D-печати и системных комплексов автоматизированного проектирования (CAD) процесс изготовления пресс-форм становится быстрее и проще, появляется возможность получать индивидуальные модели за несколько часов, что положительно сказывается на сроках постановки изделий на производство и повышении производительности оборудования и рабочих, а также на возможности быстро и качественно расширять ассортимент продукции под потребности заказчика [7].

Использование данной методики позволяет получить требуемое качество моделей и пресс-форм за один цикл за счет применения эффективных режимов печати 3D-принтера. Современное программное обеспечение позволяет проводить инженерный анализ конструкции и тестирование эргономики изделий еще на этапе проектирования, что позволяет избежать ошибок в дальнейшем.

Высокая скорость печати дает возможность быстро изготавливать формы или их части, а также получать мгновенные результаты своей работы и демонстрировать их потребителям даже на самой ранней стадии проектных работ.

Для проведения промышленных испытаний и исследования технологии трехмерной печати был выбран 3D-принтер Zortrax M200 [8]. Редактирование моделей и создание управляющих программ происходило с помощью специального программного обеспечения Z-Suite.

Используемое оборудование относится к полупрофессиональному сегменту техники, что позволило обеспечить высокую точность печати и возможность изготовления сложных деталей.

Для создания изделий применяли способ FDM (послойной) печати [9], который является самой распространенной технологией 3D-печати в мире. Принцип построения по технологии FDM заключается в послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити (рис. 1).

При проведении исследования использовали следующие материалы: Z-материал (в основе которого лежат ABS, PLA, PETG, Nylon пластики); растворитель; распылитель; клей для пластмасс; нож или скальпель для удаления элементов поддержки; защитные перчатки; защитные очки; абразив для обработки и подготовки модели (шлифовальная шкурка с зернистостью Р 180, 220 и 240).

Принцип построения пресс-форм по технологии FDM [10–13] заключался в следующем. Предварительно создавали трехмерную модель с использованием программного обеспечения Autodesk 3Ds MAX. Затем полученную 3D-модель в формате STL передавали в программное обеспечение 3D-принтера. Программа автоматически (или оператор вручную) располагала модель в виртуальном пространстве рабочей камеры и автоматически генерировала элементы вспомогательных конструкций (из специального материала поддержки) и проводила расчет количества расходных материалов, а также времени выращивания прототипа. Перед запуском процесса печати модель автоматически разделялась на горизонтальные слои и производился расчет путей перемещения печатающей головки.

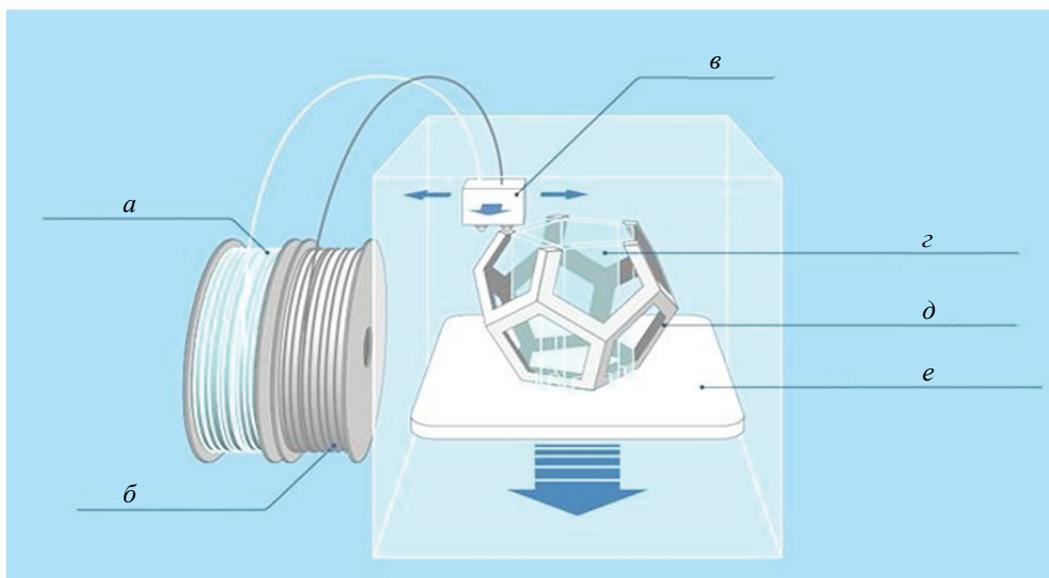


Рис. 1. Функциональная схема работы 3D-принтера:

a – катушка материала поддержки; *б* – катушка с модельным материалом;
в – экструдер; *г* – материал поддержки; *д* – строящееся изделие; *е* – платформа построения

После этого запускали процесс непосредственной 3D-печати [14]: нагревающая головка с фильерами (экструдер) расплавляла тонкую пластиковую Z-нить и послойно укладывала ее согласно данным математической 3D-модели.

После завершения процесса построения изделия вспомогательные конструкции удаляли (вручную или растворяли в специальном растворе), а готовое изделие было использовано для создания пресс-формы.

Первый этап работы заключался в создании трехмерных моделей декоративных элементов с использованием современного программного обеспечения Autodesk 3Ds MAX [5]. Для этого необходимо было создавать примитивные объекты и корректировать их геометрию путем перемещения узлов полигональной сетки. Применение различных системных модификаторов позволило усложнить и детализировать будущую виртуальную модель.

Второй этап, связанный с подготовкой управляющей программы, начинали с экспорта разработанной модели декоративных элементов в формат *.stl или *.obj.

Третий этап предполагал обработку модели в программе ZSuite. Для этого оператор запускал программный продукт и предварительно задавал ограничения области печати в соответствии с размерами поверхности для печати. После этого переходили к созданию управляющей программы. На этой стадии (Model) оператор позиционировал модель внутри рабочей области принтера, используя различные инструменты. На рис. 2 представлены вышеописанные процессы. Стоит отметить, что в одном проекте одновременно может быть подготовлено и напечатано не-

сколько моделей, если это позволяют рабочая поверхность и габаритные размеры моделей.

Изменять положение и ориентацию моделей можно за счет функций «перемещение» (Move), «масштаб» (Scale) и «поворот» (Rotate). Функция перемещения работает внутри рабочей зоны принтера. Изменение масштаба возможно реализовать как в отдельно взятом направлении, так и пропорционально по всем трем координатам X, Y, Z. Функция «поворот» позволяет осуществлять поворот модели вокруг отдельно выбранной оси либо фиксировать положение модели. Четвертый этап Analysis предназначен для анализа геометрии модели и ее возможности печати при помощи FDM технологии. При активации этой функции происходит автоматический анализ геометрии заготовки. При этом некоторые зоны могут быть подсвечены различными цветами: зеленый цвет – корректная геометрия, красный цвет – слишком тонкие либо сложные геометрические построения для адекватного воспроизведения способом 3D-печати. В последнем случае требуется корректировка геометрии трехмерной модели.

Пятый этап заключается в настройке компонентов поддержки (Support) для печати [15] элементов, которые не соприкасаются с рабочим столом 3D-принтера. Использование данной функции позволяет автоматически расставить необходимые поддерживающие элементы. Стоит отметить, что зачастую компоненты поддержки позиционируются в углах модели, так как именно эти области наиболее подвержены деформациям ввиду их расположения на краю печатной модели и наибольшей зоны контакта с охлаждающим вентилятором.

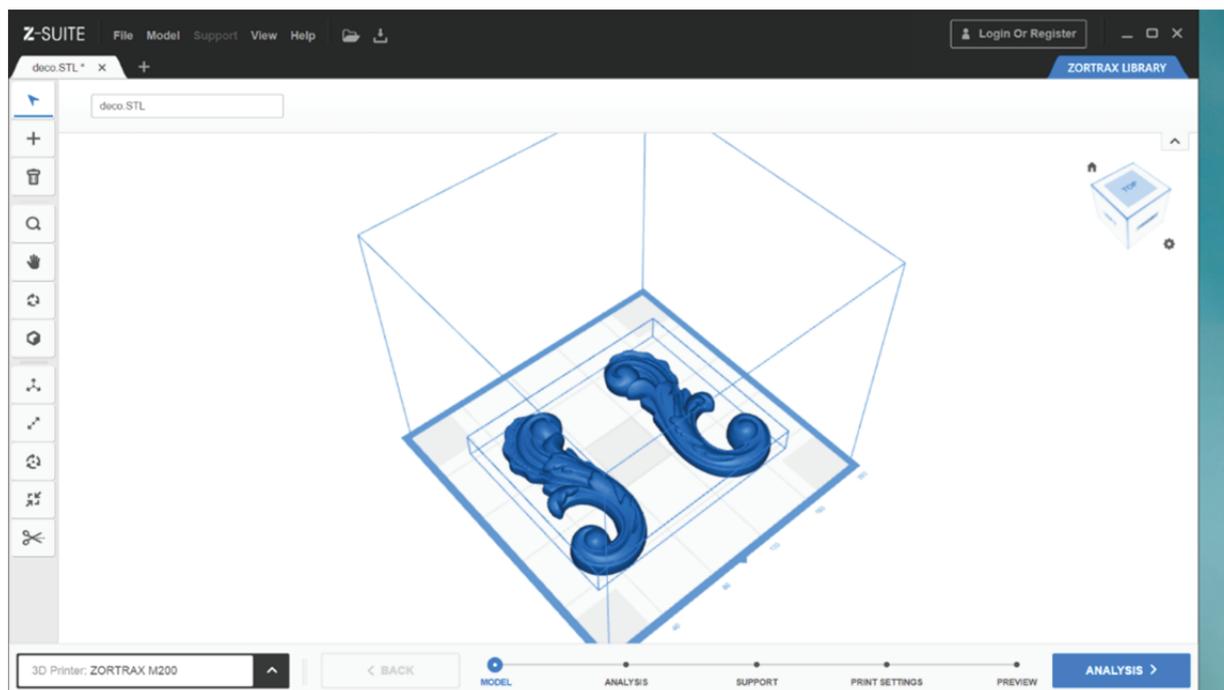


Рис. 2. Процесс позиционирования деталей на рабочем столе 3D-принтера в программе ZSuite

В ходе исследования было замечено, что проще всего на 3D-принтере печатаются объекты в форме пирамиды. Это связано с тем, что каждый последующий слой кладется на предыдущий и не нависает над пустым пространством. Поддержки позволяют печатать нависающие части объектов, но автоматически расставленные элементы не всегда оптимальны с точки зрения расхода пластика и простоты их последующего отделения от самого объекта. Поэтому в экосистеме ZSuite предусмотрена возможность ручной настройки компонентов, что позволяет получать полный контроль над процессом создания опор, упростить процесс очистки модели, получить незначительную площадь контакта 3D-изделия и компонентов поддержки, а также снизить в некоторых случаях расход пластика.

В созданные поддерживающие элементы можно вносить изменения при помощи функции Edit Support (Редактирование поддержки), что позволяет удалять их и перемещать для обеспечения оптимального качества печати.

Неотъемлемой частью любого технологического процесса является режим. В связи с этим шестой этап исследования был посвящен установке параметров материала и печати Print Setting (Настройки принтера) для изготовления моделей.

Использование стандартных материалов предполагает применение типовых настроек оборудования, однако зачастую сложность декоративных элементов и моделей требует более

широкой и детальной настройки параметров материала и печати, которые можно реализовать в режиме Advanced (профессиональный).

Как правило, основными характеристиками для 3D-печати являются: толщина слоя пластика (0,09–0,14 мм); рабочая температура экструдера (205–210°C); втягивание (30 мм/с) и т. д.

Заключительным этапом создания управляющей программы для 3D-печати является Preview (Предпросмотр), в результате которого можно произвести симуляцию процесса печати и определить время, необходимое для осуществления данного технологического процесса, расход материала на изготовление модели, а также некоторые другие параметры процесса. К ним относятся такие параметры, как модель принтера, материал печати, толщина слоя печати, скорость печати, количество поддержек и необходимого для них материала, заполнение пустот и слоев модели и другие параметры, которые несут справочную информацию. После этого осуществляли экспорт модели и параметров ее печати в файл с расширением *.zcode, который сохраняли на компьютере или карте памяти.

В дальнейшем управляющую программу загружали в 3D-принтер и производили печать пресс-формы.

В ходе эксперимента были получены одноцветные детали (рис. 3), обладающие достаточной прочностью и упругостью, а также определенным набором физико-механических характеристик, которые напрямую зависели от используемого материала.



Рис. 3. Фрагмент декора мебели, напечатанный на 3D-принтере по технологии FDM

Заключение. В результате эксперимента установлено, что в сравнении с классическими способами внедрение технологий 3D-печати и компьютерного моделирования позволяет сократить процесс изготовления пресс-форм в среднем на 40%.

Использование современных CAD-технологий и 3D-печати позволяет создавать, корректировать и оценивать эргономические и функ-

циональные решения еще на этапе проектирования, что, в свою очередь, дает возможность оптимизировать процессы моделирования трехмерных элементов мебели и столярно-строительных изделий, экономить трудовые, материальные и временные ресурсы, а также повышать производительность труда.

В ходе эксперимента установлено, что подготовка шаблона пресс-формы происходила быстрее на 50–80% в сравнении с традиционными методами, при этом затраты на производство элемента снижались на 40–75% (в зависимости от сложности детали).

Следует также отметить, что переход от стадии проектирования до стадии испытаний занимал всего один или несколько дней, а продолжительность каждого этапа проектирования продукта сокращалась благодаря использованию технологий CAD-проектирования и 3D-печати.

Экосистема 3D-печати представляет собой полный пакет интегрированных решений, начиная от профессионального оборудования и материалов и до специализированного программного обеспечения. Внедрение подобных технологий и оборудования на мебельных предприятиях Республики Беларусь позволит обеспечить высокое качество продукции, снизить ее себестоимость и повысить конкурентоспособность.

Список литературы

1. Барташевич А. А., Онегин В. И., Шетько С. В. Технология художественной обработки древесины. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 249 с.
2. Барташевич А. А., Романовский А. М. Художественная обработка дерева. Минск: Вышэйшая школа, 2000. 230 с.
3. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели. Минск: Современная школа, 2006. 336 с.
4. Барташевич А. А., Гайдук С. С. Конструирование изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2016. 145 с.
5. Чуйков А. С. Моделирование объектов дизайна. Минск: БГТУ, 2019. 94 с.
6. Громько И. Г. Технология печатных и отделочных процессов при производстве упаковки и тары. Минск: БГТУ, 2019. 242 с.
7. Тягунов А. Г. Специальные виды печати. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2017. 168 с.
8. 3D-принтер Zortrax M200 [Электронный ресурс] // 3D HUB. Минск, 2020. URL: https://3dhub.by/catalog-zortrax_m200.html (дата обращения: 05.10.2020).
9. Технология 3D-печати FDM (Fused Deposition Modeling) [Электронный ресурс] // GlobalTek3D. М., 2020. URL: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/ (дата обращения: 05.10.2020).
10. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer, 2015. 510 p.
11. Horvath J. 3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home. New York: Springer Science and Business Media, 2016. 213 p.
12. Ritland M. 3D Printing with SketchUp. Birmingham: Pack Publishing Ltd, 2014. 136 p.
13. Foster Sh., Halbstein D. Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. London: Springer-Verlag, 2014. 104 p.
14. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. 3D Printing. Washington DC: T. M. C. Asser Press, 2016. 212 p.
15. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D Printing. Pasadena: Apress, 2020. 347 p.

References

1. Bartashevich A. A., Onegin V. I., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya khudozhestvennoy obrabotki drevesyiny* [Technology of artistic wood processing]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2013. 249 p.
2. Bartashevich A. A., Romanovskiy A. M. *Khudozhestvennaya obrabotka dereva* [Art processing of a tree]. Minsk, Vysheyshey shkola Publ., 2000. 230 p.
3. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 336 p.
4. Bartashevich A. A., Hayduk S. S. *Konstruirovaniye izdeliy iz drevesyiny* [Construction of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 145 p.
5. Chuikov A. S. *Modelirovaniye ob'ektov dizayna* [Design objects modeling processes]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 94 p.
6. Gromyko I. G. *Tekhnologiya pechatnykh i otdelochnykh protsessov pri proizvodstve upakovki i tary* [Technology of printing and finishing processes in the production of packaging and containers]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 242 p.
7. Tyagunov A. G. *Spetsial'nyye vidy pechati* [Special types of printing]. Ekaterinburg, Ural'skiy Universitet Publ., 2017. 168 p.
8. 3D-Printer Zortrax M200. Available at: https://3dhub.by/catalog-zortrax_m200.html (accessed 05.10.2020).
9. FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-Printing Technology. Available at: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/ (accessed 05.10.2020).
10. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York, Springer Publ., 2015. 510 p.
11. Horvath J. *3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home*. New York, Springer Science and Business Media Publ., 2016. 213 p.
12. Ritland M. *3D Printing with SketchUp*. Birmingham, Pack Publishing Ltd Publ., 2014. 136 p.
13. Foster Sh., Halbstein D. *Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design*. London, Springer-Verlag Publ., 2014. 104 p.
14. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. *3D Printing*. Washington DC, T. M. C. Asser Press Publ., 2016. 212 p.
15. Horvath J., Cameron R. *Mastering 3D Printing*. Pasadena, Apress Publ., 2020. 347 p.

Информация об авторах

Чуйков Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru, offlex88@belstu.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

Information about the authors

Chuikov Aleksey Sergeevich – PhD (Engineering), Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru, offlex88@belstu.by

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, 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, lignatovich6@gmail.com

Поступила 15.10.2020