

УДК 684.4.05:658.512.4

В. В. Громов, Л. В. Игнатович

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
ПРИ РАСКРОЕ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ (ОБЗОР)**

Современное производство немыслимо без оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Не только крупные, но и средние предприятия, выпускающие мебель и столярно-строительные изделия, используют фрезерные обрабатывающие центры, оценив на опыте преимущества перестройки производства на цифровую основу.

Раскрой материалов как важная часть технологической подготовки производства в мебельной и деревообрабатывающей промышленности является началом большинства производственных процессов, оказывает существенное влияние на трудоемкость и экономичность изготовления деталей.

Для получения деталей сложной геометрической формы из листового материала широко применяются деревообрабатывающие центры с ЧПУ, в том числе работающие по технологии «Нестинг» и имеющие множество преимуществ: возможность обработки многих видов материалов различной толщины и формата, контуров различной сложности, адаптации к постоянным изменениям номенклатуры выпускаемой продукции и др.

В статье представлен обзор литературных данных о технологической подготовке производства при раскрое плитных материалов концевыми фрезами на оборудовании с ЧПУ, рассмотрены вопросы автоматизации указанных процессов и их значение для промышленных предприятий.

Ключевые слова: технологическая подготовка, раскрой плитных материалов, концевые фрезы, оборудование с ЧПУ, управляющая программа.

Для цитирования: Громов В. В., Игнатович Л. В. Особенности технологической подготовки производства при раскрое плитных материалов концевыми фрезами с применением автоматизации на различных этапах (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 90–102.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-8.

V. V. Gromov, L. V. Ignatovich
Belarusian State Technological University

**FEATURES OF TECHNOLOGICAL PREPARATION FOR PRODUCTION
IN CUTTING BOARD MATERIALS WITH END MILLS USING AUTOMATION
AT VARIOUS STAGES (REVIEW)**

Modern manufacturing is unthinkable without computer numerical control (CNC) equipment. Both large and medium-sized companies producing furniture and joinery use CNC machining centers, having experienced the benefits of digitalizing their production.

Cutting materials is an important part of the technological preparation of production in the furniture and woodworking industries, is the beginning of most production processes, and has a significant impact on the labor intensity and cost-effectiveness of manufacturing parts.

To produce parts with complex geometric shapes from sheet material, CNC woodworking centers are widely used, including those using Nesting technology, which has many advantages: the ability to process many types of materials of varying thickness and format, contours of varying complexity, adapt to constant changes in the range of manufactured products, etc.

The article presents a review of literary data on the technological preparation of production when cutting plate materials with end mills on CNC equipment, and examines the issues of automation of these processes and their significance for use in industrial enterprises.

Keywords: technological preparation, cutting of plate materials, end mills, CNC equipment, control program.

For citation: Gromov V. V., Ignatovich L. V. Features of technological preparation for production in cutting board materials with end mills using automation at various stages (review). *Proceedings of*

BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2026, no. 1 (300), pp. 90–102 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-8.

Введение. Практическая реализация технологии «Нестинг» основана на использовании обрабатывающего центра для раскюя плитного формата на детали различной не-прямоугольной формы с обеспечением максимальной готовности элементов, из которых собирается изделие.

Первым очевидным плюсом использования станков с ЧПУ является более высокий уровень автоматизации производства. Случаи вмешательства оператора станка в процесс изготовления детали сведены к минимуму.

Вторым преимуществом выступает производственная гибкость. Это значит, что для обработки разных деталей нужно всего лишь заменить управляющую программу (УП).

В качестве третьего плюса следует отметить высокую точность и повторяемость обработки.

Все перечисленные преимущества невозможно получить без соответствующего программного обеспечения [1, 2].

Технологическая подготовка является наиболее ответственной и трудоемкой частью производственного процесса выпуска новых изделий, удельный вес которой составляет от 30–40% общей трудоемкости технической подготовки в условиях мелкосерийного производства до 50–60% в условиях массового производства.

Трудоемкость технологического проектирования в большинстве случаев значительно превосходит трудозатраты во время проектирования изделий, при этом сам процесс значительно труднее формализуется, имеет большую вариантиность проектных решений и сопровождается подготовкой большого объема документов [3].

Внедрение комплексных автоматизированных систем значительно повышает качество выполняемых проектов с одновременным сокращением затрат ресурсов и времени на проектирование и производство новых изделий. При этом учитывается, что согласно мировой практике только 20–25% качества и технического уровня новых изделий закладываются на стадии их изготовления, а 75–80% на стадии проектирования [4–6].

Автоматизация технологической подготовки производства имеет три основные цели:

- снижение трудоемкости процесса;
- сокращение сроков проектирования;
- повышение качества принимаемых решений и разрабатываемых технологических процессов [7–9].

Виды и характер работ по проектированию технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ существенно отличаются от работ, проводимых при использовании обычного универсального и специального оборудования. Прежде всего значительно возрастает сложность технологических задач и трудоемкость проектирования технологического процесса. При использовании ЧПУ появляется принципиально новый элемент: УП, для разработки и отладки которой требуются дополнительные затраты средств и времени [10–14].

Раскюй выполняется, как правило, специальными концевыми цилиндрическими фрезами диаметром 10–25 мм или профильными, например при обработке деталей мебельных фасадов [15].

Вырезание непрямоугольных деталей при помощи концевых фрез широко используется практически всеми предприятиями, которые располагают обрабатывающими центрами. Нестинг позволяет максимально плотно разместить на раскраиваемой плите детали, имеющие непрямоугольную форму, которые все чаще встречаются в мебельных изделиях [16, 17].

Основные преимущества использования технологии «Нестинг» в следующем:

- выполнение большого количества технологических операций на небольшой производственной площади при минимальном использовании трудовых ресурсов, оборудования и производственного времени;

- выбор оптимальной схемы раскюра заготовок, в частности при обработке большого числа заготовок разных размеров и форм;
- благодаря возможности криволинейного раскюра концевыми фрезами значительно снижаются отходы плитного материала по сравнению с форматно-раскюочечными станками, где раскюр ведется круглыми пилами через весь раскраиваемый лист;
- обработка плит производится на одном станке без перемещения плитного материала, что значительно увеличивает точность получаемых размеров деталей;
- уменьшаются затраты на покупку и содержание других деревообрабатывающих станков (форматно-раскюочечных, фрезерных, сверлильных), в том числе расходы, связанные с их настройкой, техническим обслуживанием и организацией технологического процесса.

Несмотря на все достоинства технологии «Нестинг», следует отметить широкий ряд проблем и недостатков, возникающих при ее внедрении в производство мебели:

- характеризуется низкой скоростью раскюра по сравнению с использованием форматно-раскюочечных станков и центров;
- отсутствует возможность пакетного раскюра плитных материалов;
- большой объем мягких отходов (стружки и опилок) требует дополнительных затрат для утилизации;
- горизонтальное сверление глухих отверстий и фрезерование под фурнитуру с обратной стороны плиты невозможны (для этого необходимы дополнительные технологические операции);
- после обработки ламинированной плиты с помощью концевых фрез могут быть сколы (например, из-за их затупления, неправильного выбора или снижения скорости подачи в этих зонах).

Для эффективного использования оборудования с ЧПУ, работающего по такой технологии, необходима автоматизированная подготовка исходных данных [18–20].

Программирование станков с ЧПУ достаточно сложная задача, требующая сбора большого количества информации: о применяемом оборудовании, его возможностях, технологическом оснащении и, самое важное, о технологическом процессе изготовления детали.

С появлением САМ-систем (англ. Computer Aided Manufacturing – средства автоматизации проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ) появилась возможность обрабатывать достаточно сложные профили деталей, уменьшать время на технологическую подготовку производства [20–22].

Основные функции современных САМ-систем сосредоточены в основном на автоматизации подготовки УП для станков с ЧПУ.

Входными данными САМ-системы является геометрическая модель, разработанная в CAD-системе. В процессе работы в этой системе определяются траектории и скорость движения режущего инструмента, которые затем обрабатываются постпроцессором для получения программы управления конкретным станком [23–28].

Разработка УП – сложный и трудоемкий процесс, во многом определяющий эффективность использования оборудования с ЧПУ [29–31].

Основная часть. Исходными данными при составлении УП для станков с ЧПУ являются результаты конструкторского проектирования, поступающие из CAD-системы. Однако возможно программирование и при наличии в качестве исходных данных лишь чертежа детали и параметров технологического процесса. В этом случае при программировании определяют и кодируют геометрию заготовки, траектории движения подвижных органов станка и параметры обработки [32].

Проектирование УП для оборудования с ЧПУ при раскюре плитных материалов концевыми фрезами – многоступенчатый процесс, в котором можно выделить следующие этапы [20, 33, 34].

1. Геометрическое моделирование и кодирование геометрии деталей (заготовок). Построение геометрических элементов (прямые, дуги, окружности) предназначено для описания

геометрии деталей – контура деталей, отверстий, пазов и т. п. Такие элементы являются основными инструментами при плоском проектировании (рис. 1).

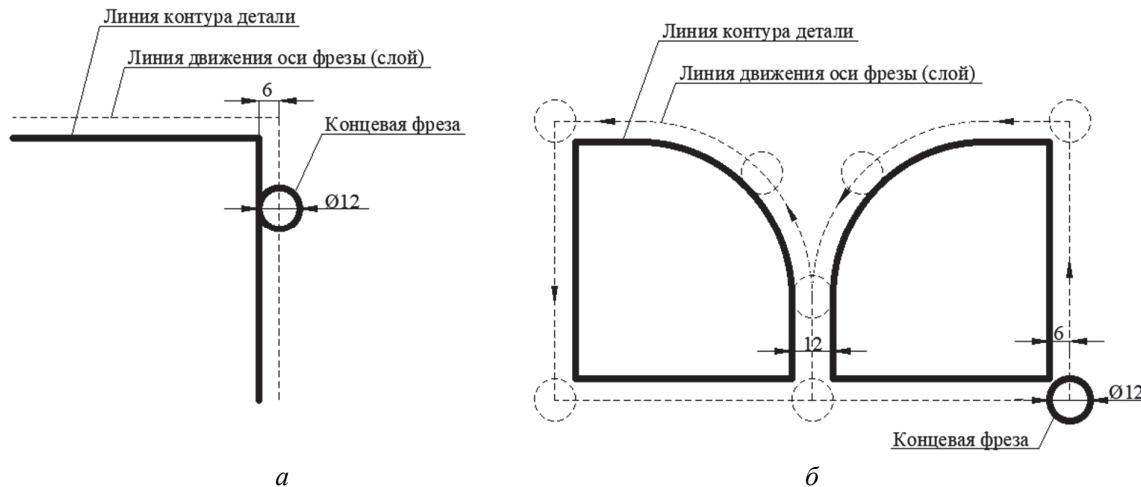


Рис. 1. Геометрическое моделирование деталей при обработке концевой фрезой диаметром 12 мм:
 а – создание контура детали и траектории движения фрезы;
 б – траектория движения инструмента при обработке деталей, расположенных на карте раскroя

Даже самая простая CAD-система для двумерного проектирования позволяет быстро создавать различные геометрические элементы. В CAD-системе создается электронный чертеж детали [23, 29, 35, 36].

К базовому (универсальному) программному обеспечению можно отнести пакет программы фирмы Autodesk (США) и ряд др. Графическая САПР AutoCAD этой фирмы относится к наиболее распространенным, что обусловлено наличием в ней большого количества инstrumentальных средств для построения проблемно ориентированных модулей.

Кроме того, обеспечивается высокая совместимость с графическими данными других систем (файлы сохраняются в формате DXF) [20, 37, 38].

Круг пользователей AutoCAD расширяется на основе обмена данными с системами SolidWorks, T-Flex CAD и интеграцией CAD/CAM/CAE [39–41].

Электронный чертеж деталей, для обработки которых будет создана УП, должен быть оформлен определенным образом. Для этого необходимо кодирование элементов деталей – присвоение имен элементам чертежа в AutoCAD (создание слоев), которые содержат информацию о выполняемой операции (фрезерование, сверление), инструменте (номер и диаметр фрезы, глубина фрезерования и др.).

Отдельные слои создаются для следующих типов объектов: эквидистантного контура (линии движения оси фрезы), сквозных и несквозных отверстий в пласти, пазов в пласти и др. Кроме того, при создании эквидистантного контура детали необходимо учитывать диаметр концевых фрез.

Указываются числовые значения параметров объектов слоя, например толщина материала, глубина отверстия, ширина и глубина паза. Также на этом этапе задаются параметры инструментов, используемых при обработке [29, 42, 43].

2. *Разработка оптимальных карт раскroя листового материала* (рис. 2). В структуре технологической подготовки производства важным этапом является решение задачи раскroя листовых материалов на заготовки (детали). Суть ее заключается в оптимальном размещении геометрических объектов на листах материала.

Карты раскroя содержат информацию для расчета таких технико-экономических показателей эффективности производства, как материалоемкость изделий, полезный выход материала, трудозатраты.

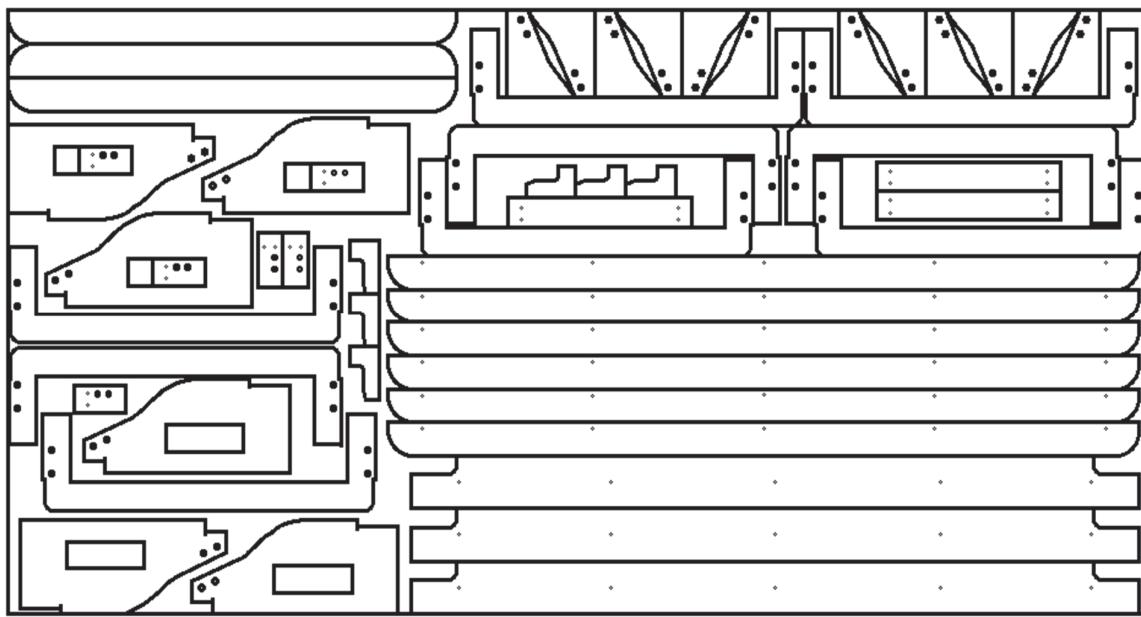


Рис. 2. Пример карты раскroя плитного материала (фанера, формат листа 2500×1250 мм), сформированной в автоматизированной программе WoodNest Basic от компании HOMAG Group

С помощью оптимизации раскroя листов решаются задачи экономного использования материала [20, 44, 45].

Кроме того, карта раскroя содержит и информацию о контурах вырезаемых деталей и об их положении на листе. При разработке карт раскroя часть деталей может быть размещена во внутренних контурах других деталей [46].

Работа программы автоматизированного раскroя заключается в формировании множества допустимых вариантов карт раскroя, их сравнительной оценке по заданной шкале критериев и выборе наиболее подходящего варианта.

Карты раскroя, формируемые в автоматическом режиме, в большинстве случаев оптимальны по всей совокупности заданных критериев и параметров раскroя и не требуют последующей доработки. Однако при небольшой глубине перебора и в некоторых других случаях может возникнуть необходимость ручного редактирования карт [47, 48].

Для совершенствования автоматизированного размещения деталей на карте раскroя необходимо: иметь возможность учитывать направление текстуры (для облицованных плит); размещать мелкие детали ближе к центру листа; настроить приоритет конкретного критерия (например, максимального значения коэффициента использования материала). Кроме того, после формирования варианта расположения деталей должна быть возможность перемещать и поворачивать их на определенный угол на карте раскroя.

3. Проектирование маршрута движения режущего инструмента по раскрайной карте. На данном этапе проектирования УП осуществляется процесс назначения маршрута обработки – последовательности обработки деталей и траектории перемещения режущего инструмента. Здесь возникает задача оптимизации маршрута режущего инструмента [34, 49].

В процессе назначения маршрута необходимо иметь такие возможности, как выбор деталей, которые будут обрабатываться в первую очередь; определение последовательности обработки деталей, исключая смещение и образование запилов уже обработанных деталей; обработка в первую очередь пазов, углублений, отверстий, а затем контуров деталей; выбор режимов обработки и инструмента по отдельным операциям; объединение деталей в блоки (мультиконтурная обработка), объединение линий (траектории движения фрезы), формирующие последний рез деталей в общую линию (рис. 3) [20, 50].

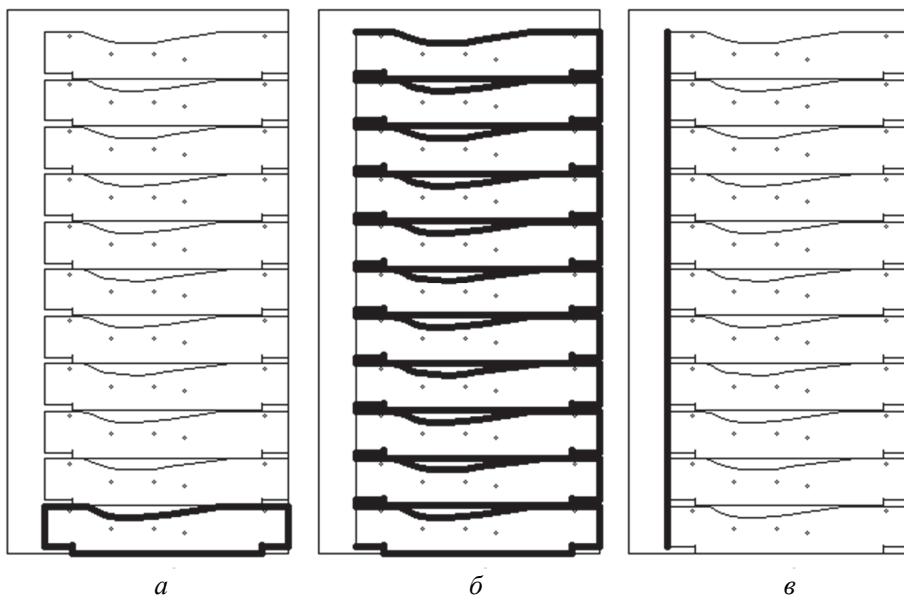


Рис. 3. Варианты обработки деталей на карте раскroя:
 а – обработка последовательно каждой детали; б – обработка группы деталей, объединенной в блок;
 в – объединение траекторий движения инструмента в одну линию

4. Генерирование УП для конкретного вида станка с ЧПУ. Финальным продуктом САМ-системы является код УП, формируемый при помощи постпроцессора.

Постпроцессор – программный модуль для преобразования управляющей траектории (движения инструмента и технологических команд), сформированной CAD/CAM-системой, в УП для станка с ЧПУ.

Для того чтобы абстрагироваться от большого разнообразия станков, систем ЧПУ и языков программирования обработки, САМ-система генерирует промежуточный файл, содержащий информацию о траектории, об угле поворота инструмента, а также обобщенные команды управления станком. Далее в работу вступает постпроцессор, преобразующий этот промежуточный файл в программу обработки в строгом соответствии с форматом программирования конкретного станка с ЧПУ [20, 23, 26].

Важной особенностью современных САМ-систем являются встроенные средства проверки корректности сгенерированных программ. Универсальные постпроцессоры позволяют работать со многими известными CAD/CAM-системами [49, 51].

Заключение. Анализ литературных данных позволяет выделить основные особенности, связанные с применением технологии раскroя плитных материалов концевыми фрезами:

1) виды и характер работ по технологической подготовке производства в технологии раскroя плитных материалов концевыми фрезами на оборудовании с ЧПУ существенно отличаются от работ, проводимых при использовании обычного универсального и специального оборудования. Прежде всего значительно возрастает сложность технологических задач и трудоемкость технологической подготовки. Появляется принципиально новый элемент технологического процесса – УП, для разработки и отладки которой требуются дополнительные затраты средств и времени;

2) для эффективного использования оборудования с ЧПУ, работающего по такой технологии, необходима автоматизированная подготовка исходных данных;

3) разработка УП – сложный и трудоемкий процесс, во многом определяющий эффективность использования оборудования с ЧПУ и качество обрабатываемых деталей;

4) проектирование УП для оборудования с ЧПУ при раскroе плитных полноформатных материалов концевыми фрезами с применением автоматизации включает следующие основные этапы:

– геометрическое моделирование деталей (заготовок) и кодирование их геометрии с применением САД-систем;

– разработка оптимальных карт раскюра плитных материалов с применением автоматизированных программ;

– проектирование маршрута режущего инструмента по раскюрной карте;

– генерирование УП для конкретного вида станка с ЧПУ с применением САМ-систем.

Таким образом, раскюрные операции, являясь началом большинства производственных процессов, оказывают существенное влияние на трудоемкость и экономичность изготовления изделий.

Автоматизация технологической подготовки раскюра плитных материалов концевыми фрезами и ее совершенствование позволит сократить сроки внедрения в производство новых изделий, повысить качество подготовки УП и производительность труда технологов, а также усовершенствовать существующие технологические процессы.

Список литературы

1. Батырева И. М., Терёхин А. В. Проблемы технологической подготовки управляющих программ ЧПУ в производстве изделий из древесины. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы II Всерос. науч.-техн. конф.-вебинара. Санкт-Петербург, 18–19 февр. 2021 г. СПб., 2021. С. 23–25.
2. Алексеев Н. С. Основы САПР технологических процессов: учеб. пособие. Рубцовск: РИО, 2023. 199 с.
3. Бунаков П. Ю., Рудин Ю. И., Стариков А. В. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов: учебник. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 194 с.
4. Акулович Л. М. Компьютерное проектирование и САПР технологических процессов: пособие. Минск: БГАТУ, 2009. 200 с.
5. Батырева И. М., Бунаков П. Ю. Автоматизация конструирования и технологической подготовки производства корпусной мебели: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2007. 392 с.
6. Бунаков П. Ю., Стариков А. В. Автоматизация проектирования корпусной мебели: основы, инструменты, практика. М.: ДМК Пресс, 2023. 852 с.
7. Бунаков П. Ю. Новые технологии автоматизированного раскюра материалов для мебельного производства. Коломна: МГОСГИ, 2013. 275 с.
8. Потылицын Д. А., Мелешко А. В., Романова С. С. Использование унифицированных технологических процессов деревообработки при автоматизированном проектировании // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 58. С. 191–196.
9. Шамов С. А. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ в условиях информационно-технологической среды: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 24.03.11. М., 2011. 23 с.
10. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М. М. Кане [и др.]. Минск: Выш. шк., 2013. 311 с.
11. Каштальян И. А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением: учеб.-метод. пособие. Минск: БНТУ, 2015. 136 с.
12. Технология деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Термины и определения: ГОСТ 17743–2016. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с.
13. Падерин В. А. Некоторые аспекты нестинга // ЛесПромИнформ. 2013. № 2 (92). С. 140–142.
14. Технология Nesting (Нестинг) // СтанкоТИМ. URL: <https://stankoteam.ru/info/articles/tekhnologiya-nesting-nesting/?ysclid=m845jk2ojf261484551> (дата обращения: 12.05.2025).
15. Громов В. В., Трофимов С. П. Особенности подготовки производства в технологии раскюра плитных материалов концевыми фрезами // Лесная инженерия, материаловедение

и дизайн: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 29 янв. – 16 февр. 2024. г. Минск, 2024. С. 156–158.

16. Технология нестинг (nesting) в мебельном производстве // Международный Мебельный Консалтинговый Центр. URL: <https://mmkc.su/novichkam/nesting-mebelnoe-proizvodstvo/?ysclid=mjqse1obec553407558> (дата обращения: 11.03.2025).

17. Киллинг К. В., Бунаков П. Ю. К вопросу об автоматизации технологии нестинг в мебельном производстве // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2015. № 3 (12). С. 78–80.

18. Погружение в ЧПУ нестинг: как современные технологии меняют распиловку // T-tech. URL: <https://ttehspb.ru/articles/pogruzhenie-v-chpu-nesting-kak-sovremenneye-texnologii-menyaют-raspilovku/?ysclid=mg51dddp2n148810181> (дата обращения: 11.05.2025).

19. Технология Нестинг: плюсы и минусы // Green Tools. URL: <https://www.gt-tools.shop/blogs/blog/tehnologiya-nesting-plyusy-i-minusy?ysclid=mjqpg29u3p356155912> (дата обращения: 13.03.2025).

20. Громов В. В., Игнатович Л. В. Вопросы совершенствования автоматизированной технологической подготовки раскroя плитных материалов концевыми фрезами // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 89-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 3–16 февр. 2025 г. Минск, 2025. С. 151–155.

21. Основы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ в системе Siemens NX: учеб. пособие / М. С. Аносов [и др.]. Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2019. 110 с.

22. Грибанов А. А., Козельчук Д. О. Разработка управляющих программ для создания декоративных элементов мебели на станках с ЧПУ в SHEETCAM // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 4–3 (9–3). С. 337–340.

23. Ловыгин А. А., Теверовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М.: ДМК Пресс, 2012. 279 с.

24. Самое популярное программное обеспечение CAD/CAM 2025 года для обработки на станках с ЧПУ // STYLECNC. URL: <https://www.stylecnc.ru/cnc-software/cad-cam-software.html?ysclid=mjqqfuudfj486196602> (дата обращения: 13.03.2025).

25. Красильникова Г. Автоматизация инженерно-графических работ. СПб.: Питер, 2000. 256 с.

26. Липин А. А. Системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2018. 108 с.

27. Оголь И. И. Создание управляющих программ с помощью CAM-систем. Томск: ТПУ, 2014. 46 с.

28. Казанцев М. С. Основные факторы, влияющие на трудоемкость разработки управляющих программ на современных CAM-системах // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 3 (8). С. 63–66.

29. Система автоматизированного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ // Техтран. URL: https://tehtran.com/sites/default/files/pdf-files/multidrill_0.pdf (дата обращения: 13.03.2025).

30. Создание управляющих программ для станков с ЧПУ в системе «T-Flex ЧПУ 2D». Оренбург: ОГУ, 2008. 57 с.

31. Федоренко А. М., Жолобов А. А. Технология обработки на станках с ЧПУ: учеб. пособие. Минск: РИВШ, 2023. 440 с.

32. Брыкин А. С., Стариков А. В. Сквозная информационная поддержка позаказного промышленного производства корпусной мебели // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 76–82.

33. Бунаков П. Ю. БАЗИС: методика автоматизированного раскroя материалов // САПР и графика. 2009. № 6 (152). С. 64–66.

34. Уколов С. С. Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2022. 135 л.
35. Разработка управляющей программы для станков с ЧПУ: учеб.-метод. пособие / М. В. Морщилов [и др.]. М.: МАДИ, 2017. 48 с.
36. Полное руководство по файлам ЧПУ и форматам САПР // Pro. Lean. URL: <https://proleantech.com/ru/cnc-files-and-cad-formats> (дата обращения: 12.05.2025).
37. Трофимов С. П., Пардаев А. С. Конструирование и производство столярно-строительных изделий. Минск: БГТУ, 2011. 521 с.
38. БАЗИС-ЧПУ – эффективный подход к разработке управляющих программ // САПР и графика. URL: <https://sapr.ru/article/20114?ysclid=m8sbue8can127315859> (дата обращения: 13.03.2025).
39. Трофимов С. П., Пардаев А. С. Автоматизация конструирования и подготовки производства мебели: учеб. пособие. Минск: Колорград, 2021. 100 с.
40. Маркова М. И. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования: учеб. пособие. Барнаул: АлтГТУ, 2013. 47 с.
41. Жарков Н. В., Финков М. В. AutoCAD 2020. Полное руководство. СПб.: Наука и техника, 2020. 640 с.
42. Модуль Базис-ЧПУ. Руководство пользователя // Центр Мебельных Программ. URL: https://cm-soft.ru/wp-content/themes/cmsoft/files/progs/manual_bazis-cpu.pdf (дата обращения: 13.03.2025).
43. DXF-Postprozessor 5.0 Basic // HOMAG. URL: https://www.homag.com/fileadmin/software/downloads/woodwop-dxf_import_basic.pdf (дата обращения: 12.05.2025).
44. Бунаков П. Ю. Технология оптимального раскюра материалов в САПР БАЗИС // САПР и графика. 2007. № 9. С. 18–21.
45. Федорина Е. В., Дьяков И. Ф. Применение САПР для автоматизации проектирования раскюра // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2023. № 1 (101). С. 29–34.
46. Бурылов А. В., Мурзакаев Р. Т., Приступов В. С. Автоматическое и интерактивное формирование маршрута режущего инструмента в программном комплексе раскюра // Приолжский научный вестник. 2016. № 1 (53). С. 32–37.
47. Бунаков П. Ю., Киллинг К. В. Новый модуль автоматизации раскюра материалов в системе БАЗИС // САПР и графика. 2020. № 4 (282). С. 58–63.
48. Петунин А. А. Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскюра листовых материалов на машинах с числовым программным управлением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2010. 32 с.
49. Аввакумов А. Постпроцессоры как эффективное средство повышения производительности оборудования // САПР и графика. 2011. № 5 (175). С. 44–46.
50. Бунаков П., Лопатин А., Федоров М. БАЗИС-ЧПУ: возможности и перспективы // САПР и графика. 2024. № 8 (336). С. 60–65.
51. Зинченко Д. Постпроцессоры и результат // САПР и графика. 2019. № 5 (271). С. 44–52.

References

1. Batyreva I. M., Terekhin A. V. Problems of Technological Preparation of CNC Control Programs in the Production of Wood Products. *Tsifrovyye tekhnologii v lesnom sektore: materialy II Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii-vebinara* [Digital Technologies in the Forestry Sector: Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific and Technical Conference-Webinar]. St. Petersburg, 2021, pp. 23–25 (In Russian).

2. Aleksev N. S. *Osnovy SAPR tekhnologicheskikh protsessov: uchebnoe posobie* [Fundamentals of CAD of Technological Processes: a textbook]. Rubtsovsk: RIO Publ., 2023. 199 p. (In Russian).
3. Bunakov P. Yu., Rudin Yu. I., Starikov A. V. *Osnovy avtomatizirovannogo proyektirovaniya izdeliy i tekhnologicheskikh protsessov: uchebnik* [Fundamentals of Computer-Aided Design of Products and Technological Processes: Textbook]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2007. 194 p. (In Russian).
4. Akulovich L. M. *Komp'yuternoye proyektirovaniye i SAPR tekhnologicheskikh protsessov: posobiye* [Computer-aided design and CAD of technological processes: manual]. Minsk, BGATU Publ., 2009. 200 p. (In Russian).
5. Batyreva I. M., Bunakov P. Yu. *Avtomatizatsiya konstruirovaniya i tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva korpusnoy mebeli: uchebnoye posobiye* [Automation of design and technological preparation for production of cabinet furniture: a textbook]. Moscow, State University of Forestry Publ., 2007. 392 p. (In Russian).
6. Bunakov P. Yu., Starikov A. V. *Avtomatizatsiya proyektirovaniya korpusnoy mebeli: osnovy, instrumenty, praktika* [Automation of cabinet furniture design: fundamentals, tools, practice]. Moscow, DMK Press Publ., 2023. 852 p. (In Russian).
7. Bunakov P. Yu. *Novyye tekhnologii avtomatizirovannogo raskroya materialov dlya mebel'nogo proizvodstva* [New technologies of automated cutting of materials for furniture production]. Kolomna, Moscow State Regional Social and Humanitarian Institut Publ., 2013. 275 p. (In Russian).
8. Potylitsyn D. A., Meleshko A. V., Romanova S. S. Using standardized technological processes of woodworking in automated design. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2020, no. 58, pp. 191–196 (In Russian).
9. Shamov S. A. *Avtomatizatsiya podgotovki upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU v usloviyah informatsionno-tehnologicheskoy sredy. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Automation of the preparation of control programs for CNC machines in the conditions of the information technology environment. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Moscow, 2011. 23 p. (In Russian).
10. Kane M. M., Medvedev A. A., Kashtal'yan I. A., Babuk I. M., Krivko G. P., Sheleg V. K., Skhirtladze A. G. *Tekhnologiya mashinostroyeniya. Kursovoye proyektirovaniye: uchebnoye posobiye* [Mechanical engineering technology. Course design: textbook]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 2013. 311 p. (In Russian).
11. Kashtalyan I. A. *Programmirovaniye i naladka stankov s chislovym programminym upravleniem: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Programming and adjustment of machines with numerical program control: a training and methodological manual]. Minsk, BNTU Publ., 2015. 136 p. (In Russian).
12. GOST 17743–2016. Technology of woodworking and furniture industry. Terms and definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 19 p. (In Russian).
13. Paderin V. A. Some aspects of nesting. *LesPromInform* [LesPromInform], 2013, no. 2 (92), pp. 140–142 (In Russian).
14. Nesting technology. Available at: <https://stankoteam.ru/info/articles/tekhnologiya-nesting-nesting/?ysclid=m845jk2ojf261484551> (accessed 12.05.2025) (In Russian).
15. Gromov V. V., Trofimov S. P. Features of production preparation in the technology of cutting plate materials with end mills. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 88-iy nauchno-tehnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forest engineering, materials science and design: proceedings of the 88th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduate students]. Minsk, 2024, pp. 156–158 (In Russian).
16. Nesting Technology in Furniture Production. Available at: <https://mmkc.su/novichkam/nesting-mebelnoe-proizvodstvo/?ysclid=mjqse1obec553407558> (accessed 11.03.2025) (In Russian).

17. Killing K. V., Bunakov P. Yu. On the Issue of Automation of Nesting Technology in Furniture Production. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh* (ESU) [Eurasian Union of Scientists (ESU)], 2015, no. 3 (12), pp. 78–80 (In Russian).
18. CNC Nesting: how modern technologies are changing sawing. Available at: <https://tehspb.ru/articles/pogruzhenie-v-chpu-nesting-kak-sovremennoye-tehnologii-menayut-raspilovku/?ysclid=mg51dddp2n148810181> (accessed 11.05.2025) (In Russian).
19. Nesting Technology: Pros and Cons. Available at: <https://www.gt-tools.shop/blogs/blog/tehnologiya-nesting-plyusy-i-minusy?ysclid=mjqpg29u3p356155912> (accessed 13.03.2025) (In Russian).
20. Gromov V. V., Ignatovich L. V. Issues of improving automated technological preparation for cutting plate materials with end mills. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 89-iy nauchno-tehnicheskoy konferentsii professorskogo-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forest engineering, materials science and design: proceedings of the 89th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduate students]. Minsk, 2025, pp. 151–155 (In Russian).
21. Anosov M. S., Kanevskiy G. N., Mansurov R. Sh., Sorokin S. B. *Osnovy razrabotki upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU v sisteme Siemens NX: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of developing control programs for CNC machine tools in the Siemens NX system: a tutorial]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev Publ., 2019. 110 p. (In Russian).
22. Gribanov A. A., Kozelchuk D. O. Developing Control Programs for Creating Decorative Furniture Elements on CNC Machine Tools in SHEETCAM. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current Research Trends in the 21st Century: Theory and Practice], 2014, Vol. 2, no. 4–3 (9–3), pp. 337–340 (In Russian).
23. Lovygin A. A., Teverovsky L. V. *Sovremennyj stanok s ChPU i CAD/CAM-Sistema* [Modern CNC Machine Tool and CAD/CAM System]. Moscow, DMK Press Publ., 2012. 279 p. (In Russian).
24. The most popular CAD/CAM software for CNC machining in 2025. Available at: <https://www.stylecnc.ru/cnc-software/cad-cam-software.html?ysclid=mjqqfuudfj486196602> (accessed 13.03.2025) (In Russian).
25. Krasilnikova G. *Avtomatizatsiya inzhenerno-graficheskikh rabot* [Automation of Engineering and Graphic Work]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000. 256 p. (In Russian).
26. Lipin A. A. *Sistemy avtomatizirovannogo proyektirovaniya: uchebnoye posobiye* [Computer-aided design systems: textbook]. Ivanovo, Ivanovsk State Shemical-Technological University Publ., 2018. 108 p. (In Russian).
27. Ogol I. I. *Sozdaniye upravlyayushchikh programm s pomoshch'yu CAM-sistem* [Creating control programs using CAM systems]. Tomsk, TPU Publ., 2014. 46 p. (In Russian).
28. Kazantsev M. S. Main factors influencing the labor intensity of developing control programs on modern CAM systems. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh* [National Association of Scientists], 2015, no. 3 (8), pp. 63–66 (In Russian).
29. Computer-aided design system for control programs for CNC machine tools. Available at: https://tehtran.com/sites/default/files/pdf-files/multidrill_0.pdf (accessed 13.03.2025) (In Russian).
30. *Sozdaniye upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU v sisteme T-Flex ChPU 2D* [Creation of control programs for CNC machines in the T-Flex CNC 2D system]. Orenburg, Orenburg State University Publ., 2008. 57 p. (In Russian).
31. Fedorenko A. M., Zholobov A. A. *Tekhnologiya obrabotki na stankakh s ChPU: uchebnoye posobiye* [Machining technology on CNC machines: a tutorial]. Minsk, RIVSh Publ., 2023. 440 p. (In Russian).
32. Brykin A. S., Starikov A. V. End-to-end information support for custom-made industrial production of cabinet furniture. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 3 (11), pp. 76–82 (In Russian).

33. Bunakov P. Yu. BASIS: a methodology for automated cutting of materials. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2009, no. 6 (152), pp. 64–66 (In Russian).
34. Ukolov S. S. *Razrabotka algoritmov optimal'noy marshrutizatsii instrumenta dlya SAPR upravlyayushchikh programm mashin listovoy rezki s ChPU. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Development of algorithms for optimal tool routing for CAD control programs of CNC sheet metal cutting machines. Dissertation PhD (Engineering)]. Ekaterinburg, 2022. 135 p. (In Russian).
35. Morshhilov M. V., Aleksandrov V. D., Djomin P. E., Nigmetzjanov R. I. *Razrabotka upravlyayushchey programmy dlya stankov s ChPU: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Development of a control program for CNC machine tools: a teaching aid]. Moscow, MADI Publ., 2017. 48 p. (In Russian).
36. A complete guide to CNC files and CAD formats. Available at: <https://proleantech.com/ru/cnc-files-and-cad-formats> (accessed 12.05.2025) (In Russian).
37. Trofimov S. P., Pardaev A. S. *Konstruirovaniye i proizvodstvo stolyarno-stroitel'nykh izdeliy* [Design and production of joinery and construction products]. Minsk, BSTU Publ., 2011. 521 p. (In Russian).
38. BASIS-CNC: an effective approach to developing control programs. Available at: <https://sapr.ru/article/20114?ysclid=m8sbue8can127315859> (accessed 13.03.2025) (In Russian).
39. Trofimov S. P., Pardaev A. S. *Avtomatizatsiya konstruirovaniya i podgotovki proizvodstva mebeli: uchebnoye posobiye* [Automation of design and preparation for furniture production: a tutorial]. Minsk, Colorgrad Publ., 2021. 100 p. (In Russian).
40. Markova M. I. *Avtomatizatsiya konstruktorskogo i tekhnologicheskogo proyektirovaniya: uchebnoye posobiye* [Automation of design and technological engineering: a tutorial]. Barnaul, Altai State Technical University Publ., 2013. 47 p. (In Russian).
41. Zharkov N. V., Finkov M. V. *AutoCAD 2020. Polnoye rukovodstvo* [AutoCAD 2020. Complete Guide]. St. Petersburg, Nauka i Tekhnika Publ., 2020. 640 p. (In Russian).
42. Bazis-CNC Module. User's Manual. Available at: https://cm-soft.ru/wp-content/themes/cmsoft/files/progs/manual_bazis-cpu.pdf (accessed 13.03.2025) (In Russian).
43. DXF-Postprozessor 5.0 Basic. Available at: https://www.homag.com/fileadmin/software/downloads/woodwop-dxf_import_basic.pdf (accessed 12.05.2025) (In Russian).
44. Bunakov P. Yu. Technology of Optimal Cutting of Materials in CAD System BASIS. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2007, no. 9, pp. 18–21 (In Russian).
45. Fedorina E. V., Dyakov I. F. Application of CAD Systems for Automation of Cutting Design. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University], 2023, no. 1 (101), pp. 29–34 (In Russian).
46. Burylov A. V., Murzakaev R. T., Pristupov V. S. Automatic and interactive formation of a cutting tool route in a cutting software package. *Privolzhskiy nauchnyy vestnik* [Privolzhsky Scientific Bulletin], 2016, no. 1 (53), pp. 32–37 (In Russian).
47. Bunakov P. Yu., Killing K. V. New module for automation of materials cutting in the BASIS system. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2020, no. 4 (282), pp. 58–63 (In Russian).
48. Petunin A. A. *Metodologicheskiye i teoreticheskiye osnovy avtomatizatsii proyektirovaniya raskroya listovykh materialov na mashinakh s chislovym programmnym upravleniem. Avtoreferat dissertatsii doktora tekhnicheskikh nauk* [Methodological and theoretical foundations of automation of design of cutting of sheet materials on machines with numerical control. Abstract of thesis DSc (Engineering)]. Ufa, 2010. 32 p. (In Russian).
49. Avvakumov A. Postprocessors as an effective means of increasing equipment productivity. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2011, no. 5 (175), pp. 44–46 (In Russian).
50. Bunakov P., Lopatin A., Fedorov M. BASIS-CNC: Possibilities and Prospects. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2024, no. 8 (336), pp. 60–65 (In Russian).
51. Zinchenko D. Postprocessors and the Result. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2019, no. 5 (271), pp. 44–52 (In Russian).

Информация об авторах

Громов Василий Васильевич – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: GRVV06@gmail.com, GRV-6@tut.by.

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

Information about the author

Gromov Vasilij Vasilyevich – PhD student, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: GRVV06@gmail.com, GRV-6@tut.by.

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

Поступила 15.10.2025