

## *Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования*

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 64.011.56

doi: 10.30987/2658-6436-2026-1-4-11

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАРИАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Антон Николаевич Толкачев<sup>1✉</sup>, Дмитрий Иванович Петрешин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Брянский автомобильный завод, г. Брянск, Россия; Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» им. академика В.П. Ефремова», г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

<sup>1</sup> olbio@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4612-4968>

<sup>2</sup> dipetreshin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9472-2167>

**Аннотация.** На основе анализа методов формирования технологических процессов (ТП) для производственных систем планирования выпуска изделий в машиностроении, предложен комбинированный метод и разработан алгоритм, позволяющий выполнять разработку сквозных маршрутных технологических процессов изготовления листовых деталей в автоматическом режиме с применением вариативных технологических процессов (ВТП), так и в диалоговом режиме, используя современные системы проектирования ТП. По результатам исследования разработана и внедрена «Автоматизированная система подготовки производства предприятия по выпуску специальных серийных шасси», обеспечивающая проектирование сквозных технологических процессов изготовления листовых деталей машин.

**Ключевые слова:** сквозной маршрутный технологический процесс, автоматический режим, конструкторский состав изделия, система формирования ТП

**Для цитирования:** Толкачев А.Н., Петрешин Д.И. Автоматизация процесса формирования технологических данных для систем планирования производства листовых деталей с использованием вариативных технологических процессов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2026. №1 (31). С. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2026-1-4-11.

Original article

Open Access Article

### **AUTOMATING THE PROCESS OF GENERATING TECHNOLOGICAL DATA FOR PRODUCTION PLANNING SYSTEMS OF SHEET METAL PARTS USING VARIABLE MANUFACTURING PROCESSES**

**Anton N. Tolkachev<sup>1✉</sup>, Dmitry I. Petreshin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Bryansk Automobile Plant, Bryansk, Russia; Scientific and Educational Centre for Air and Space Defence Almaz-Antey named after Academician V.P. Efremov, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> olbio@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4612-4968>

<sup>2</sup> dipetreshin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9472-2167>

**Abstract.** *Based on analysing the methods of forming technological processes (TP) for production planning systems of manufacturing products in mechanical engineering, the authors propose a combined method and develop an algorithm. It allows implementing end-to-end route technological processes for manufacturing sheet metal parts in automatic mode using variable technological processes (VTP), and in dialog mode using modern TP design systems. As a result of the study, the «Automated production preparation system for manufacturing special serial chassis» is developed and implemented, which ensures the design of end-to-end route technological processes for manufacturing sheet metal parts of machines.*

**Keywords:** end-to-end route technological process, automatic mode, product design composition, TP formation system

**For citation:** Tolkachev A.N., Petreshin D.I. Automating the Process of Generating Technological Data for Production Planning Systems of Sheet Metal Parts Using Variable Manufacturing Processes. Automation and modeling in design and management, 2026, no. 1 (31). pp. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2026-1-4-11.

## Введение

Одной из основных проблем для всех отраслей техники – является оперативное формирование себестоимости разрабатываемой продукции, своевременное обеспечение производства материалами и покупными изделиями (ПКИ), расчет дефицита трудовых ресурсов при планировании заказов на производстве. Для решения данных задач необходимо выполнить конструкторско-технологическую подготовку производства изделий (сформировать полный комплект конструкторской и технологической документации, произвести расчет необходимых материалов, ПКИ, выполнить проектирование и изготовление необходимой оснастки для ускорения и удешевления производственного заказа) [3, 4].

В современных условиях рынка предприятиями, получающими заказы, являются те, которые выполняют услуги или производят изделия в поставленный срок, с требуемым качеством продукции и с наименьшей стоимостью. Выполнение данных условий невозможно без использования информационных технологий (ИТ), позволяющих оперативно формировать набор данных для точного определения себестоимости изготовления рассматриваемого заказа, сформировать перечень необходимых материалов и ПКИ, запланировать сроки поставки, спрогнозировать дефицит кадров для выполнения заказа. В связи с длительным процессом подготовки производства новых разрабатываемых изделий, невозможно оперативно спрогнозировать стоимость и сроки выполнения заказов новых изделий. В данном случае расчет всех необходимых данных производится экспертным путем за счет статистики производства аналогичных видов производимой продукции с корректировкой необходимых ресурсов производства и сроков под каждый заказ. Данный метод не точен, не позволяет выполнять оперативное управление производством и зачастую приводит к различным производственным издержкам.

Альтернативным методом планирования заказов на производстве является формирование состава изделия по конструкторским требованиям с последующей технологической подготовкой в информационной системе.

Наибольшей составляющей в трудоёмкости подготовки производства выступают затраты на инженерный труд, связанные с проектированием технологических процессов. Этап проектирования ТП является ключевым звеном всей системы технологической подготовки производства (ТПП), оказывая решающее влияние на сроки освоения новой продукции, ее качество и конкурентоспособность.

Интеграция специализированных информационных систем в процессы технологической подготовки производства приводит к качественному усилению ее воздействия на операционную и стратегическую эффективность машиностроительного предприятия. Оптимизация сквозных инженерных и производственных процессов посредством ИТ способствует ускорению инновационных циклов, снижению себестоимости и повышению качества выпускаемых изделий, что в совокупности является основой для устойчивого конкурентного преимущества производственных предприятий [1, 2].

подавляющее большинство предлагаемых на рынке систем проектирования технологических процессов [5 – 8] основывают свою работу на двух ключевых подходах:

– для стандартных и относительно простых деталей применяется интерактивно-алгоритмический режим. В этом режиме проектировщик взаимодействует с системой, задавая параметры и используя predefined алгоритмы и библиотеки (стандартных операций, оборудования, инструмента). Степень автоматизации здесь может варьироваться – от систем, требующих значительного ручного ввода и контроля, до более продвинутых, автоматизирующих целые фрагменты техпроцесса (например, выбор режимов резания для типовых операций) на основе встроенных правил и расчетов;

– для деталей сложной пространственной конфигурации (корпусных, штампованных, фасонных и т.п.) преобладает диалоговый (интерактивный) режим работы. В этом случае роль системы сводится в основном к предоставлению инструментов (графических редакторов, симуляторов обработки, библиотек сложного инструмента) и выполнению вспомогательных расчетов. Основная нагрузка по принятию решений о последовательности операций, выборе уникальной оснастки, траекториях инструмента ложится на инженера-технолога, что подразумевает очень незначительный уровень автоматизации собственно проектных процедур.

Современные системы формирования сквозных технологических процессов для систем планирования производства позволяют реализовать один из методов проектирования: автоматический, интерактивный, или формирование ТП по аналогичным деталям и сборочным единицам (ДСЕ). Каждый из приведенных методов имеет определенную степень наполнения технологическими данными и по мере увеличения сложности ТП пропорционально затрачивается время инженерного труда на его формирование. Однако важным недостатком данных методов, является существенное затрачивание инженерного труда на формирование операций и проведение аналитики по подбираемым ДСЕ при формировании типовых технологических процессов. Допускается использование нескольких САПР для решения задачи проектирования технологических процессов под различные виды деталей, что нецелесообразно ввиду дороговизны закупки нескольких систем, ведение различных баз данных для поддержания данных систем, а также дополнительное обучение персонала, что в итоге приводит к удорожанию самого процесса проектирования.

Еще одним ограничением является, то что вариант применения одновременно нескольких методов приводит к необходимости применения нескольких САПР на предприятии, что экономически не целесообразно и накладывает дополнительные ограничения: выбор системы для актуализации действующих ТП, дополнительная интеграция с производственной системой, дополнительные требования к квалификации инженерных кадров, ведение синхронизированных баз нормативно-справочной информации (НСИ) под каждую используемую систему формирования сквозных ТП.

Альтернативным способом решения данной проблемы является совершенствование, модернизация и разработка новых методов подготовки технологических данных для информационных систем с последующим применением в производстве.

Все существующие системы проектирования ТП, независимо от реализованных уровней автоматизации, требуют решения нескольких технологических задач, основными из которых является задачи синтеза и анализа [3 – 7].

Метод анализа основан на формировании структуры единичных технологических процессов, который не создается заново, а базируется на технологических процессах на комплексную ДСЕ, или использовании унифицированных технологических процессов. Данный метод широко используется при разработке типовых и групповых технологических процессов (КТП) [9, 10].

Метод синтеза позволяет создать инструментальную систему проектирования ТП из типовых компонентов (технологических действий), описанных множеством свойств, и каждое свойство задано множеством значений, базирующихся на использовании конструкторско-технологических элементов. Данные системы позволят разрабатывать ТП на множество классов деталей, а также проводить оптимизацию разработанных ранее ТП.

В современных условиях частой смены номенклатуры выпускаемых изделий, возникает потребность в механизме, позволяющем автоматически проектировать технологические

процессы по заданным алгоритмам на простые ДСЕ, а инженерный труд использовать в проектировании ТП на сложные и особо ответственные ДСЕ.

### Общее описание процесса автоматического формирования технологических данных

Автоматический метод проектирования базируется на алгоритмах, содержащих технологические решения и условия принятия данных решений в автоматическом режиме. Для реализации данных методов требуется максимально подробное описание входных параметров детали – данные о геометрии (чертеж или 3D модель), дополнительных требований к обработке, получаемых из состава изделия. Автоматическое проектирование ТП возможно только на детали, которые поддаются группировке по схожим конструктивным признакам. При этом возможно формирование на несколько групп деталей с частично схожими конструктивными признаками с использованием одного алгоритма проектирования.

По своей сути экспертом выполняется работа по разработке избыточного ВТП на несуществующую комплексную ДСЕ в классе или в группе схожих по каким-либо признакам классов, включающая в себя наибольший набор отдельных формообразующих элементов ДСЕ и дополнительных конструкторских физико-механических требований к поверхности. Однако ВТП является формализованным алгоритмом подбора описанных операций на указанном оборудовании, профессией и части производственного маршрута для заданного условия, что позволяет формировать сквозные маршрутные технологические процессы в автоматическом режиме, основываясь на постоянно изменяемые конструктором требования к ДСЕ.

Структуру ВТП можно представить посредством массива (рис. 1): УМ – управляющий массив; ГИО – группа избыточных операций; ТО – технологическая операция; ЗТО – замещающая технологическая операция, СО – содержание операции.

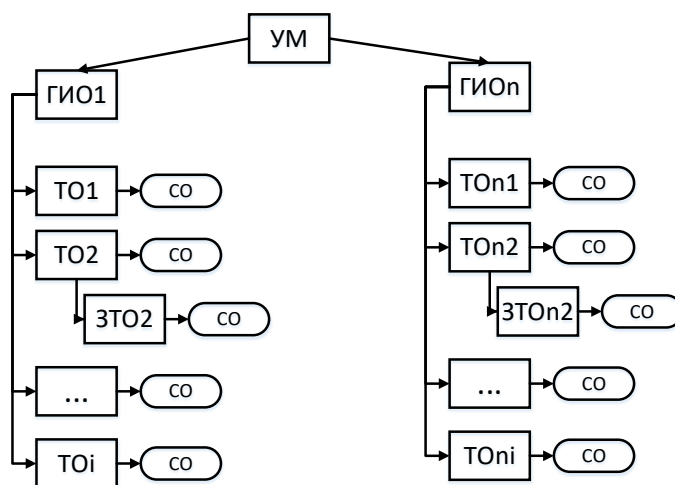


Рис. 1. Типовая структура ВТП  
Fig. 1. Typical VTP structure

Для каждого разрабатываемого ВТП создается собственный управляющий массив. Из структуры выбранного массива происходит формирование единичного ТП со строго упорядоченным набором технологических операций. В управляющий массив включены все возможные технологические операции на комплексные ДСЕ, охватывающие выбранные классы. При этом каждая операция может выступать как постоянная независимо от класса и параметров ДСЕ, так и подбираться в зависимости от заданных условий их назначений. В результате отработки алгоритма формирования ТП происходит подбор технологических операций или операций, замещающих формирующий сквозной единичный технологический процесс для каждой конкретной детали в классе.

Группа избыточных операций (ГИО) представляет собой массив, включаемый при формировании ТП на заданных логических условиях, и содержащий перечень отдельных операций со своим набором технологических данных с условиями подбора.

Замещающие технологические операции (ЗТО) представляют собой массив, выполняющий замену основной технологической операции (ТО) при выполнении заданного логического условия и содержащий собственный набор технологических данных.

Содержание операции (СО) является массивом, в котором задается определенный перечень переходов, входящих в данную операцию с указанными условиями их назначения. Данные переходы могут быть контрольными, технологическими, ненормируемыми или вспомогательными.

Автоматизированные системы, в которых используется автоматический способ формирования технологических процессов, имеют ряд достоинств:

- в алгоритмах и методах возможно учитывать существующую специализацию производственных подразделений;
- для создания методик требуется несколько специалистов с высокой квалификацией в предметной области;
- высокий уровень автоматизация формирования технологических процессов в сравнении с диалоговым методом, используемым при проектировании в САПР системах;
- возможность оперативного формирования маршрута движения ДСЕ в производственных системах, включая материальное нормирование, для более точной оценки себестоимости разрабатываемых изделий в сравнении с экспертным методом.

Однако при деталях сложной конфигурации требуется формирование индивидуальных ВТП, что экономически не целесообразно и требует формирование единичных маршрутных сквозных технологических процессов.

Интерактивный (диалоговый) метод основан на индивидуальном проектировании технологических процессов в современных САПР системах через интерфейсы с использованием диалоговых окон для выбора объектов из разрешённых справочников для наполнения ТП необходимыми технологическими данными.

В целях снижения трудоемкости формирования маршрутных сквозных технологических процессов, необходимых для автоматизированных систем планирования производства, предлагается комбинированный метод, который позволяет использовать технологические процессы, разработанные разными методами в автоматизированных системах, представленный на рис. 2.

Система, в которой будет реализован комбинированный метод формирования сквозных технологических процессов, должна предоставлять пользователю следующий порядок проектирования:

- для ДСЕ, сгруппированных по конструкторским признакам – проектирование в автоматическом режиме на основе конструкторского состава и ВТП;
- для ДСЕ, не поддающихся группировке по конструкторским признакам – проектирование единичных/типовых/групповых сквозных ТП методом диалоговым (интерактивным методом), или формирование ТП по ДСЕ аналогу.

## Результаты

Проектирование комбинированным методом реализовано в системах конструкторско-технологической подготовки производства (*PLM*-система) и системе планирования производства для изделий машиностроения, в которых используются преимущественно детали из листового проката (рис. 3), имеющие общие геометрические параметры. Это позволяет формировать общие алгоритмы обработки деталей проектирования технологических процессов на базе вариативных технологических процессов в автоматическом режиме, учитывая различные особенности предприятия.

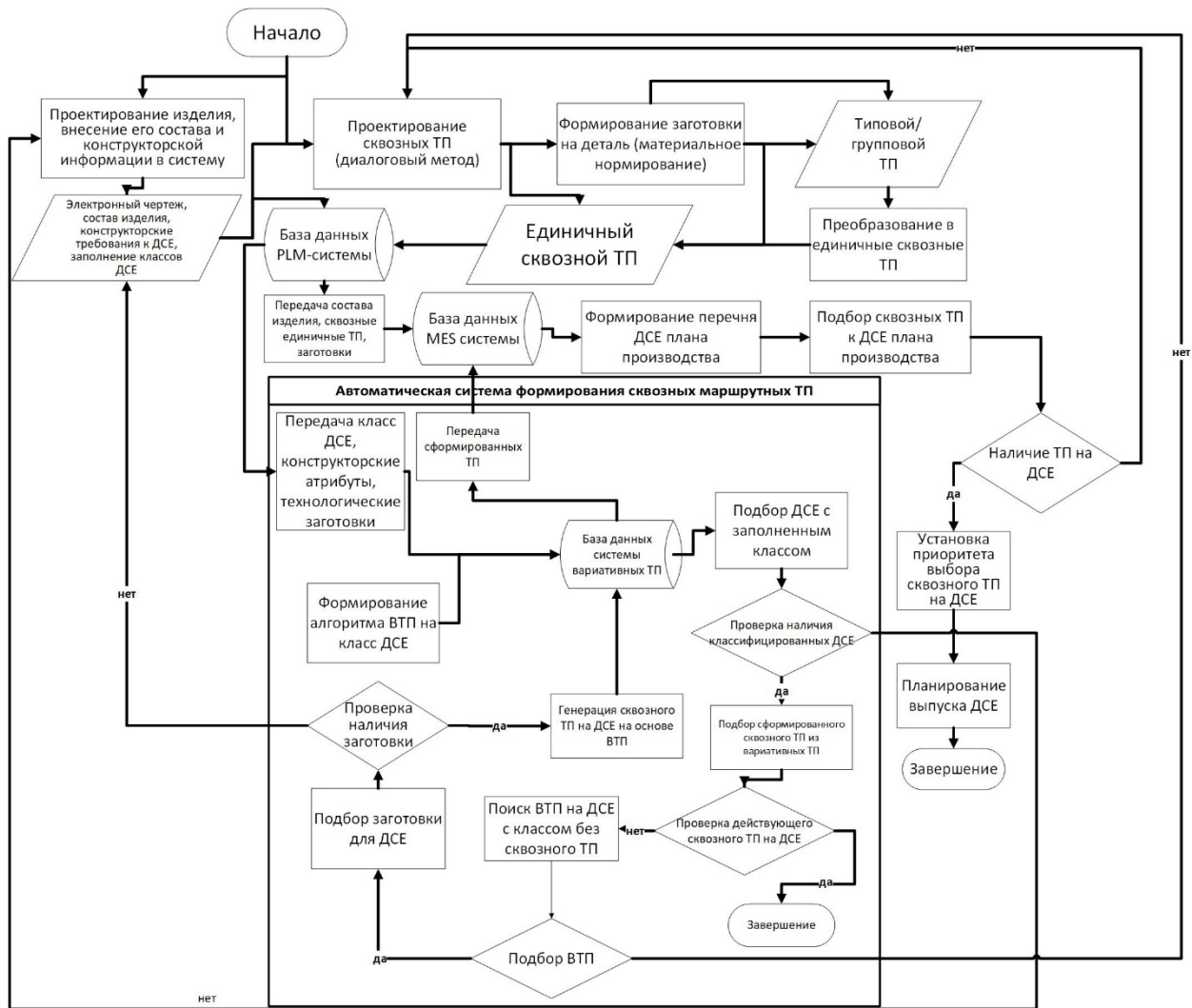


Рис. 2. Блок-схема алгоритма функционирования интегрированной системы формирования сквозных маршрутных ТП с использованием вариативных ТП

Fig. 2. Flowchart of the algorithm for the functioning of an integrated system for generating end-to-end route TP using VTP

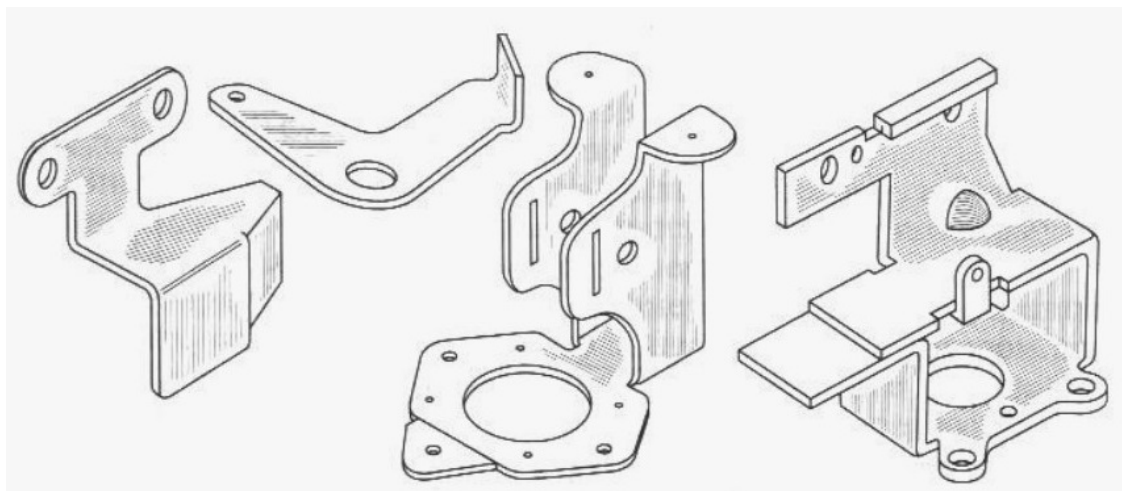


Рис. 3. Примеры листовых деталей машин

Fig. 3. Examples of sheet metal machine parts

С другой стороны, автоматическое проектирование сквозных ТП с достаточным для систем планирования производства набором технологических данных целесообразно осуществить непосредственно в системе конструкторско-технологической подготовки производства как единую базу хранения данных по подготовке. Данная интегрированная система должна выполнять следующие функции:

- возможность формировать сквозные технологические процессы на версии ДСЕ не связанных с разработанными ТП инженером в системах с диалоговым проектированием;
- возможность вносить существенные изменения в автоматически созданные сквозные маршрутные ТП на основании ВТП, используя интегрированные инструменты различных производителей ПО для разработки технологических процессов диалоговым методом (*T/FLEX* Технология, *Vertical* и т.д.);
- создание и ведение единой технологической базы данных, с возможностью обмена с различными информационными системами предприятия;
- возможность формирования технологической документации на технологические процессы, созданные автоматически с использованием ВТП в соответствии с требованиями действующих нормативных документов;
- комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления листовых деталей машин серийных шасси применен при разработке интегрированной системы.

### Заключение

В результате применения системы автоматического формирования сквозных маршрутных технологических процессов изготовления листовых деталей машин установлено, что автоматический метод формирования сквозных ТП на основании вариативных ТП является наиболее производительным, однако данная система эффективна для деталей конкретных классов листовых деталей схожих по конструктивным признакам. Для деталей без указанных классов, или не имеющих схожих групп классов требуется формирование единичных технологических процессов.

Предложен комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов, в котором часть технологических процессов формируется в автоматическом режиме на основании конструкторского состава изделия, технологических заготовок и вариативного технологического процесса, оставшаяся часть методом диалогового проектирования технологических процессов с использованием интегрированной САПР ТП.

Разработан алгоритм функционирования комбинированного метода, использованного при разработке «Системы автоматического формирования сквозных маршрутных технологических процессов листовых деталей серийных шасси на основе вариативного ТП», внедрение которой позволило осуществить сквозное автоматическое проектирование технологических процессов изготовления деталей из листового проката и обеспечило сокращение сроков подготовки производства на 15...20 %.

#### Список источников:

1. Орлик С.В., Костров А.Н. Системы планирования и управления производством класса MES. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 269 с.
2. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management / T.E. Vollmann, W.L. Berry, D.C. Whybark, F.R. Jacobs. – 6th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2017. – 672 p.
3. Акулович Л.М., Шелег В.К. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
4. Хармац И. Компас-Автопроект – технологическая подготовка производства в едином информационном пространстве // САПР и графика. – 2002. – № 9. – С.23–30.

#### References:

1. Orlik S.V., Kostrov A.N. Systems of Planning and Production Management of the MES Class. Moscow: Hot Line – Telecom; 2017.
2. Vollmann TE, Berry WL, Whybark DC, et al. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. 6th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2017.
3. Akulovich L.M., Sheleg V.K. Fundamentals of the Automated Designing of Technological Processes in Mechanical Engineering. Minsk: Novoye znaniye; Moscow: INFRA-M; 2012.
4. Kharmaz I. Compass AutoProject – Technological Preparation of Production in a Single Information Space. SAPR i grafika. 2002;(9):23-30.

5. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области / Н.Н. Попок, Н.В. Беляков, В.И. Ольшанский, Ю.Е. Махаринский и др. // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение, технологии. – 2011. – № 11. – С. 2–11.
6. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И., Бабанин В.С. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства: учеб.-метод. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 136 с.
7. Проектирование технологического процесса механической обработки в САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ: метод. указания / Сост. А.С. Лавров. – Абакан: ФГОУВПО «Сибирский федеральный университет». Хакасский технический институт, 2010. – 49 с.
8. Схиртладзе А.Г., Бочкарев С.В., Лыков А.Н. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. – Пермь: Изд-во Перм. Гос. Техн. Ун-та, 2010. – 505 с.
9. Соколовский А.П. Основы проектирования технологических процессов в машиностроении: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 303 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
5. Popok NN, Belyakov NV, Olshanskiy VI, et al. Computer-Aided Design of Technological Processes for Manufacturing Body Parts at Machine-Building Enterprises in Vitebsk Region. Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences. 2011;(11):2-11.
6. Kulikov D.D., Yablochnikov E.I., Babanin V.S. Intellectual Software Complexes for Technical and Technological Preparation of Production. Saint Petersburg: SPbGU ITMO; 2011.
7. Lavrov A.S. Designing the Machining Process in CAD CAM Vertical. Abakan: Siberian Federal University. Khakass Technical Institute; 2010.
8. Skhirtladze A.G., Bochkarev S.V., Lykov A.N. Automation of Technological Processes in Mechanical Engineering. Perm: Publishing House of Perm State Technical University; 2010.
9. Sokolovskiy A.P. Fundamentals of Designing Technological Processes in Mechanical Engineering. 2nd ed. Moscow: Visshaya shkola; 1988.
10. Anurev V.I. Mechanical Designer's Manual. 9th ed. Moscow: Mashinostroyeniye; 2006; vol. 1.

#### **Информация об авторах:**

##### **Толкачев Антон Николаевич**

Брянский автомобильный завод, Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» им. академика В.П. Ефремова», ORCID 0009-0002-4612-4968.

##### **Петрешин Дмитрий Иванович**

доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, ORCID 0000-0001-9472-2167.

#### **Information about the authors:**

##### **Tolkachev Anton Nikolaevich**

Bryansk Automobile Plant, Scientific and Educational Centre for Air and Space Defence Almaz-Antey named after Academician V.P. Efremov, ORCID: 0009-0002-4612-4968.

##### **Petreshin Dmitry Ivanovich**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, ORCID: 0000-0001-9472-2167.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 28.12.2025; одобрена после рецензирования 15.01.2026; принята к публикации 01.02.2026.**

**The article was submitted 28.12.2025; approved after reviewing 15.01.2026; accepted for publication 01.02.2026.**

**Рецензент** – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.