

Научная статья

УДК 621.7:658.12

doi: 10.30987/2223-4608-2024-16-23

### Совершенствование принципов автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки

Сергей Геннадьевич Митин<sup>1</sup>, д.т.н.

Пётр Юрьевич Бочкарёв<sup>2</sup>, д.т.н.

<sup>1, 2</sup> Камышинский технологический институт – филиал Волгоградского государственного технического университета, Камышин, Россия

<sup>2</sup> Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

<sup>1</sup> ser\_gen@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6709-0424>

<sup>2</sup> bpy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>

**Аннотация.** Рассмотрены научные принципы совершенствования системы автоматизированного планирования технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих производств. Проведено исследование современных подходов к автоматизации проектирования и реализации технологических процессов с учётом производственной ситуации. Обосновано использование системы автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов, т. к. в её методические основы заложена возможность взаимодействия в реальном времени между подсистемами проектирования и реализации технологических процессов, где ключевое место занимает база данных по технологическим возможностям оборудования и технологической оснастки. Показана взаимосвязь системы автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов с подсистемами оценки производственной технологичности, мониторинга состояния технологического оборудования, контрольно-измерительных процедур и сборки. Представлен принцип проектирования многономенклатурных технологических процессов, которые генерируются для заданной номенклатуры деталей с учётом состояния и возможностей производственной системы. Предложено использовать величину совокупного времени изготовления заданной номенклатуры деталей в качестве обобщённого критерия эффективности производственной системы. Описана методика ранжирования проектных процедур по степени влияния принятых решений на обобщённый критерий эффективности производственной системы. Описана модель на основе генетических алгоритмов, позволяющая системе автоматически подстраиваться под изменяющиеся в процессе проектирования условия. В результате повышается эффективность технологической подготовки многономенклатурного производства за счёт рационального распределения технологических операций механической обработки деталей на существующие производственные мощности. Развитие работы направлено на повышение уровня автоматизации проектирования технологических процессов и получения обратной связи о текущем состоянии производственной системы.

**Ключевые слова:** технологическая подготовка производства, автоматизация проектирования, многономенклатурные технологические процессы, САПР ТП

**Для цитирования:** Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю. Совершенствование принципов автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 1 (151). С. 16–22. doi: 10.30987/2223-4608-2024-16-22

### The development of computer-aided planning principles for multiproduct machining processes

Sergey G. Mitin<sup>1</sup>, D. Eng.

Peter Yu. Bochkarev<sup>2</sup>, D. Eng.

<sup>1, 2</sup> Kamyshsky Technological Institute- branch of Volgograd State University Technical University, Kamyshin, Russia

<sup>2</sup> Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup> ser\_gen@inbox.ru

<sup>2</sup> bpy@mail.ru

***Abstract.** The scientific principles of improving the system of automated planning of technical processes in the conditions of multiproduct machining industries are viewed. The study of modern approaches to automation of design and implementation of machining processes taking into account the production situation, is carried out. The use of the system of automated planning of multiproduct machining processes is justified, because its basic procedure includes a possibility of real-time interaction between subsystems design and implementation of technical processes, where the key place is occupied by a database on the technological capabilities of equipment and tooling. The interrelation of the system of automated planning of multiproduct machining processes with subsystems for assessing production manufacturability, monitoring technological equipment state, control and measuring procedures and assembly, is shown. The principle of designing multiproduct machining processes, generated for a given range of parts, taking into account the condition and capabilities of the production system, is presented. It is proposed to use the value of the total manufacturing time of a given range of parts as a generalized criterion for the efficiency of the production system. Ranking technique of design procedures according to the degree of influence of the decisions made on the generalized criterion of efficiency of the production system, is described. A model, based on genetic algorithms, is characterized, allowing the system being automatically adjusted to the conditions, changing during the design process. As a result, the efficiency of technological preparation of diversified production increases due to the rational distribution of manufacturing process for machining operation of parts to existing production facilities. The development of the work is aimed at increasing the level of design automation of machining processes and obtaining feedback on the current state of the production system.*

**Keywords:** process design, design automation, multiproduct machining processes, CAD

**For citation:** Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. The development of computer-aided planning principles for multiproduct machining processes / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 1 (151). P. 16–22. doi: 10.30987/2223-4608-2024-16-22

## Введение

Современное машиностроительное производство является быстро развивающейся и постоянно меняющейся системой. Использование нового многофункционального или модернизация существующего оборудования, постоянное изменение производственного задания как по типам изготавливаемых изделий, так и по их объёмам и срокам, обуславливает необходимость разработки новых технологических процессов (ТП) механообработки. В результате современные производственные системы сочетают в себе признаки различных традиционных типов производства, что дало возможность сформулировать понятие многономенклатурного производства [1].

В многономенклатурных производственных системах ужесточаются требования к сокращению сроков технологической подготовки производства (ТПП), при этом возрастает сложность технологического проектирования, поскольку уже при проектировании ТП механообработки необходимо учитывать складывающиеся производственные условия. То есть необходимо создание системы автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП), способной быстро адаптироваться к изменениям производственной ситуации.

В работе [2] проанализировано состояние развития современных систем автоматизированного проектирования (САПР), исследована возможность их применения для решения задач ТПП, сделан вывод о необходимости цифровизации информационного обеспечения для поддержания актуальности справочных данных.

Структура и механизм функционирования цифровых производственных систем представлены в работе [3]. Там же описана

система адаптивного управления технологическими операциями, предложен коэффициент общей эффективности оборудования, позволяющий оценить технико-экономическую эффективность технологии механической обработки.

О необходимости решения проблемы повышения достоверности сведений о функциональных возможностях технологических методов на основе использования адаптивных самообучающихся технологических систем говорится в работе [4]. Авторы разрабатывают математические модели и алгоритмы для построения автоматизированных систем управления параметрами качества поверхностей и эксплуатационными свойствами деталей машин во время механической обработки.

Решению основной задачи управления ТПП в нестационарных условиях подготовки и режимах эксплуатации оборудования, характерных для гибких производственных систем посвящена работа [5]. Автор предлагает алгоритм и программный комплекс автоматизации ТПП, который позволяет спрогнозировать на этапе проектирования такие управляющие параметры, которые позволят в процессе производства выполнить заданные технические условия на показатели качества системы.

Обобщая вышеизложенное, обозначим в качестве цели настоящего исследования необходимость совершенствования принципов создания САПлТП, направленных на возможность взаимодействия подсистемы проектирования ТП с подсистемой реализации ТП в реальном времени и рационального распределения формируемых многономенклатурных технологических процессов на имеющиеся производственные мощности.

### Методы исследования

Для достижения поставленной цели были проанализированы современные подходы и разработки в области автоматизации ТПП.

Авторами работы [6] описана разработка автоматизированной системы планирования производства, включающей базу данных технологической оснастки, автоматизированную разработку технологической документации и расчёта режимов обработки деталей. Разработанная система обеспечивает параллельную работу нескольких пользователей и даёт необходимую информацию о местоположении и состоянии завершенности каждой детали, собирает информацию о фактическом времени изготовления детали, формирует задание на разработку управляющих программ, однако не решает ряд творческих задач, например, формирование рациональной структуры технологической операции.

В работе [7] предлагается методическое и информационное обеспечение для поддержки принятия технологических решений на основе формирования подмножеств альтернативного технологического оборудования, что позволяет перераспределять реализацию технологических операций в производственной системе, сокращая время освоения прогрессивных технологий на машиностроительных предприятиях.

Методы создания автоматизированных систем ТПП различаются в зависимости от видов и уровней специализации производственных систем [8]. Условиям многономенклатурного производства соответствует проблема организации специализированных производств изделий второй группы (элементов, узлов, деталей изделий, удовлетворяющих потребности человека) ввиду отсутствия полноценной информации об их конструктивном разнообразии и частоты

применения. Для решения проблемы изделия второй группы разделяются на модули функциональные технологические (МФТ) и модули функциональные обслуживающие (МФО) и создаются базы данных. В результате технология изготовления формируется на основе поиска соответствий в базах данных МФТ и МФО.

Другим перспективным методом создания автоматизированных систем проектирования и управления производством является применение искусственного интеллекта, который позволит автоматизировать трудно поддающиеся формализации творческие задачи [9]. Современное состояние развития технологий больших данных позволяет использовать нейронные сети для проектирования ТП и машинное зрение для получения обратной связи при реализации ТП. Однако первоначальное обучение нейронных сетей потребует значительных усилий, материальных и временных затрат.

Наиболее перспективным и удовлетворяющим цели исследования подходом является разработка системы автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки (САПлМТП) (рис. 1). САПлМТП представляет собой многоуровневую иерархическую систему, состоящую из страты проектирования ТП и страты реализации ТП. На страте проектирования ТП формируется множество вариантов технологических операций, которые составляют многономенклатурный ТП. На страте реализации обеспечивается взаимодействие с производственной системой для получения обратной связи, в результате чего страта проектирования получает управляющее воздействие для рационального распределения технологических операций и потоков заготовок по конкретным представителям технологического оборудования.

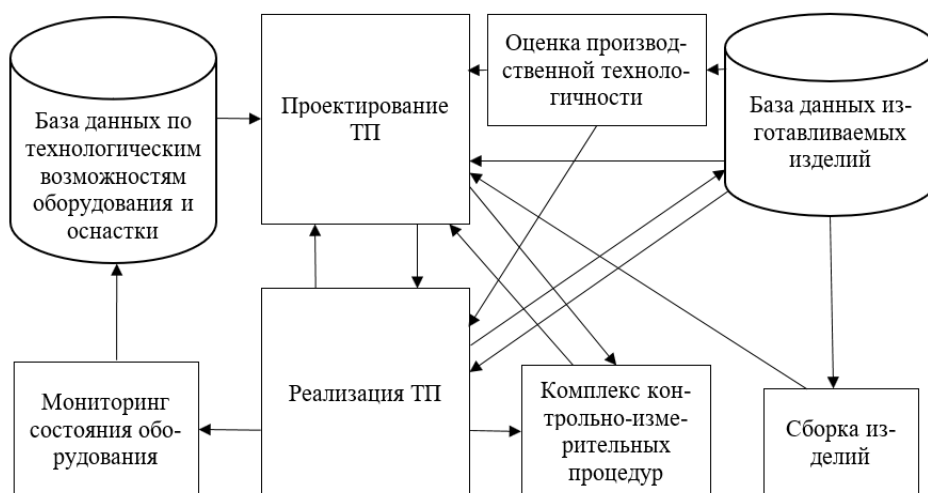


Рис. 1. Укрупнённая схема САПлМТП

Fig. 1. The enlarged scheme of the SAPIMTP

Вместе с тем САПлМТП должна обеспечивать эффективное функционирование конкретной производственной системы в целом. Поэтому в работе [10] затрагиваются вопросы разработки дополнительных показателей производственной технологичности, для определения возможности изготовления конструктивных элементов деталей известными в настоящее время технологическими методами с применением имеющегося в рамках конкретной производственной системы оборудования и оснастки и определения эффективности изготовления деталей в условиях реально складывающейся производственной ситуации. В работе [11] рассмотрена методика выявления критичных требований к сборке высокоточных приборов и машин, что позволяет эффективно проводить разбиение изделия на структурные элементы и сформировать рациональные ТП с учётом требований к сборке. В работе [12] показана возможность совершенствования ТПП с применением комплекса контрольно-измерительных процедур для учёта состояния технологического оборудования, оснастки и средств технологического контроля, что позволяет минимизировать временные и материальные затраты проектного этапа.

В системах автоматизированного планирования технологических процессов принята иерархия проектных решений, в соответствии с которой выделены два проектных блока по разработке маршрутных и операционных ТП. В ходе работ по созданию подсистем проектирования технологических операций разработаны структурные модели, определены входные и выходные данные, внешние факторы, влияющие на процесс проектирования, информационные взаимодействия с другими элементами и подсистемами САПлМТП [13 – 15]. Каждый блок состоит из ряда проектных процедур, каждая проектная процедура состоит из слоёв генерации возможных вариантов, отсева нерациональных вариантов, выбора рациональных вариантов решения проектных задач (рис. 2). Такой принцип даёт возможность оперативно реагировать на изменения в производственной ситуации, поскольку имеется возможность выбора наиболее подходящих вариантов из уже сгенерированного множества возможных.

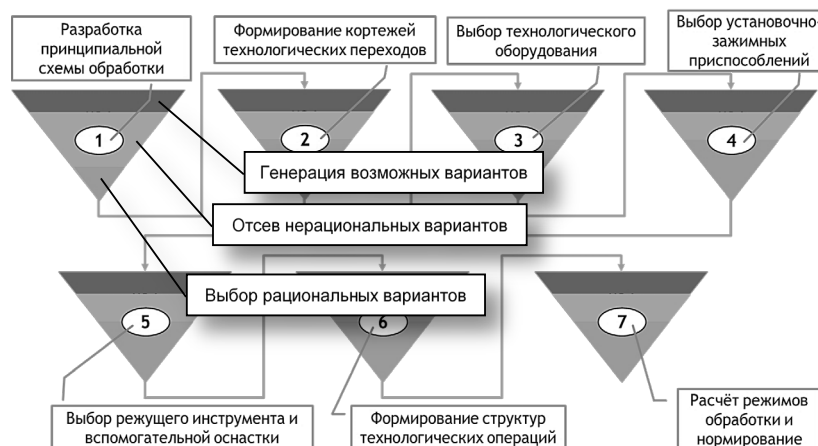


Рис. 2. Структура проектных процедур в САПлМТП

Fig. 2. The structure of design procedures in the SAPIMTP

Наличие в САПлМТП совокупности проектных процедур, в каждой из которых формируется множество возможных вариантов проектных решений, обуславливает необходимость выбора рациональных вариантов для складывающейся ситуации в конкретной производственной системе. В связи с этим появляется задача обоснования и разработки критериев оценки эффективности проектных решений, которая осложняется тем, что для конкретной производственной ситуации уровень

эффективности по каждому критерию будет различаться. Решения на слоях отсева принимаются по средним значениям показателей, рассчитанных в соответствии с определёнными в каждой проектной процедуре критериями. При этом не учитывается влияние на ранних этапах проектирования на последующие проектные процедуры и имеется вероятность отсева вариантов решений, которые впоследствии могли бы существенно повысить эффективность ТПП.

### Результаты исследования

Анализируя критерии в процедурах отсева нерациональных и выбора рациональных вариантов, приходим к выводу, что в них преобладают количественные критерии, большинство из которых прямо или косвенно связаны с временем непосредственно механической обработки или временем реализации технологической операции. Следовательно, в качестве обобщённого критерия эффективности (ОКЭ) принятых решений при ТПП целесообразно использовать суммарное время обработки заданной номенклатуры деталей, поскольку именно от времени, затрачиваемого на реализацию технологических операций механообработки, зависит себестоимость изготовления [16].

Варьируя значения показателей отсева в каждой проектной процедуре и анализируя изменения по ОКЭ, появляется возможность определения рациональных уровней отсева. Однако осуществление полного перебора значений показателей отсева не представляется возможным из-за ограничений по срокам ТПП. Поэтому разработан подход, который позволяет решить задачу поиска рациональных уровней отсева в кратчайшие сроки.

В первую очередь производится оценка значимости проектных процедур. Заданный срок ТПП распределяется между проектными процедурами пропорционально влиянию на время изготовления всей номенклатуры деталей. Затем определяются рациональные уровни отсева в каждой проектной процедуре. Чем выше значимость, тем более тщательный анализ при выборе вариантов проектных решений. В результате повышается эффективность системы механообработки (сокращается суммарное время изготовления заданной номенклатуры деталей).

Значимость той или иной проектной процедуры оценивается в условных долях временных затрат от заданного срока ТПП. Для более значимых проектных процедур на этапах отсева установлены менее жёсткие условия, чтобы оставалось большее количество альтернативных вариантов для процедур поиска рациональных вариантов. Чем выше уровень отсева, тем больше вариантов остаётся после отсева. Минимально допустимый уровень отсева должен обеспечить наличие вариантов проектных решений, которые позволяют обработать заданную номенклатуру деталей.

Задача ранжирования проектных процедур относится к классу задач на анализ

чувствительности функции с несколькими аргументами. Для оценки значимости проектной процедуры необходимо рассчитать и сравнить значения ОКЭ при различных уровнях отсева в данной проектной процедуре и неизменных уровнях в остальных процедурах. Для вычисления рангов проектных процедур необходимо смоделировать работу САПЛМТП с различным содержимым множеств уровней отсева.

В результате ранжирования проектных процедур появляется возможность более тщательного анализа наиболее значимых из них. Однако определение конкретных пороговых значений критериев отсева требует создания математической модели, исключающей субъективность. В современной научной литературе, в том числе связанной с технологическим проектированием, для решения подобных задач применяются генетические алгоритмы. Этот аппарат позволяет видоизменить задачу полного перебора путём случайного подбора, комбинирования и вариации параметров подобно естественному отбору. В качестве гена выступает значение показателя отсева для каждой проектной процедуры. Хромосома представляет собой множество, состоящее из генов в соответствии с количеством проектных процедур САПЛМТП. Исходная популяция формируется из случайных наборов значений показателей в каждой проектной процедуре. Чем выше значимость проектной процедуры, тем более многочисленная популяция. После запуска механизмов скрещивания и мутаций определяются искомые значения показателей отсева.

Выполнение процедур ранжирования и определения рациональных уровней отсева для полной номенклатуры деталей вызовет значительные затраты времени, выходящие за рамки сроков ТПП. Поэтому предлагается сформировать обобщённую номенклатуру обрабатываемых деталей, для которой можно провести моделирование работы САПЛМТП, а затем, получив рациональные уровни отсева, произвести реальное проектирование для заданной номенклатуры деталей.

Для формирования обобщённой статистически обработанной номенклатуры деталей в развитие принципов унификации и типизации, заложенных в работах Соколовского А.П., Митрофанова С.П., Базрова Б.М. и др. предложен подход с использованием

кластерного анализа. Обрабатываемые детали разбиваются на элементарные обрабатываемые поверхности, информация заносится в базу данных САПлМТП, запускается алгоритм кластерного анализа, по результатам которого формируются группы. Из каждой группы выбирается деталь-представитель и формируется обобщённая номенклатура обрабатываемых деталей, на основе которой производится моделирование работы системы проектирования и подбираются рациональные параметры генетического алгоритма. После этого с полученными параметрами осуществляется реальное проектирование для всей заданной номенклатуры деталей с зафиксированными рациональными уровнями отсева.

### Заключение

Проведённое исследование позволило обосновать использование САПлМТП для повышения эффективности современных многономенклатурных механообрабатывающих производственных систем.

Совокупность обоснованных и разработанных моделей, методик и алгоритмов приводят к совершенствованию теоретических основ создания САПлМТП, благодаря возможности автоматизированной оценки и выбора рациональных вариантов проектных решений для складывающейся производственной ситуации.

Дальнейшее развитие исследования должно быть направлено на повышение уровня автоматизации в рамках САПлМТП путём автоматической настройки уровней отсева и выбора рациональных вариантов решений в условиях конкретной производственной системы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Шарапов С.Н., Зайцев А.В.** Определение понятия многономенклатурного производства // Справочник. Инженерный журнал. 2019. № 6(267). С. 37–42. DOI 10.14489/hb.2019.06.pp.037-042. EDN FGZPLD.
2. **Чигиринский Ю.Л.** Современное состояние и тенденции развития технологической подготовки машиностроительного производства // Научные технологии в машиностроении. 2020. № 8 (110). С. 29–35. DOI 10.30987/2223-4608-2020-8-29-35. EDN YUQPUL.
3. **Ингеманссон А.Р.** Цифровая производственная система для механообрабатывающего производства: структура, функционирование, программный производственно-технологический комплекс и анализ технико-экономической эффективности // Научные технологии в машиностроении. 2020. № 11 (113). С. 30–39. DOI 10.30987/2223-4608-2020-11-30-39. EDN GNDDRO.

4. **Суслов А.Г., Петрешин Д.И., Федонин О.Н., Хандожко В.А.** Автоматизация управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин при обработке резанием // Научные технологии в машиностроении. 2019. № 8(98). С. 28–36 DOI 10.30987/article\_5d2635cb62fb56.07245294. EDN RFSXJZ.

5. **Иванов В. К.** К решению основной задачи управления технологической подготовкой машиностроительного производства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 2. С. 73–78. DOI 10.25686/2542-114X.2021.2.73. EDN OLCXCN.

6. **Терехов М.В., Зайкин В.С., Аверченков А.В.** Повышение эффективности производства на основе разработки автоматизированной системы планирования производства // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2021. № 2(12). С. 49–57. DOI 10.30987/2658-6436-2021-2-49-57. EDN BQMRMX.

7. **Долгов В.А., Луцук С.В., Подкидышев А.А.** Информационная поддержка процессов освоения прогрессивных технологий на машиностроительных предприятиях // Вестник машиностроения. 2019. № 11. С. 57–61. EDN TRTXQW.

8. **Базров Б.М.** Специализация машиностроительного производства // Научные технологии в машиностроении. 2023. № 8(146). С. 43–48. DOI 10.30987/2223-4608-2023-43-48. EDN BQFSIM.

9. **Михалев О.Н., Янюшкин А.С.** Метод применения искусственного интеллекта в системах автоматизированного проектирования и управления производством // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2022. № 4 (78). С. 249–255. DOI 10.34771/UZCEPU.2022.78.4.049. EDN SWSYME.

10. **Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю., Бокова Л.Г.** Автоматизация оценки производственной технологичности изделий в условиях многономенклатурных производственных систем // Научные технологии в машиностроении. 2014. № 9 (39). С. 44–48. EDN STBXAN.

11. **Назарьев А.В., Бочкарёв П.Ю., Митин С.Г.** Формализация стратегии выявления критичных требований к сборке при проведении технологической подготовки многономенклатурных машиностроительных производств // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 10(136). С. 42–48. DOI 10.30987/2223-4608-2022-10-42-48. EDN BOTHWO.

12. **Решетникова Е.П., Бочкарёв П.Ю.** Принципы формирования комплекса контрольно-измерительных процедур в системе автоматизированного планирования производства // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 11 (137). С. 25–31. DOI 10.30987/2223-4608-2022-11-25-31. EDN KRWWJP.

13. **Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю.** Формирование методического обеспечения автоматизированной подсистемы проектирования операций фрезерной обработки // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 1 (7). С. 32–39. EDN OPBMJD.

14. **Разманова Т.И., Митин С. Г.** Разработка модели и основные этапы создания системы проектирования технологических процессов для оборудования сверлильной группы // Главный механик. 2015. № 4. С. 38–42. EDN TYMJQJ.

15. **Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю.** Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной

структурой // Автоматизация в промышленности. 2018. № 2. С. 45–51. EDN XMZGST.

16. Разманов И.А., Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю. Повышение эффективности технологической подготовки многономенклатурного производства на основе разработки системы показателей для оценки уровня проектных решений // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 9 (204). С. 132–134. EDN ZFMCDH.

### REFERENCES

1. Sharapov S.N., Zaitsev A.V. Definition of the concept of diversified production // Handbook. Engineering magazine, 2019, No. 6(267), pp. 37–42. DOI 10.14489/hb.2019.06.pp.037-042. EDN FGZPLD

2. Chigirinsky Yu.L. The current state and trends in the development of technological preparation of machine-building production // Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2020, No. 8 (110), pp. 29–35. DOI 10.30987/2223-4608-2020-8-29-35. EDN YUQPUL.

3. Ingemansson A.R. Digital production system for mechanical engineering industry: structure, functioning, software production and technological complex and analysis of technical and economic efficiency // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2020, No. 11 (113), pp. 30–39. DOI 10.30987/2223-4608-2020-11-30-39. EDN GNDDRO.

4. Suslov A.G., Petreshin D.I., Fedonin O.N., Khandozhko V.A. Automation of control of the surface layer quality parameters and operational properties of machine parts during cutting processing // Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2019, No. 8(98), pp. 28–36. DOI 10.30987/article\_5d2635cb62fb56.07245294. EDN RFSXJZ.

5. Ivanov V. K. Solving the main task of process design management for machine-building production // Bulletin of the Volga State Technological University. A run of: Materials. Constructions. Technologies, 2021, No. 2. pp. 73–78. DOI 10.25686/2542-114X.2021.2.73. EDN OLKCXN.

6. Terekhov M.V., Zaikin V.S., Averbchenkov A.V. Improving production efficiency based on the development of an automated production planning system // Automatization and modeling in design and management, 2021, No. 2(12). pp. 49–57. DOI 10.30987/2658-6436-2021-2-49-57. EDN BQMRMX.

7. Dolgov V.A., Lutsyuk S.V., Podkidyshev A.A. Information support for the development of advanced technologies at machine-building enterprises // Bulletin of Mechanical Engineering, 2019, No. 11. pp. 57–61. EDN TRTXQW.

8. Bazrov B.M. Specialization of production in mechanical engineering // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2023, No. 8(146), pp. 43–48. DOI 10.30987/2223-4608-2023-43-48. EDN BQFSIM.

9. Mikhalev O.N., Yanushkin A.S. Method of applying artificial intelligence in computer-aided design and production management systems // Scientific notes of the Crimean Engineering Pedagogical University, 2022, No. 4(78). pp. 249–255. DOI 10.34771/UZCEPU.2022.78.4.049. EDN SWSYME.

10. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu., Bobkova L.G. Automation of manufacturability assessment of products in conditions of multiproduct manufacturing systems // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2014, No. 9 (39). pp. 44–48. EDN STBXAN.

11. Nazariyev A.V., Bochkarev P.Yu., Mitin S.G. Formal characterization of the strategy for identifying critical assembly requirements when staging multipart machinery productions // Science-intensive technologies in machine building, 2022, No. 10(136), pp. 42–48.

12. Reshetnikova E.P., Bochkarev P.Yu. Developing models for planning characterization of the measuring – and-control procedures in automated design systems of production // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2022, No. 11 (137), pp. 25–31. DOI 10.30987/2223-4608-2022-11-25-31. EDN KRWWJP.

13. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Formation of methodology for the automated subsystem when designing milling operations // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2012, No. 1 (7). pp. 32–39. EDN OPBMJD.

14. Rakhmanova T.I., Mitin S.G. Development of the model and the main stages of development a process design system for drilling equipment // Glavnyi mekhanik, 2015, No. 4, pp. 38–42. EDN TYMJQJ

15. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Development of models and methods of automation of design procedures for designing technological operations with a complex structure // Automation in industry, 2018, No. 2, pp. 45–51. EDN XMZGST

16. Razmanov I.A., Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Improving the efficiency of technological preparation of diversified production based on the development of a system of indicators to assess the level of design solutions // Proceedings of the Volgograd State Technical University, 2017, No. 9 (204), pp. 132–134. EDN ZFMCDH.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.10.2023; одобрена после рецензирования 19.10.2023; принята к публикации 02.11.2023.

The article was submitted 02.10.2023; approved after reviewing 27.10.2023; assepted for publication 02.11.2023.