

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №12 (150). С.30-36.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №12 (150). P.30-36.

Научная статья
УДК 621.9
doi: 10.30987/2223-4608-2023-30-36

Повышение качества технологической подготовки механообрабатывающих производств на основе расширенного анализа конструктивных характеристик деталей

**Петр Юрьевич Бочкарев¹, д.т.н.
Евгения Павловна Решетникова², к.т.н.**

^{1,2} Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский
государственный технический университет», Камышин, Россия

¹ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии инженерии
имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

¹ bpy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>

² purpose22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8682-964X>

Аннотация. Представлен методический подход к формированию и описанию данных по конструкторско-технологическим характеристикам деталей при технологической подготовке механообрабатывающих производств, отличием, которого от известных является учет дополнительных сведений, не содержащихся в явном виде в конструкторской документации. В качестве дополнительной информационной составляющей предложено использовать: сведения о взаимовлиянии при обработке одной элементарной поверхности на одну или несколько размерных характеристик других поверхностей; данные о размерных характеристиках каждой элементарной поверхности не представленные на чертежах; предельные отклонения от геометрической формы элементарных поверхностей и взаимном расположении между элементарными поверхностями; сведения о конструкторских базах рассматриваемой детали. Формирование базы данных об обрабатываемых деталях представлено в виде графов, что позволяет использовать широкий спектр математического аппарата при создании формализованных моделей и обеспечивает несложную их адаптацию для использования в существующих системах автоматизированного проектирования. Анализ дополнительных конструкторско-технологических параметров позволяет оценить взаимозависимости размеров и характеристик каждой из поверхностей детали с параметрами других поверхностей, обеспечивая качество принятия решений на этапах технологической подготовки на основе повышения степени достоверности информационных потоков. Полученные результаты расширяют возможности проведения разменного анализа установочных, операционных и межоперационных связей разрабатываемых технологических процессов, повышая уровень автоматизации проектных процедур. Созданные графические модели, направленные на снижение сложности описания проектных действий, расширяют, за счет приближения к традиционному описанию сведений о технологическом оборудовании, возможности учета состояния производственных мощностей механообрабатывающего производства в реальном масштабе времени, и способствуют решению современных вопросов по созданию эффективных машиностроительных комплексов.

Ключевые слова: механообрабатывающие производства, технологическая подготовка производства, конструкторско-технологические характеристики деталей, технологические процессы механообработки, размерные технологические связи, графы технологических процессов, системы автоматизированного проектирования

Для цитирования: Бочкарев П.Ю., Решетникова Е.П. Повышение качества технологической подготовки механообрабатывающих производств на основе расширенного анализа конструктивных характеристик деталей // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 12 (150). С. 30–36. doi: 10.30987/2223-4608-2023-30-36

Work preparation upgrading for machining industries based on an expanded analysis of parts design features

Pyotr Yu. Bochkarev¹, D. Eng.

Evgeniya P. Reshetnikova², Ph.D. Eng.

^{1,2} Kamyshinsky Technological Institute (branch) of the Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹ bpy@mail.ru

² purpose22@mail.ru

Abstract. A methodological approach to the formation and description of data on the design and technological features of parts under technological preparation of machining industries is presented, the difference, if compared to other well-known approaches, lies in recording of additional data that is not explicitly reflected in the reference design. As an additional information component, it is proposed to use: information on the mutual influence of one elementary surface on another or others, i.e. dimensioning specifications of other surfaces; data on the dimensional features of each elementary surface, which is not shown in the drawings; extreme geometric shape deviations for elementary surfaces and also mutual arrangement between elementary surfaces; data on the design bases of the part in question. The formation of a database of machined parts is given graphically, which makes it possible to use a wide range of mathematical tools technique in the creation of formalized models, providing their uncomplicated adaptation for using in existing computer-aided design systems. The analysis of additional design and technological parameters allows assessing the interdependence of the dimensions and characteristics of each of the part surfaces and the parameters of other surfaces, ensuring the quality of decision-making at the stages of technological preparation based on increasing the degree of reliability of information flows. The obtained results expand the possibilities of conducting dimensional analysis of the basic, operational and interoperation connections of the developed technical processes, increasing the level of automation in design procedures. Produced graphical models, aimed at reducing the complexity of design actions outline, are able to expand, due to the approximation to the traditional data specification of technological equipment, the possibility of taking into account the state of production capacities in machining production on a real time scale. They also contribute to the deciding modern issues on effective engineering complexes formation.

Keywords: machining industries, technological preparation of production, design and technological features of parts, technological processes of machining, dimensional and technological relations, graphs of technical processes, CAD (computer-aided design) systems

For citation: Bochkarev P.Yu., Reshetnikova E.P. Work preparation upgrading for machining industries based on an expanded analysis of parts design features / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 12 (150). P. 30–36. doi: 10.30987/2223-4608-2023-30-36

Введение

Разработка технологических процессов (ТП) механообработки является наиболее сложной составляющей в организации производства машиностроительного профиля. Принятие комплекса решений на всех ее этапах связано не только с анализом огромного количества нормативно-справочной информации, но и с необходимостью владения данными о возможностях и состоянии оборудования, средств технологического оснащения, принципах и особенностях функционирования конкретной производственной системы, для реализации которой разрабатывается ТП. В связи с этим, в отличие от других областей деятельности, отсутствует возможность создания проектных групп, обеспечивающих проектирование ТП

для нескольких предприятий, преимущественно средних размеров. Только обладание информацией о состоянии производственных мощностей механообрабатывающего производства в реальном масштабе времени позволяет обеспечить не только эффективное производство, но и саму возможность изготовления заданной номенклатуры деталей. В настоящее время залогом выполнения технологической подготовки механообработки в таких условиях является квалификация и опыт технологов, обладающих необходимыми знаниями применительно к конкретному производству [1 – 3]. Однако факторы субъективизма при принятии ими проектных решений, объективной невозможности обобщить всю необходимую информацию и сделать выбор оптимальных ТП, а также острая кадровая нехватка таких

специалистов, приводит к длительным срокам создания ТП и низким технико-экономическим показателям функционирования предприятий машиностроительного комплекса.

Материалы и методы

Выход из создавшейся ситуации возможен только на основе глубокой формализации и алгоритмизации всего комплекса проектных процедур на этапах технологической подготовки, построенных на принципах не только взаимозависимости между собой, но и с этапами реализации ТП в конкретных производственных условиях [4, 5]. Представлению действий технологов при проектировании ТП в виде моделей и методик, позволяющих создать программное обеспечение, должны предшествовать серьезные исследования по определению и созданию баз используемых данных, включающих обоснование их структур, полноты, точности и правил обновления информационных массивов. В данной статье представлены исследования по развитию информационного сопровождения представления данных об обрабатываемых деталях, предпосылкой которых послужили возникающие сложности при создании системы планирования многономенклатурных технологических процессов.

Парадоксальный вывод можно сделать, проанализировав информационный комплекс, традиционно используемый при формализованном описании или создании цифрового двойника изделия [6 – 8], содержащийся в конструкторском чертеже, и сопоставив их с

данными, которыми на основе этого чертежа владеет технолог. Вывод – технолог «видит больше», возможно это является одной из причин сдерживающей активное создание систем автоматизированного проектирования ТП.

В работе последовательно описаны предложения по насыщению дополнительной информационной составляющей при формировании базы данных об обрабатываемой детали, представленной в виде графов, что на основе применения широкого спектра известных математических аппаратов позволяет создать формализованные модели для использования в системах автоматизированного проектирования.

В качестве наглядности предлагаемого подхода генерации дополнительной информации формируются графы на примере детали «Цанга» (рис. 1). Сформированные графы размерных связей между элементарными поверхностями детали «Цанга» с указанием взаимосвязанных: размерными характеристиками поверхностей; размерными характеристиками элементарных поверхностей; предельными отклонениями от геометрической формы элементарных поверхностей; взаимном расположении элементарных поверхностей; конструкторских базах, представлены на рис. 2 – 6, где каждой элементарной поверхности присвоен порядковый номер и указан тип поверхности в соответствии с классификатором [4, 9] в системе планирования многономенклатурных технологических процессов (в кружках).

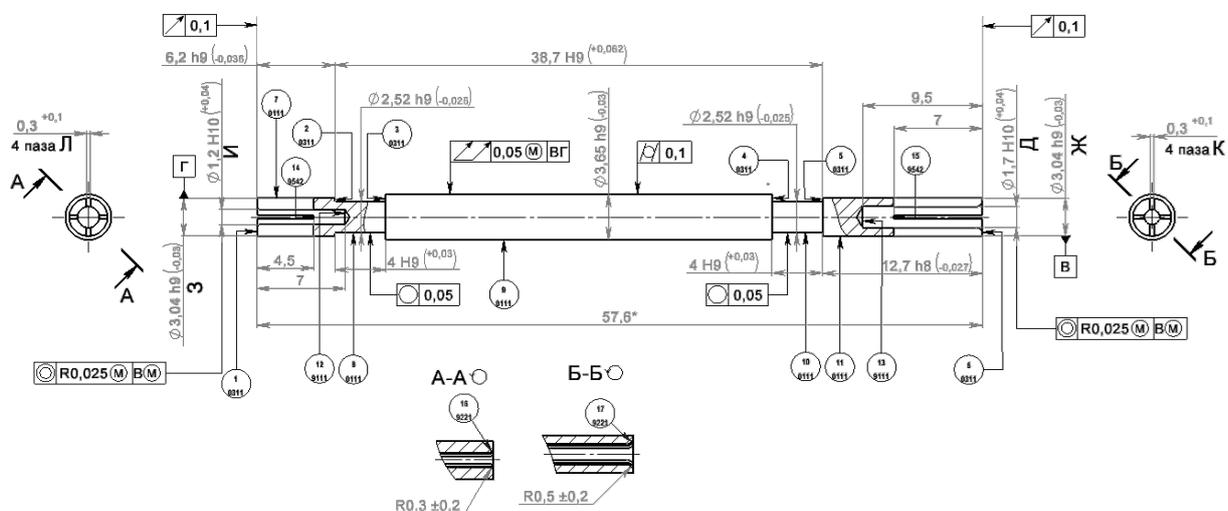


Рис. 1. Деталь «Цанга»

Fig. 1. Part «Tsanga»

Первыми в качестве дополнительной информации предлагается рассмотреть сведения о взаимовлиянии при обработке одной элементарной поверхности на одну или несколько размерных характеристик других поверхностей. Отсутствие данной взаимосвязи приводит не только к неопределенности в вопросах, связанных с формированием структуры маршрутных и операционных ТП, схем базирования, но и проведением оценки размерной точности проектируемых ТП [10, 11]. Графическим обозначением такого взаимовлияния является контакт между кружками, представляющими элементарные поверхности (рис. 2).

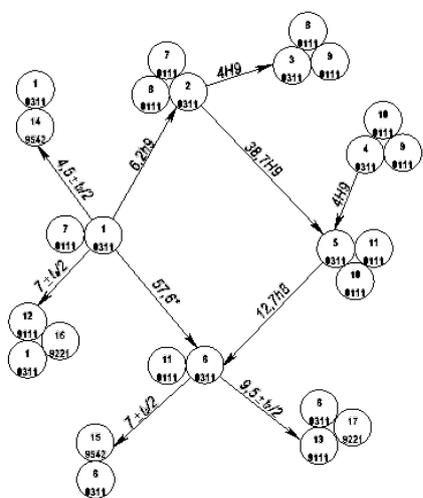


Рис. 2. Граф размерных связей между элементарными поверхностями детали «Цанга» с указанием взаимосвязанных размерных характеристик поверхностей

Fig. 2. Graph of dimensional relations between the elementary surfaces of the part «Tsanga», indicating the interrelated sizing features of the surfaces

В качестве следующей дополнительной информации, которой насыщается показанный на рис.1 граф, предлагается использовать данные о размерных характеристиках каждой элементарной поверхности в соответствии с их классификацией (код поверхности), представленные (рис. 3, а) и непредставленные (рис. 3, б) на конструкторском чертеже. Данная информация получается на основе пересчета размеров, представленных на конструкторском чертеже, и используется практически на всех этапах разработки ТП. Для поверхностей, имеющих ось вращения, на граф заносится соответствующая информация. Пересчет размеров и насыщение графа этой дополнительной информацией не представляется сложным и

при наличии конструкторского чертежа в электронном виде может быть выполнено в автоматизированном режиме.

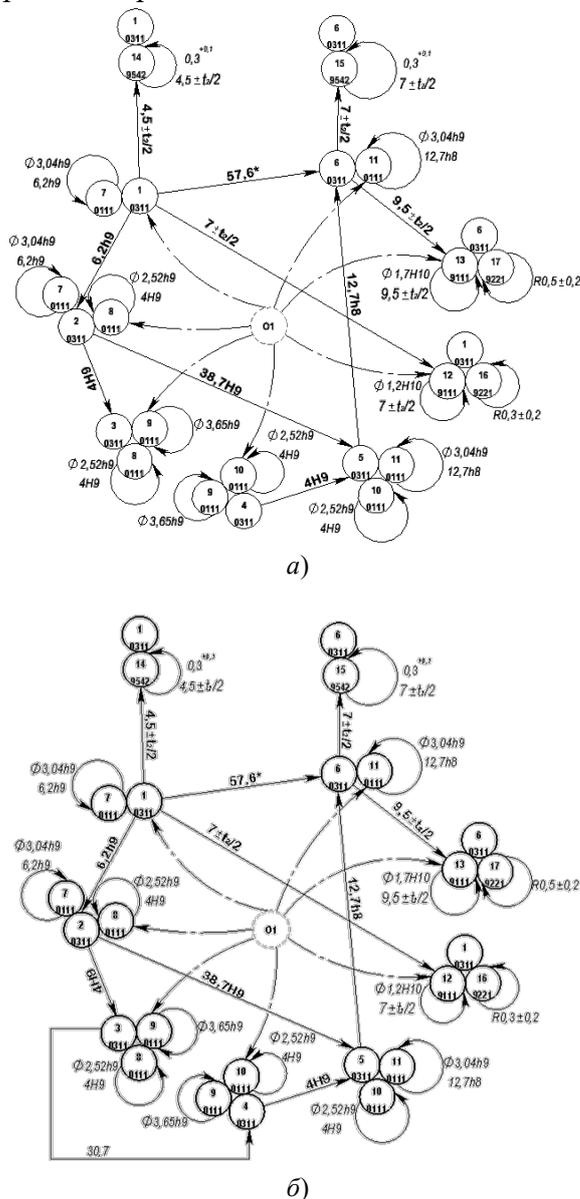


Рис. 3. Граф размерных связей между элементарными поверхностями детали «Цанга», насыщенный размерными характеристиками элементарных поверхностей: а – обозначенными на конструкторском чертеже; б – дополненные

Fig. 3. Graph of dimensional relations between the elementary surfaces of the part «Tsanga», indicating the interrelated sizing features of the surfaces, sizing features of elementary surfaces
 а – indicated in the design drawing; б – complemented

Представленный на рис. 3 граф насыщается требованиями, обозначенными на конструкторском чертеже, которые связаны с предельными отклонениями от геометрической формы

элементарных поверхностей (рис. 4) и взаимном расположении между элементарными поверхностями (рис. 5), что позволяет сформировать представление о конструктивных особенностях детали, как единой взаимосвязанной требованиями конструктора модели.

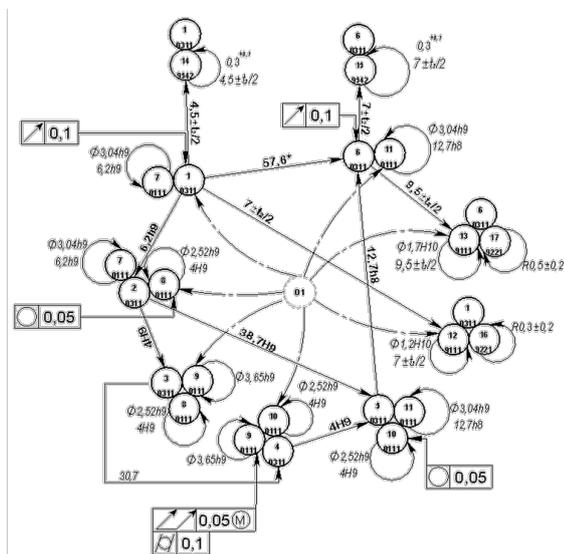


Рис. 4. Граф размерных связей между элементарными поверхностями детали «Цанга», насыщенный значениями предельных отклонений от геометрической формы элементарных поверхностей

Fig. 4. Graph of dimensional relations between elementary surfaces of the part «Tsanga», saturated with the values of maximum deviations from the geometric shape of elementary surfaces

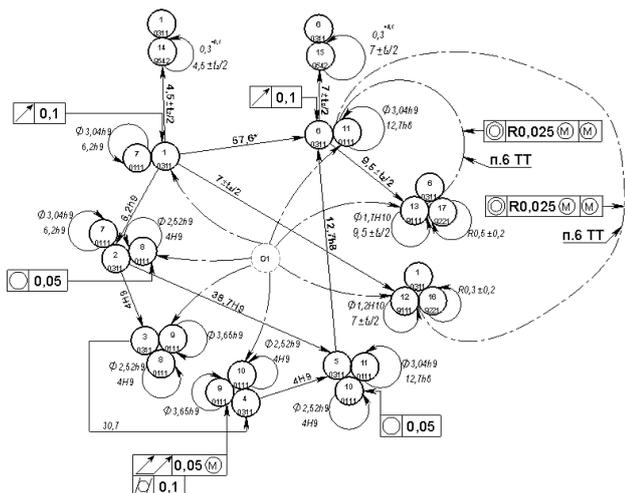


Рис. 5. Граф размерных связей между элементарными поверхностями детали «Цанга», насыщенный характеристикой взаимного расположения элементарных поверхностей

Fig. 5. Graph of dimensional relations between elementary surfaces of the part «Tsanga», saturated with characteristics of the relative position of the elementary surfaces

Другая важная информация, имеющая определяющее влияние при выборе технологических баз и обеспечения требований к степени относительной точности пространственных расположений элементарных поверхностей, содержится в сведениях о конструкторских базах рассматриваемой детали. Руководствоваться принципами единства и постоянства баз, а также реализации требований размерных взаимосвязей между поверхностями невозможно без наличия этих данных. На создаваемом графе предложено поверхности, являющиеся основными конструкторскими базами выделять «утолщенной» линией кружков, вспомогательными конструкторскими базами – «пунктирной» линией (рис. 6).

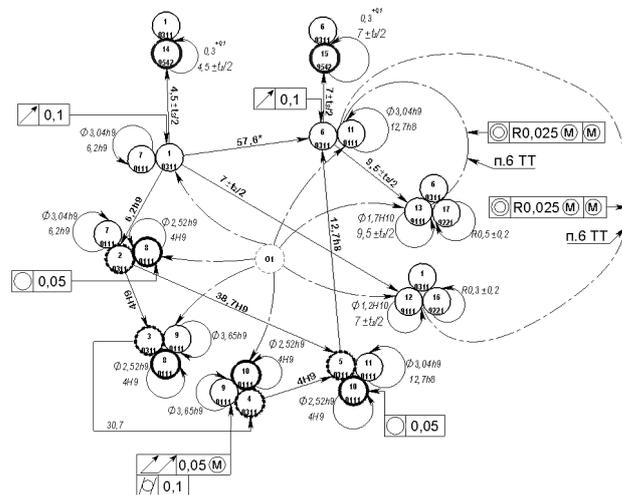


Рис. 6. Граф размерных связей между элементарными поверхностями детали «Цанга», насыщенный информацией о конструкторских базах детали

Fig. 6. Graph of dimensional relations between elementary surfaces of the part «Tsanga», rich information about design databases of parts

Описанное представление информации, содержащееся в конструкторском чертеже детали, сборочном чертеже как в форме значений и условных обозначений, так и в неявном виде, упорядочивает проведение проектного этапа анализа характеристик детали и отличается наглядностью. Это облегчает установление взаимосвязей конструкторско-технологических признаков поверхностей деталей с возможностью выполнения дальнейшей технологической подготовки производства с учетом возможностей конкретной производственной системы.

Результаты и обсуждение

Представленный метод анализа конструкторско-технологических параметров поверхностей изготавливаемых деталей обеспечивает в полном объеме формализованный учет взаимозависимости и взаимообусловленности значений их отдельных конкретных размеров и характеристик между собой. Представление дополнительных данных повышает уровень автоматизации и достоверности информационных потоков, качества технологической подготовки производства и проектирования интеллектуальной производственной системы.

Разработка рационального ТП является залогом повышения эффективности всего производственного процесса механообрабатывающих производств за счет сокращения временных и материальных ресурсов производства. Без поддержания активного курса на создание систем автоматизированного проектирования, способных адаптировать производственную систему к непрерывно изменяющимся производственным условиям и объектам производства, реализация ее невозможна. Представленные в статье результаты позволяют совершенствовать модели размерного анализа установочных, операционных и межоперационных связей, создаваемых ТП, исключая ошибки в их построении и устраняя препятствия к автоматизации проектных процедур такого рода.

Выводы

Методический подход, заключающийся в насыщении дополнительными сведениями по конструктивно-технологическим характеристикам обрабатываемых деталей систем автоматизированного проектирования, позволяет сформировать информационные процессы, обладающие недостающими скрытыми и неявными данными, владение которыми относились исключительно к компетенциям технологов на основе их знаний и опыта. Созданные графические модели пригодны и универсальны для использования их в существующих системах автоматизации механообрабатывающих производств, способствуют трансформации основ и концептуальных принципов технологической подготовки производства в развитии актуальных современных вопросов повышения

эффективности машиностроительных комплексов, направленных на их интеллектуализацию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Справочник технолога** / под общей ред. А.Г. Сулова. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
2. **Базров Б.М.** Базис технологической подготовки машиностроительного производства: монография. М.: КУРС, 2023. 324 с.
3. **Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.М., Кондаков А.И.** Направленное формирование свойств изделий машиностроения /под ред. А.И. Кондакова. – М.: Машиностроение, 2005. 352с.
4. **Бочкарёв П. Ю.** Системное представление планирования технологических процессов механообработки // *Технология машиностроения*. 2002. № 1. С. 10–14.
5. **Чигиринский Ю.Л., Крайнев Д.В., Фролов Е.М.** Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка, производство, прослеживание // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. 2022. № 8 (134). С. 39–48.
6. **Ингеманссон А.Р.** Основные положения методологии технологической подготовки производства и адаптивного управления в цифровых производственных системах для механической обработки // *Известия волгоградского государственного технического университета*. 2021. № 1 (248). С. 15–18.
7. **He В., Bai К. J.** Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review // *Adv. Manuf.* 2021. Vol. 9. P. 1–21.
8. **Tao F., Zhang M.** Digital twin shop-floor: a new shopfloor paradigm towards smart manufacturing // *IEEE Access*. 2018. Vol.5. P. 20418–20427.
9. **Решетникова Е.П., Бочкарев П.Ю.** Концепция группирования деталей механообрабатывающих производств при формировании рационального маршрута технологического процесса их изготовления // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. 2021. № 3 (117). С. 19–25.
10. **Chakraborty S., Chowdhury R.** Graph-theoretic-approach-assisted Gaussian Process for Nonlinear Stochastic Dynamic Analysis Under Generalized Loading // *Journal of Engineering Mechanics*. 2019. Vol. 145. № 12. P. 04019105.
11. **Решетникова Е.П., Бочкарев П.Ю.** Принципы формирования комплекса контрольно-измерительных процедур в системе автоматизированного планирования производства // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. 2022. № 11 (137). С. 25–31.

REFERENCES

1. The technologist's handbook under the general editorship of Suslov, A.G. Moscow. Innovative Mechanical Engineering, 2019, 800 p.
2. Bazrov B.M. Basis of technological preparation of machine-building production: monograph. Moscow: COURSE, 2023, 324 p.
3. Vasiliev A.S., Dalsky A.M., Zolotarevsky Yu.M., Kondakov A.I. Directed formation of properties of machine-building products /ed. by A.I. Kondakova. Moscow: Mashinostroenie, 2005, 352p.
4. Bochkarev P.Yu. System representation of planning technological machining process // *Technologiya mashinostroeniya*, 2002, No. 1, pp. 10–14
5. Chigirinsky Yu.L., Krainev D.V., Frolov E.M. Digitalization of machine-building production: technological preparation, production, tracking // *Science intensive technologies in mechanical engineering*, 2022, No. 8 (134), pp. 39–48.
6. Ingemansson A.R. Basic framework of concept for technological preparation of production and adaptive management in digital production systems for machining operation // *Bulletin of Volgograd State Technical University*, 2021, No. 1 (248), pp. 15–18.
7. He B., Bai K.J. Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review // *Adv. Manuf.* 2021. Vol. 9. P. 1–21.
8. Tao F., Zhang M. Digital twin shop-floor: a new shop floor paradigm towards smart manufacturing // *IEEE Access*. 2018. Vol. 5. P. 20418–20427.
9. Reshetnikova E.P., Bochkarev P.Yu. Parts grouping concept of machining production at efficient route formation of engineering process of their manufacturing// *Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2021, No. 3 (117), pp. 19–25.
10. Chakraborty S., Chowdhury R. Graph-theoretic-approach-assisted Gaussian Process for Nonlinear Stochastic Dynamic Analysis Under Generalized Loading // *Journal of Engineering Mechanics*. 2019. Vol. 145, No. 12. P. 04019105.
11. Reshetnikova E.P., Bochkarev P.Yu. Developing models for planning characterization of the measuring - and-control's procedures for technical process of machinery production // *Science intensive technologies in mechanical engineering*, 2022, No. 11 (137), pp. 25–31.

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 27.09.2023; одобрена после рецензирования 13.10.2023; принята к публикации 27.10.2023.

The article was submitted 27.09.2023; approved after reviewing 13.10.2023; assepted for publication 27.10.2023.