



Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 8 (158). С. 41-48.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 8 (158). P. 41-48.

Научная статья
УДК 621.9
doi: 10.30987/2223-4608-2024-41-48

Технологические составляющие цифровизации производственного процесса на машиностроительном предприятии

Александр Рональдович Ингеманссон, д.т.н.
«Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»,
Волгоград, Россия
aleing@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7963-393X>

***Аннотация.** Рассмотрены аспекты цифровизации производственного процесса на машиностроительном предприятии, связанные с технологической подготовкой производства и управлением технологическими процессами механической обработки резанием. Приведен обзор направлений повышения эффективности машиностроительного производства за счет внедрения цифровых технологий. Показана связь с целевыми ориентирами государственной промышленной и инновационной политики, а также с программами развития ведущих научных и промышленных корпораций страны. Приведено содержание понятия цифровая производственная система. Подчеркнута значимость наличия массива полной и достоверной технологической информации для автоматизации управления производственным процессом на машиностроительном предприятии. Показана необходимость совершенствования технологической подготовки механообрабатывающих производств при внедрении цифровых производственных систем, а также управления процессом резания с целью обеспечения стабильности и качества. Работа в данном направлении позволяет сформировать условия для организационной, информационной и технической совместимости деятельности по технологической подготовке производства, проводимой различными исполнителями, реализовать оперативную взаимосвязь стадий постановки на производство и изготовления изделий и обеспечить стабильность технологических процессов механической обработки. Сформулированы принципы технологической подготовки производства при внедрении цифровых производственных систем. Показано, что использование цифровых технологий при функционировании технологической системы позволяет обеспечить стабильную работоспособность режущих инструментов, а также качество изготавливаемых деталей в условиях стохастического и нестационарного характера процессов механической обработки, что обеспечивает рост значений комплексных показателей надежности и эффективности использования технологических систем. Указаны проблемы и направления перспективного совершенствования цифровизации производственного процесса на машиностроительном предприятии.*

Ключевые слова: производственный процесс, технологическая подготовка, технологический процесс, цифровизация, технологическая система, стабильность, надежность

Для цитирования: Ингеманссон А.Р. Технологические составляющие цифровизации производственного процесса на машиностроительном предприятии // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 8 (158). С. 41–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-41-48

Technological components of the production process digitalization at a machine-building enterprise

Alexander R. Ingemansson, D. Eng.

Federal Research and Production Center «Titan-Barricades», Volgograd, Russia
aleing@yandex.ru

Abstract. Digitalization aspects of the production process at a machine-building enterprise related to production design and control for machining operation in the cutting process, are viewed. The review of ways for machine-building production upgrading through the introduction of digital technologies, is given. The connection with the targets of the state industrial and innovation policy, as well as with the development programs of the country's leading scientific and industrial corporations, is shown. The content of the concept of a digital production system is given. The importance of having an array of complete and reliable technological information for the production process control automation at a machine-building enterprise is emphasized. The necessity of the upgrading in planning for machining industries connected with the introduction of digital production systems, as well as cutting process control for stability and quality is shown. Work in this direction makes it possible to create conditions for organizational, informational and technical compatibility of the activities aimed at the operational analysis, carried out by various performers, to implement interaction of all the stages for launching into manufacture and production work and to ensure the stability of flow processes in the machining operation. The principles of operational analysis in the implementation of digital production systems, are formulated. It is shown that the use of digital technologies in the operation of the technological system delivers stable operation of cutting tools, as well as the quality of manufactured products in conditions of stochastic and non-stationary nature of machining operation, providing an increase in the values of versatility indicators for reliability and technological systems utilization efficiency. The problems and directions of promising digitalization upgrading for the production process at a machine-building enterprise, are specified.

Keywords: production process, operational analysis, flow process, digitalization, industrial process system, stability, reliability

For citation: Ingemansson A.R. Technological components of the production process digitalization at a machine-building enterprise / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 8 (158). P. 41–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-41-48

Актуальность проблемы

Наращивание эффективности производства машиностроительной продукции за счет углубления применения цифровых технологий [1] осуществляется по следующим главным направлениям:

– уменьшение издержек при изготовлении благодаря применению новейших информационных технологий в конструкторско-технологической подготовке производства и управлении предприятием;

– уменьшение периода времени от разработки до завершения постановки изделия на производство;

– рост уровня автоматизации и гибкости производства и формирование условий для успешного применения безлюдной технологии;

– увеличение оперативности формирования и объективности информации, отражающей протекание производственного процесса;

– совершенствование процессов эксплуатации и обслуживания инженерной

инфраструктуры предприятия и средств технологического оснащения путем оперативной оценки данных об их состоянии. Адаптивное управление технологическими процессами;

– совершенствование менеджмента качества на предприятии путем оценки оперативной информации, аккумулируемой на стадиях входного контроля, запуска в производство, изготовления, операционного и приемочного контроля машиностроительной продукции.

Обеспечение конкурентоспособности в этой области находит отражение при реализации государственной промышленной и инновационной политики.

Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» в пункте 20 содержит информацию о том, что в ближайшие 10...15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать те направления, которые позволят получить

научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке, и обеспечат в т. ч. переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта [2].

Кроме этого, Указом Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 цифровая трансформация определена одной из ключевых национальных целей развития на период до 2030 г.

Распоряжением №3142-р от 6 ноября 2021 г. Правительством Российской Федерации утверждено «Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности», направленное на повышение эффективности и конкурентоспособности отечественной обрабатывающей промышленности и обеспечение технологической независимости государства, за счет внедрения новых производственных технологий, цифровых инструментов управления конструкторско-технологической подготовкой и производственным процессом на предприятии в целом [3].

Посредством Государственной информационной системы промышленности, Минпромторгом РФ аккумулируются сведения об уровне цифровизации производственных и административных процессов на промышленных предприятиях в виде т. н. «цифровых паспортов».

Проблема внедрения наукоемких производственных и информационно-вычислительных технологий в отечественной промышленности является также предметной областью Плана мероприятий «Технет» Национальной технологической инициативы до 2035 г., утвержденного Председателем Правительства Российской Федерации на заседании Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 14 февраля 2017 г. [4]. Работы в данном направлении

определены в программах развития ведущих научных и промышленных корпораций страны: в «Стратегии цифровой трансформации Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на период до 2025 г. и перспективу до 2030 г.»; в «Программе инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 г. (в гражданской части)», в «Программе инновационного развития Государственной корпорации «Ростех» на период 2019...2025 гг.»; в «Комплексной концепции цифровой трансформации» Объединенной судостроительной корпорации и др.

Внедрение цифровых производственных процессов является средством повышения эффективности ракетно-космической и других отраслей отечественной промышленности. В «Стратегии цифровой трансформации Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на период до 2025 г. и перспективу до 2030 г.» выделяются следующие направления: цифровизация жизненного цикла изделия; цифровая модель производственной системы Корпорации и система межзаводской кооперации; автоматизированные системы оперативного планирования производства, диагностики технологического оборудования и управления качеством выпускаемой продукции. Особую актуальность приобретает необходимость изменений, направленных в сторону цифрового производства, за счет разработки цифровых паспортов деталей и сборочных единиц, применения «цифровых двойников», внедрения отечественных программных и аппаратных средств в области конструкторского и технологического проектирования.

Цифровизация производственного процесса

Цифровая производственная система наделена следующими особенностями.

Производственная система – это система, координируемая особой информационной моделью, обеспечивающей поддержку выполнения технологических процессов и управление этими процессами, с использованием потока информации, материалов и энергии на предприятии-изготовителе [5].

Цифровая технология «сквозная» – часть технологического процесса производства товаров, оказания услуг и выполнения работ, представляющая собой совокупность процессов и методов поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления и распространения информации, обеспечивающих в ходе хозяйственной деятельности по производству товаров, оказанию услуг и выполнению работ [6]:

- увеличение стабильности, производительности, а также других принципиально важных свойств технологических процессов;

- снижение доли отступлений от технических условий на изготовление продукции, в т. ч. машиностроительной;

- уменьшение материальных затрат при изготовлении продукции, в т. ч. машиностроительной.

Поэтому цифровая производственная система является сочетанием логически связанных и управляемых за счет информационных технологий составляющих производственного процесса. При этом систематизированные мероприятия с использованием информационных технологий по технологической подготовке производства и управлению технологическими процессами формируют основу функционирования цифровой производственной системы для безусловной реализации установленных целей и задач.

На практике при подготовке к внедрению на машиностроительных предприятиях ERP-систем [7], функционирующих в контуре всех производственных процессов организации, и MES-систем, ориентированных на процессы в производственных подразделениях, имеет место следующая актуальная проблема. Генерирование производственных расписаний, определение загрузки мощностей, а также решение других задач с применением программного обеспечения требует наличия сформированных данных по технологическим маршрутам, трудоемкости и материалоемкости работ по изготовлению и ремонту. Оперативность технологического проектирования, степень релевантности проектных решений, глубина внедрения и возможности применяемых САПР ТПП на

машиностроительном предприятии непосредственно влияют на эффективность формирования базы данных, содержащей информацию о пооперационной трудоемкости.

В целом внедрение цифровых технологий является неотъемлемым инструментом реализации PLM-систем и CALS-технологий, объединяющих отдельные участки автоматизации в едином информационном пространстве и реализующие сквозной конструкторский, технологический и коммерческий циклы, от подготовки проекта до утилизации [8]. Целесообразно учитывать положения ГОСТ Р ИСО 9004-2019, согласно которым следует изучать как существующие, так и формирующиеся технологические разработки, которые могут оказывать значительное воздействие на деятельность организации в процессах, связанных с предоставлением продукции и услуг, на маркетинг, конкурентное преимущество, адаптивность и взаимосвязи с заинтересованными сторонами, а организации должны внедрять процессы для выявления технологических разработок и инноваций [9].

Цифровизация технологической подготовки производства и технологических процессов

Противоречие между стремлением повысить эффективность механообработывающего производства за счет внедрения цифровых производственных систем, с одной стороны, и недостаток в комплексных знаниях о связях между элементами таких систем, фрагментарное использование их возможностей, в т. ч. для повышения совместимости стадий технологической подготовки производства и изготовления изделий, с другой стороны, порождает проблемную ситуацию, требующую решения. Противоречие усугубляется сохранением стохастического и нестационарного характера процессов механической обработки резанием.

Внедрение принципов по совершенствованию технологической подготовки механообработывающих производств при внедрении цифровых производственных систем, а также управления процессом резания с целью обеспечения стабильности и качества является актуальной

научно-практической задачей. Ее решение позволяет сформировать условия для организационной, информационной и технической совместимости работ по технологической подготовке производства, проводимых различными исполнителями, реализовать оперативную взаимосвязь стадий постановки на производство и изготовления изделий и обеспечить стабильность технологических процессов механической обработки.

Современным является подход по совершенствованию технологической подготовки и управления процессом резания на основе использования комплекса цифровой информации о фактических свойствах элементов технологической системы на стадии технологической подготовки производства.

Следует отметить, например, что увеличение коэффициента сохранения требуемой производительности технологической системы может быть достигнуто за счет использования оценки обрабатываемости конкретной заготовки из партии по значению фактической твердости для выдачи уточненных режимов резания или установления рациональных пределов варьирования режимов резания, основываясь на результатах предшествующей вибродиагностики узлов станка.

Для использования при технологическом проектировании и адаптивном управлении процессом резания с целью обеспечения стабильности и качества обработки используются математические зависимости, отражающие закономерности формирования функциональных – сила резания и выходных – геометрическая точность, шероховатость обработанной поверхности – параметров процессов обработки резанием.

Практическую значимость представляет не только адаптивное управление процессом резания на конкретном рабочем месте, но и за счет программных производственно-технологических комплексов для цифровых производственных систем воплощение принципов «цифрового технологического двойника детали» посредством генерации электронного массива технологических и учетных данных, однозначно определяющих конкретную деталь в выборке и

характеризующих технологический процесс ее производства. Подобный подход позволяет реализовать условия для совместимости работ по технологической подготовке производства, проводимых различными исполнителями, а также обеспечить оперативную взаимосвязь стадий постановки на производство и изготовления изделий.

Для операций сборки изделий машиностроения, а также для проведения технического обслуживания и ремонтных работ начинают внедряться интерактивные инструкции. Они позволяют, опираясь на трехмерную модель сборочной единицы, получать доступ к технологической и эксплуатационной документации в электронном виде, что сокращает временные затраты на технологическую подготовку производства и обучение персонала.

Таким образом, требуется отметить, что отличительные черты технологической подготовки производства при использовании цифровых производственных систем, состоят в следующем:

- цифровая обработка комплексной информации о фактических параметрах технологической системы;
- обеспечение совместимости работ, проводимых на стадиях постановки изделий на производство различными исполнителями, на основе использования цифровой технологической информации;
- обеспечение стабильности технологических процессов механической обработки за счет адаптивного управления цифровой технологической системой с учетом возмущающих факторов;
- обеспечение единства, постоянной обновляемости, достоверности и оперативности доступа к цифровой информации, определяющей ход технологического процесса.

Технологическая система как часть производственной системы является совокупностью функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов и операций [ГОСТ 27.004 «Надежность в технике.

Системы технологические. Термины и определения»].

Таким образом, уменьшение управляющих воздействий человека-оператора благодаря внедрению информационных технологий представляет собой принципиальное свойство цифровой технологической системы, которая, в свою очередь, является частью цифровой производственной системы.

Согласно [10] комплексные показатели надежности и эффективности использования технологических систем, следующие: коэффициент сохранения производительности технологической системы; коэффициент использования технологической системы; коэффициент выхода годной продукции для технологической системы; коэффициент расхода каждого вида материальных ресурсов. Необходимо обратить внимание на то, что первые три коэффициента, отражающие надежность и эффективность использования технологических систем, определяют содержание расчетного коэффициента общей эффективности использования оборудования ОЕЕ [11], который находит широкое применение как в отечественной, так и в зарубежной практике.

Увеличение значения коэффициента технического использования технологического оборудования для механической и термической обработки достигается путем внедрения систем мониторинга работы оборудования (MDC-систем). На сегодняшний день аналогичные решения применяются для гальвано-химического, сварочного производств и изготовления кабельной и электропультовой продукции.

Потребность в приведении в соответствие расчетных величин режимов резания с характеристиками конкретной технологической системы возникает на этапе обработки деталей и сборочных единиц. Применение стационарных и переустанавливаемых систем вибродиагностики на примере сверлильно-фрезерно-расточного многоцелевого станка с ЧПУ позволяет следующее: производить оценку состояния шпиндельного узла на холостых оборотах с установленными инструментальными наладками и без них; на основе этого определять частоты вращения, на которых не рекомендуется работа по причине возможного присутствия

нестабильности процесса резания; проводить оценку принятых режимов резания в контексте наличия вибраций и их амплитуды, например, по оси Z , что отражается на стабильности микрогеометрии поверхности, геометрической точности детали, ресурсе службы шпинделя, и, кроме этого, проводить анализ уровня синфазности вибраций по осям X и Y , характеризующей равномерность съема стружки (для фрезы – каждым зубом); устанавливать добавочные промежуточные гармоники, приводящие к расширению общей полосы амплитуды спектра вибраций и негативно отражающиеся на стабильности процесса резания; реализовать повышение эффективности технологического процесса путем обеспечения малой амплитуды и синфазности вибраций по осям X и Y , невысокой амплитуды по оси Z при сохранении заданной производительности благодаря выбору рациональных комбинаций скорости резания, подачи, ширины фрезерования.

За счет применения адаптивного управления удастся обеспечить повышение стабильности работы режущих инструментов, а также качество производимых деталей, принимая во внимание стохастический и нестационарный характер процессов механообрабатывающего производства, что для технологических систем способствует росту величин комплексных показателей надежности и эффективности использования.

Направления перспективного совершенствования процесса

Следует выделить проблемы, сопровождающие цифровизацию производственного процесса. Среди них:

– использование различного программного обеспечения CAD/CAM/CAE-систем и др. между интегрированными промышленными структурами и организациями, входящими в одну интегрированную промышленную структуру;

– сложившиеся особенности технологической подготовки, имеющие место в практике конкретного машиностроительного предприятия, зачастую не учитываются или требуют времени для отражения в составе стандартного набора бизнес-процессов

известных автоматизированных систем технологической подготовки производства;

– необходимость комплексного подхода к управлению данными. На сегодняшний день значительные объемы конструкторско-технологической информации обрабатываются локально, без интеграции с другими программными решениями на предприятии;

– необходимость эффективных механизмов имплементации цифровых решений в операционных процессах предприятия, по-настоящему оправдывающих свое внедрение и повышающих эффективность производственного процесса;

– при недостаточной отлаженности внедряемых автоматизированных систем технологической подготовки производства и автоматизированных систем управления производством в случае срочной производственной ситуации имеет место использование заменяемых, «бумажных», но отлаженных процедур, в качестве исключения, которое затем становится системой. В результате вместо отладки автоматизированных систем проблемы решаются за счет постоянных «исключений»;

– необходимость отраслевых рекомендаций по приоритетам и этапам цифровой трансформации с учетом группирования особенностей машиностроительных предприятий;

– необходимость методических рекомендаций для оценки экономической эффективности от внедрения конкретных цифровых решений, для сравнения и оценки целесообразности их внедрения в производственный процесс.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ингеманссон А.Р. Характеристика, состав, механизмы функционирования и современные аспекты внедрения цифровых производственных систем в машиностроение // Научно-технические аспекты технологий в машиностроении. 2018. № 8. С. 25–32.

2. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации № 642 от 1.12.2016 г. Режим доступа: <https://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf>.

3. Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности [Электронный ресурс]: Распоряжение

Правительства Российской Федерации № 3142-р от 6.11.2021 г. Режим доступа: <http://static.government.rumediafilesYu4vXEtPvMyDVAAw88UuBGB3dGEr6r8zP.pdf>.

4. План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы: прил. №1 к протоколу [Электронный ресурс]: Протокол заседания Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России от 14.02.2017г. Режим доступа: <https://www.nti2035.ru/documents/doc.html>.

5. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Профилирование возможности интероперабельности промышленных программных средств. Часть 1. Структура: ГОСТ Р ИСО 16100-1-2012. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартинформ, 2020. 47 с. (Национальный стандарт Российской Федерации).

6. О государственной поддержке программ деятельности лидирующих исследовательских центров, реализуемых российскими организациями в целях обеспечения разработки и реализации дорожных карт развития перспективных «сквозных» цифровых технологий [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Российской Федерации № 551 от 3.05.2019 г. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/121708/>.

7. Чигиринский Ю.Л., Ингеманссон А.Р. Технологические аспекты подготовки цифрового машиностроительного производства // Научно-технические аспекты технологий в машиностроении. 2023. № 9 (147). С. 39–48. DOI 10.30987/2223-4608-2023-39-48. EDN CEFJJK.

8. Разработка технологических процессов изготовления деталей общего и специального машиностроения: учеб. пособие для вузов / И. Ф. Звонцов, К. М. Иванов, П. П. Серебренникий. 3-е изд., стер. СПб: Лань, 2022. 696 с.

9. Руководство по достижению устойчивого успеха организации. Менеджмент качества. Качество организации: ГОСТ Р ИСО 9004-2019. Введ. 01.10.2020. М.: Стандартинформ, 2020. 62 с. (Национальный стандарт Российской Федерации).

10. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения: ГОСТ 27.004-85. Введ. 01.07.86. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 9 с. (Межгосударственный стандарт).

11. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Ключевые технико-экономические показатели (KPIs) для управления производственными операциями. Часть 2. Определения и описания: ГОСТ Р ИСО 22400-2-2019. Введ. 19.09.2019. М.: Стандартинформ, 2019. 67 с. (Национальный стандарт Российской Федерации).

REFERENCES

1. Ingemansson A.R. Characteristics, structure, mechanisms of functioning and modern aspects of digital production system introduction in mechanical engineering // Science-intensive technologies in mechanical engineering.

2018, no. 8, pp. 25–32.

2. On the Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation [Electronic resource]: Decree of the President of the Russian Federation No. 642 dated 12/11/2016. Access mode: <https://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf>.

3. Strategic direction in the field of digital transformation of manufacturing industries [Electronic resource]: Decree of the Government of the Russian Federation No. 3142-r dated 6.11.2021. Access mode: <http://static.government.ru/media/files/Yu4vXEtPvMyDVAw88UuBGB3dGER6r8zP.pdf>.

4. Action plan («roadmap») «Technet» (advanced production technologies) of the National Technological Initiative: supplement no.1 to the record sheet [Electronic resource]: Hearings of the Presidential Council for Economic Modernization and Innovative Development of Russia dated 02/14/2017. Access mode: <https://www.nti2035.ru/documents/doc.html>

5. Industrial automation systems and integration. Profiling the interoperability capabilities of industrial software. Part 1. Structure: GOST R ISO 16100-1-2012. Introduction. 01.01.2014. Moscow: Standartinform, 2020. 47 p. (National Standard of the Russian Federation).

6. On state support for the programs of activities of leading research centers implemented by Russian organizations in order to ensure the development and implementation of roadmaps for the development of

promising «end-to-end» digital technologies [Electronic resource]: Decree of the Government of the Russian Federation No. 551 dated 05/3/2019. Access mode: <http://government.ru/docs/all/121708/>.

7. Chigirinsky Yu.L., Ingemansson A.R. Technological aspects of digitalization of machine-building production at the stage of pre-production engineering process (PEP) // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023, no. 9(147), pp. 39–48. DOI 10.30987/2223-4608-2023-39-48. EDN CEFJJK.

8. Development of technological processes for manufacturing parts of general and special engineering: textbook for universities / I. F. Zvontsov, K. M. Ivanov, P. P. Serebrenitsky. 3rd ed., St. Petersburg: Lan, 2022, 696 p.

9. Quality of an organization. Guidance to achieve sustained success. Quality management system. The quality of the organization: GOST R ISO 9004-2019. Introduction. 01.10.2020. Moscow: Standartinform, 2020. 62 p. (National Standard of the Russian Federation).

10. Reliability in technology. Technological systems. Terms and definitions: GOST 27.004-85. Introduction. 01.07.86. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2002, 9 p. (Interstate standard).

11. Industrial automation systems and integration. Key technical and economic indicators (Kpi) for managing production operations. Part 2. Definitions and descriptions: GOST R ISO 22400-2-2019. Introduction. 09/19/2019. Moscow: Standartinform, 2019. 67 p. (National Standard of the Russian Federation).

Статья поступила в редакцию 30.03.2024; одобрена после рецензирования 05.04.2024; принята к публикации 19.04.2024.

The article was submitted 30.03.2024; approved after reviewing 05.04.2024; assepted for publication 19.04.2024.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Вёрстка Н.А. Лукашов. Редактор Е.В. Лукашова. Технический редактор Н.А. Лукашов.

Сдано в набор 17.08.2024. Выход в свет 30.08.2024.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Брянский государственный технический университет» 241035,

Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

