

## КАЧЕСТВО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В. П. Перевертов<sup>1</sup>, Н. А. Кузин<sup>2</sup>, Н. К. Юрков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия  
<sup>2</sup> Московский автомобильный институт (технический университет), Москва, Россия  
<sup>3</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
<sup>1</sup> vpervertov@yandex.ru, <sup>2</sup> sputnik1985nk3y@mail.ru, <sup>3</sup> yurkov\_NK@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* На основе системного анализа предложен подход формообразования деталей сложной конфигурации. Показано, что комплексное применение традиционных, аддитивных и нанотехнологий формообразования деталей существенно повышает качество формирования поверхностей. Обоснована актуальность развития умных производственных систем. *Материалы и методы.* Показано, что развитие цифровых гибких производственных систем неизбежно сталкивается с внедрением аддитивных технологий, робототехнических комплексов, частично традиционных средств формообразования, что раскрывает перспективы синтеза интеллектуальных систем управления комплексными производственными системами. *Результаты.* Применение порошковых и композиционных материалов, включая наноматериалы, контроль параметров и показателей качества необходимо обеспечивать с помощью интеллектуальных систем управления, основой которых являются современные бесконтактные, быстродействующие высокоточные лазерные и волоконно-оптические датчики. *Выводы.* Развитие интеллектуальных систем управления качеством продукции невозможно без совершенствования систем интеллектуальных датчиков, способных облегчить сбор данных. Подобные датчики должны обладать развитыми интерфейсами и стандартизированными форматами передачи данных.

**Ключевые слова:** качество, деталь, контроль, диагностика, датчики, технологии традиционные, аддитивные (3D-печать), нанотехнологии

**Для цитирования:** Перевертов В. П., Кузин Н. А., Юрков Н. К. Качество формообразования деталей при интеграции гибридных технологий транспортного машиностроения // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 72–80. doi:10.21685/2307-4205-2023-1-9

## QUALITY OF FORMING PARTS IN THE INTEGRATION OF HYBRID TECHNOLOGIES OF TRANSPORT ENGINEERING

V.P. Perevertov<sup>1</sup>, N.A. Kuzin<sup>2</sup>, N.K. Yurkov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Samara State University of Railway Transport, Samara, Russia  
<sup>2</sup> Moscow Road Institute (Technical University), Moscow, Russia  
<sup>3</sup> Penza State University, Penza, Russia  
<sup>1</sup> vpervertov@yandex.ru, <sup>2</sup> sputnik1985nk3y@mail.ru, <sup>3</sup> yurkov\_NK@mail.ru

**Abstract.** *Background.* On the basis of system analysis, an approach is proposed for shaping parts of a complex configuration. It is shown that the complex application of traditional, additive and nanotechnologies for forming parts significantly improves the quality of surface formation. The relevance of the development of smart production systems is substantiated. *Materials and methods.* It is shown that the development of digital flexible production systems inevitably faces the introduction of additive technologies, robotic complexes, and partially traditional shaping tools, which opens up prospects for the synthesis of intelligent control systems for complex production systems. *Results.* The use of powder and composite materials, including nanomaterials, control of parameters and quality indicators must be ensured using intelligent control systems, which are based on modern non-contact, high-speed high-precision laser and fiber-optic sensors. *Conclusions.* The development of intelligent product quality management systems is impossible without the improvement of intelligent sensor systems that can facilitate data collection. Such sensors must have advanced interfaces and standardized data transmission formats.

**Keywords:** quality, detail, control, diagnostics, sensors, traditional technologies, additive (3D-printing), nanotechnology

**For citation:** Perevertov V.P., Kuzin N.A., Yurkov N.K. Quality of forming parts in the integration of hybrid technologies of transport engineering. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2023;(1):72–80. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2023-1-9

Технологии «умных» производственных систем (УПС) эффективно применяются в машиностроении в виде гибких производственных систем (ГПС), которые состоят из трех подсистем: заготовительной обработки, включая обработку материалов давлением (ОМД), литейное, сварочное, переработка пластмасс, порошков и композитов, термическое производство и т.д., окончательной обработки – обработка материалов резанием (ОМР) и сборочной, объединенных единой транспортной и информационно-управляющей системами, интегрально связанной с конструированием и технологией изготовления изделий, что создает условия для взаимного проникновения подсистем и интеграции традиционных, аддитивных и нанотехнологий [1–13].

Аддитивные технологии (АТ) – формообразование детали основывается на послойном наращивании изделия струйным или лазерным способом (концентрированной энергией) по цифровой модели, а выпуск деталей с помощью АТ-объемной цифровой печати (3D-печать) позволяет снизить производственные расходы, так как не требует использования массивных заготовок из металла или пластика и последующего удаления излишков материала с помощью обработки материалов резанием (ОМР) для получения требуемой конфигурации; изготавливать детали любой сложности и применять их в диагностической системе ГПС; снизить массу детали и исключить отходы производства и т.д.

Нанотехнологии – совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала, осуществляемых в процессе производства продукции в нанометровом диапазоне. «Сырьем» являются отдельные атомы, молекулярные системы, а не привычные в традиционной технологии микронные или макроскопические объемы материала. В отличие от традиционной технологии для нанотехнологии характерен «индивидуальный» подход, при котором внешнее управление достигает отдельных атомов и молекул, что позволяет создавать из них как «бездефектные» материалы с принципиально новыми физико-химическими и биологическими свойствами, так и новые классы устройств с нанометровыми размерами [10–13].

Особенности контроля качества в традиционном и аддитивном производствах – контролировать и диагностировать параметры (факторы), которые влияют на качество выходной продукции и надежность оборудования. При производстве деталей с помощью аддитивных технологий (АТ) мы не можем увидеть: качество 3D-печати внутри изделия (качество спекания порошка внутри), а контролируем только наружную поверхность детали и геометрию, потому что после процесса выращивания изделия, а также после различных процессов постобработки (термических, механических и др.) геометрия изделия может меняться, что необходимо учитывать и компенсировать при моделировании САД-модели; входной контроль и диагностика расходных материалов (порошковых композиций); контроль требований к сырью на соответствие реальным значениям.

Одним из основных элементов систем УПС и ГПС, определяющих их технические показатели и эффективность производства, являются быстродействующий исполнительный орган оборудования и датчики (сенсоры) – функциональные преобразователи (ФП) высокой точности и надежности, стабильности и быстродействия, унифицированные, с низкими массогабаритными показателями энергопотребления. Это заставляют искать возможности как конструктивно технологического совершенствования элементов и структурных схем известных ФП, так и создания новых методов их синтеза [4–14].

Применение порошковых, композиционных материалов и гибких технологий на их основе, включая наноматериалы [6–15], параметры которых необходимо контролировать и диагностировать с помощью современных датчиков и устройств, обеспечит качество формообразования деталей. В основе принципов выбора датчиков для технологий и оборудования для его осуществления лежит принцип максимального соответствия требований измерений и возможностей (характеристик) датчика. Адекватный выбор требует априорных знаний как об объекте измерений, так и о датчиках, из которых должен быть сделан выбор, включая интеллектуальные датчики (ИД). Если требуемого соответствия достичь не удастся, то необходимо убедиться, что требования к датчику являются принципиально реализуемыми, а для решения таких задач применять технологию промышленной компьютерной томографии (КТ) – метод восстановления внутренней структуры детали для отработки режимов синтеза технологий: каждое изделие уникально, как и все параметры для его изготовления и подобрать еще до формообразования (выращивания) изделия, чтобы сократить процент брака (негодной продукции) и сэкономить расходный материал.

Для управления сложными системами на основе контроля и диагностики параметров элементов с динамично изменяющимся техническим состоянием нужны распределенные компьютерные системы, способные решать задачи в режиме реального времени на основе применения интеллекту-

альных методов управления, распределенных вычислений и интеллектуальной (адаптивной) обработки информации. Интеллектуальными узлами систем управления являются компьютеры и контроллеры, датчики и исполнительные устройства. Системы сбора и обработки технологической информации требуют применения датчиков, способных выдавать сообщения об уровне сигналов, включении-выключении элементов технологического оборудования – исполнительных рабочих органов. Снижение стоимости микропроцессорных элементов и увеличение их функциональных возможностей, изменение элементной базы электронных устройств обработки сигналов первичных функциональных преобразователей (ФП) связано с появлением нового поколения ИД (рис. 1), которые за счет использования в них переработки информации приобретают новые функциональные возможности. Своим интеллектом датчики обязаны микропроцессорным технологиям, позволяющим устройству «изучать» условия, в которых оно работает. Являясь самообучающейся микропроцессорной системой, такой ИД способен обрабатывать большие объемы информации с высокой скоростью, удобен в установке, прост в настройке и в применении.

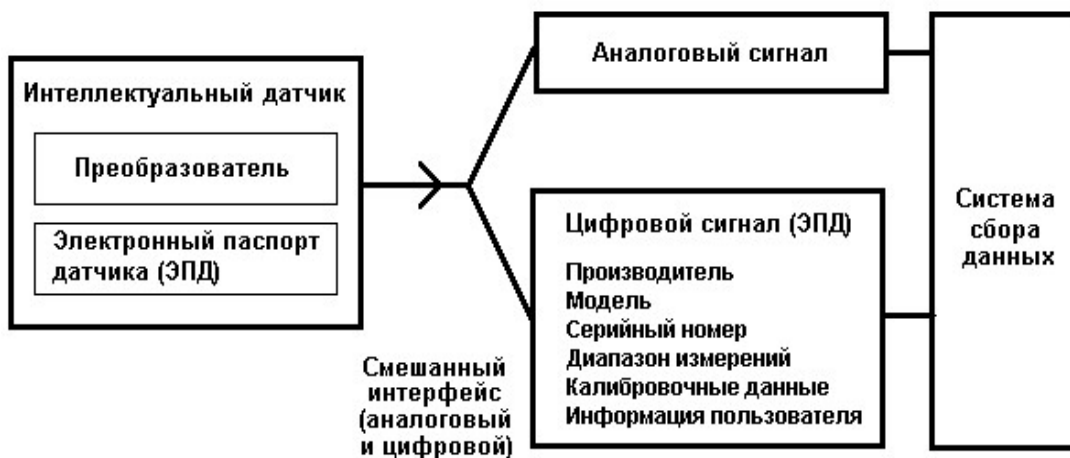


Рис. 1. Смешанный (аналоговый и цифровой) интерфейс интеллектуального датчика

Интеллектуальные датчики (ИД), получая сигнал от первичного ФП (сенсора), занимаются его обработкой и способны делиться информацией с другими интеллектуальными узлами системы автоматизации по цифровым каналам. Общим ИД с обычными датчиками являются небольшие размеры, так как они должны устанавливаться непосредственно на объекте. Место и число обслуживаемых датчиков и исполнительных механизмов в сложных системах управления динамичными объектами, информационно доступных центральной вычислительной системе управления, непрерывно увеличиваются. В информационно-управляющих системах динамичными объектами используются датчики измерения физических величин с различными цифровыми интерфейсами. К ним относятся датчики линейных и угловых перемещений, включая БВК на индуктивном, емкостном, магнитном и ультразвуковом принципах измерения, датчики усилий, давления и механического напряжения, расходомеры жидкости и газов, уровнемеры и датчики измерения объемов, угловых и линейных ускорений, инклинометры химических веществ, включая селективные и фотонные. С целью унификации многообразия датчиков и снижения стоимости регулировки сложными объектами к датчикам предъявляются требования по нормализации и линеаризации выходного сигнала, по унификации (метод кодирования). В результате унификации требований и особенностей эксплуатации систем управления (СУ) динамичными объектами (ДО) появилась необходимость разработки и изготовления специальной элементной базы для комплектации удаленных ИД и исполнительных механизмов (органов), которая позволит создавать «умные» периферийные устройства – всевозможные датчики физических величин со встроенной цифровой коррекцией и нормализацией выходного сигнала под стандартные интерфейсы, интеллектуальные силовые ключи с элементами защиты и самотестирования, интеллектуальные приводы на основе электронно-механических приводов и другие периферийные интеллектуальные исполнительные устройства, приводящие к децентрализации СУ и повышению надежности, а также уменьшению массогабаритных показателей СУ объектами.

Транспортное машиностроение является потребителем наноструктурированных материалов (стали и чугуны, титан и его сплавы, алюминиевые сплавы, керамика и пластмассы, порошковые

композиты, материалы с памятью и комплекующие наноизделия) [3–15]. Экономический эффект достигается от внедрения технологии нанесения износостойких нанопокровтий на режущие инструменты ОМР (сверла, фрезы и т.д.), штампы в технологиях обработки материалов давлением (ОМД), литейных технологиях формы, а также износостойких, коррозионностойких, жаростойких и водосталкующих покровтий деталей машин и механизмов для подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ).

Наноструктурированная продукция (детали, узлы, агрегаты) триботехнического направления и технология нанесения нанопокровтий улучшит качественные показатели (прочность, твердость, пластичность, износ-, жаро- и коррозионная стойкость и т.д.) посредством введения того или иного элемента в альтернативный технологический процесс (литье, прессование, нанесение покровтий и т.д.), получения нанопорошков и нанопродуктов, в которых используются нанотехнологии, конструкционные композитные материалы на базе высокопрочных волокон для промышленного применения в авиастроении, железнодорожного транспорта, автомобильной и строительно-дорожной технике, для производства буровых и металлообрабатывающих инструментов. Наноструктурированная продукция инструментального и триботехнического назначения не уступает импортозамещающей продукции, обеспечивающей повышение качества и надежности машин и механизмов. Это стальные и керамические изделия конструкционного, инструментального и триботехнического назначения, нержавеющие оболочки, фитинги нового поколения и т.д.

Производство ультрадисперсных нанопорошков нашло применение в узлах трения всех видов оборудования: технологии восстановления изношенных узлов и механизмов промышленного оборудования до первоначальных параметров с помощью специальных ремонтно-восстановительных составов (РВС). Стоимость реновации (ремонта) по РВС технологии в 2–3 раза ниже, чем при использовании обычных технологий, что позволяет заменить плановые ремонты оборудования планово-предупредительной обработкой с увеличением межремонтного срока в 1,5–2 раза. Экономия электроэнергии и топлива после РВС составляет 10–15 %. Эта технология используется на предприятиях: Московской железной дороге и метрополитене, на «Салюте» и т.д. Эффект обеспечивается на металлической или керамической основе в результате образования в поверхностных слоях изделия нанофазных комплексов [10–13]. Наноструктуризация поверхностей деталей подшипников скольжения (качения) ПС и ПМ повышает их долговечность в 2–3 раза (с 150–200 до 500–600 млн циклов), долговечность инструмента возрастает в 5–6 раз. Порошки медных сплавов используются для производства противоизносных препаратов, включающие наночастицы, активные в зонах трения и покрытые специальной оболочкой, которые свободно циркулируют в масле, не взаимодействуя с ним, а используя его как средство доставки в зоны трения. Под действием высокой температуры и давления, которые необходимо контролировать и диагностировать, наночастицы активируются и начинают создавать на поверхности пар трения новый слой, который образуется при взаимодействии частиц препарата и продуктов износа металлической поверхности и принимает на себя всю нагрузку с поверхности пар трения. При этом наблюдаются процессы:

- 1) нормализация структуры кристаллической решетки материала;
- 2) снятие поверхностной усталости;
- 3) заполнение задиров.

На предприятиях РФ реализуются традиционные и аддитивные технологии на наноуровне:

- 1) электроэрозионная наноразмерная обработка рабочим инструментом;
- 2) электрохимическая отделочная и размерная обработка рабочих поверхностей нагруженных деталей машин и механизмов;
- 3) ионно-плазменное упрочнение инструмента, деталей машин с нанесением покровтия толщиной до 2 мкм, повышающие их работоспособность;
- 4) модификация поверхности за счет технологии скоростных химико-термических взаимодействий плазменных струй с поверхностью металла с целью повышения износ- и коррозионной стойкости, твердости легированных сталей;
- 5) закалка поверхности на глубину до 2 мм с возможностью регулирования параметров поверхностного слоя;
- 6) ионно-плазменное осаждение с получением покровтия из спектра материалов любого состава с заданной структурой (нанокристаллической, аморфной, кристаллической, композитной);
- 7) применение полимерного нанокомпозита и оборудования для синтеза нанокерамических покровтий;
- 8) создание технологии производства сверхвысокопрочных пружин и износостойких изделий из наноструктурных керамических и металлокерамических материалов;

9) создание монолитного твердосплавного металлорежущего инструмента с наноструктурированным покрытием и режущего инструмента из сверхтвердого материала и т.д.

Показатели качества (надежность, долговечность, ресурс и т.д.) деталей транспортного машиностроения, изготовленных по новой технологии, увеличиваются в 2–5 раз с нанометровой точностью при использовании оборудования электроискровой, электрохимической обработки, фрезерования и шлифования, полирования и др. [9–15].

Тренд – технология напыление наноматериалов на изделия с получением наноструктурированных покрытий, наносимых методами высокоскоростного газотермического напыления исходных материалов в виде растворов или суспензий, содержащих наноразмерные частицы позволяет получать покрытия с заданными характеристиками в условиях ОАО «РЖД». Нанотехнологии решают проблему трения и коррозии материалов путем применения наноразмерных частиц в ингибиторах коррозии нового материала, производства высокоэффективных антифрикционных, противоизносных и охлаждающих составов для ДВС, применение которых приводит к сокращению расхода топлива на 2–7 %, износу деталей в 1,5–2,5 раза, увеличению мощности двигателя на 2–4 %. Технология нанесения наноструктурированных покрытий увеличивает износостойкость инструмента в 2–2,5 раза и основывается на методе вакуумного осаждения из плазмы, получаемой в результате испарения материала, что повышает износостойкость инструмента, производить обработку металлов на более высоких скоростях и увеличивает срок службы инструмента. Улучшение технических характеристик (твердость, вязкость) инструмента с нанопокрытиями для технологий ОМР приводит к увеличению производительности труда и снижению себестоимости инструмента. По сравнению с инструментом без покрытия происходит увеличение объема снимаемого металла в 2–2,5 раза, стойкость между переточками и скорость резания возрастает в 1,5–2 раза [11–15].

Создание прецизионных, электрохимических станков и т.д. находит применение в двигателестроении, энергетике, инструментальном производстве для износостойких изделий из наноструктурированной керамики и металлокерамики, а к ним относятся изделия и узлы с уникальными свойствами: высокой прочностью, износостойкостью, устойчивостью к коррозии, теплостойкостью: подшипники скольжения и кольца торцовых уплотнений, инструмент, сменные пластины и т.д.

Для насосной техники (систем) выпускают из наноструктурных металлокерамик различные триботехнические изделия (узлы, подверженные трению и износу), работающие в сложных условиях эксплуатации и имеющие повышенную износостойкость; расширенный диапазон рабочих температур; химическую инертность, что позволяет повысить ресурс и надежность насосного оборудования на 20–30 %.

Выпуск керамического и металлокерамического режущего инструмента для ОМР металлов и композиционных материалов, характеризующихся высокой твердостью, прочностью и термостойкостью, позволит увеличить производительность обрабатываемого оборудования (основа ГПС), повысить точность геометрических параметров при обработке деталей. Режущий инструмент из нанопорошка кубического нитрида бора предназначен для использования в ОМР, обеспечивая повышение износостойкости и стойкости к абразивным материалам, а также увеличение производительности инструмента. Повышенные физические характеристики инструмента из нанопорошка кубического нитрида бора (микротвердость, износо- и теплостойкость) приводят к высокой производительности инструмента. При этом затраты на обработку деталей инструментом снижаются до 60 %, что важно при создании новых технологий ОМР ГПС [9–15]. Создание технологического оборудования для синтеза многофункциональных нанокерамических покрытий на алюминиевых и магниевых поверхностях, защищающих металлы от коррозии, что особенно важно в железнодорожном машиностроении. Покрытие наносится методом микродугового оксидирования (МДО), который позволяет формировать наноструктурированные керамикоподобные слои на поверхности алюминия, магния, титана, циркония и других металлов. В зависимости от условий обработки материала можно получать поверхности деталей различного назначения: износостойкие, коррозионно-защитные, электроизоляционные, теплостойкие или их сочетания [1–5, 10–15]. Технология производства сверхвысокопрочных пружин повышает их надежность, долговечность, релаксационную стойкость пружин путем операции горячей навивки пружины при оптимальном сочетании контролируемых параметров: температуры нагрева, степени деформации при навивке, схемы и режима охлаждения – закалки последовательно каждого витка навиваемой пружины для формирования наноразмерной структуры, обеспечивающей высокие прочностные характеристики пружин (рис. 2) с увеличенным сроком службы и уровнем допустимых напряжений, исключением их осадки и соударения витков, повышенной работоспособностью в условиях низких температур [11–15].

## Сверхпрочные пружины: технология производства

Горячая навивка (используется при создании пружин для для ж/д подвижного состава, с/х техники и пр.)



Рис. 2. Алгоритм технологии производства сверхпрочных пружин для подвижного состава и путевых машин

Для качественного измерения (контроля) массовой доли химических элементов в металлах и сплавах предназначен спектрометр лазерный портативный ЛИС-01, обеспечивающий высокую скорость при определении таких химических элементов, как С, Si, Mn, Cr, Ni, Fe, Mg, Al, V и т.д., применяющийся при сортировке сталей; стилоскопировании сварочных материалов; контроле качества химического состава и т.д. [11–15]. Для контроля температуры при обработке материалов разработаны новые бесконтактные, быстродействующие фотонно-селективные волоконно-оптические датчики- устройства типа ИРТ-1 [6–15].

Главное требование к элементной базе СУ динамичных объектов – качество, направленное на предотвращение аварий и уменьшение их последствий, требует увеличения количества автономных датчиков с развитой системой самодиагностики и диагностики при техническом обслуживании специалистами. В системах сбора и обработки информации число датчиков, поставляющих информацию о текущем состоянии объектов управления, повышается, увеличивается их точность и быстродействие, интенсивными становятся потоки информации.

### Заключение

1. На железных дорогах РФ непрерывно растет объем грузовых и пассажирских перевозок, для выполнения которых требуется повышать скорости подвижного состава и их надежность для обеспечения качества услуг ОАО «РЖД» на основе применения порошковых и композиционных материалов и гибких технологий, включая наноматериалы, параметры показателей которых необходимо контролировать с помощью современных бесконтактных, быстродействующих, точных лазерных, волоконно-оптических датчиков и устройств. В основе выбора датчиков, включая интеллектуальные, для обеспечения контроля и диагностики лежит принцип максимального соответствия требований измерений и возможностей (характеристик) датчика.

2. В основе технологии производства сверхвысокопрочных пружин железнодорожного транспорта, повышающих надежность, долговечность и релаксационную стойкость пружин, лежит операция горячей навивки пружины при оптимальном сочетании контролируемых параметров: температуры нагрева, степени деформации при навивке, режима охлаждения – закалки последовательно

каждого витка навиваемой пружины. В результате формируются наноразмерные субструктуры, обеспечивающие высокие прочностные характеристики пружин с увеличенным сроком службы и уровнем допустимых напряжений, исключением их осадки и соударения витков, повышенной работоспособностью в условиях низких температур.

3. С ростом производительности микроконтроллеров и снижения их стоимости появляются замкнутые локальные СУ отдельными модулями технологических систем, роботизированные устройства, которые могут действовать автономно или под управлением внешней СУ. Развитие систем невозможно без совершенствования системы ИД, способных легко включиться в системы сбора данных, т.е. датчики должны обладать развитыми интерфейсами и стандартизированными форматами передачи данных.

### Список литературы

1. Перевертов В. П., Андрончев И. К., Юрков Н. К. Система диагностирования и технического обслуживания НТТС и ПС в условиях РЖД // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 2. С. 93–95.
2. Перевертов В. П., Андрончев И. К., Абулкасимов М. М. Технология обработки материалов концентрированным потоком энергии // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 3. С. 69–79.
3. Перевертов В. П. Технологии конструкционных материалов. Ч. 2. Литейные и порошковые технологии. Лазерные технологии и обработки материалов резанием : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Самара : СамГУПС, 2018. 192 с.
4. Перевертов В. П. Технологии конструкционных материалов. Ч. 3. Технологии обработки материалов давлением : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Самара : СамГУПС, 2018. 154 с.
5. Перевертов В. П., Юрков Н. К., Пиганов М. Н. Методика расчета быстродействующего исполнительного органа КШМ с системой диагностического управления // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 3. С. 40–49.
6. Перевертов В. П., Андрончев И. К., Кузина Е. А. Компьютерное моделирование и аддитивные технологии в транспортном машиностроении // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 4. С. 48–57.
7. Перевертов В. П., Андрончев И. К. Технологические возможности концентрированных потоков энергии для формообразования деталей машиностроения // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 1. С. 71–83.
8. Перевертов В. П., Юрков Н. К., Андрончев И. К. Порошковые композиты и наноматериалы в гибких технологиях формообразования деталей машиностроения // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 2. С. 85–95.
9. Перевертов В. П., Бочаров Ю. А., Маркушин М. Е. Управление кузнечными машинами в ГПС : монография. Куйбышев : Кн. изд-во, 1987. 160 с.
10. Перевертов В. П. Качество управления гибкими технологиями : монография. Самара : СамГУПС, 2019. 270 с.
11. Перевертов В. П. Материаловедение и гибкие технологии : учебник. Самара : СамГУПС, 2020. 280 с.
12. Перевертов В. П. Диагностика и управление кузнечными машинами в гибких производственных системах : монография. Самара : СамГУПС, 2021. 291 с.
13. Перевертов В. П., Юрков Н. К., Романенко А. А. Нанотехнологии и качество деталей транспортного машиностроения // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2022. Т. 1. С. 39–42.
14. Перевертов В. П. Качество управления альтернативными технологиями формообразования деталей в «умных» производственных системах // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 4. С. 102–111.
15. Перевертов В. П., Андрончев И. К., Абулкасимов М. М. Качество продукции и услуг РЖД в сочетании с качеством управления // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. С. 116–120.

### References

1. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Yurkov N.K. System of diagnostics and maintenance of NTTS and PS in the conditions of Russian Railways. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2018;2:93–95. (In Russ.)
2. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Abulkasimov M.M. Technology of processing materials with concentrated energy flow. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2015;(3): 69–79. (In Russ.)
3. Perevertov V.P. *Tekhnologii konstruktivnykh materialov. Ch. 2. Liteynye i poroshkovye tekhnologii. Lazernye tekhnologii i obrabotki materialov rezaniem: ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop.* = *Technologies of structural materials. Part 2. Foundry and powder technologies. Laser technologies and materials processing by cutting : textbook. 2nd ed., revised and supplemented*. Samara: SamGUPS, 2018:192. (In Russ.)

4. Perevertov V.P. *Tekhnologii konstruktivnykh materialov. Ch. 3. Tekhnologii obrabotki materialov davleniem: ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop. = Technologies of structural materials. Part 3. Technologies of materials processing by pressure : textbook. 2nd ed., revised and supplemented.* Samara: SamGUPS, 2018:154. (In Russ.)
5. Perevertov V.P., Yurkov N.K., Piganov M.N. Methodology for calculating a high-speed executive body of a KSM with a diagnostic control system. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2018;(3):40–49. (In Russ.)
6. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Kuzina E.A. Computer modeling and additive technologies in transport engineering. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2019;(4):48–57. (In Russ.)
7. Perevertov V.P., Andronchev I.K. Technological capabilities of concentrated energy flows for shaping machine-building parts. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2020;(1):71–83. (In Russ.)
8. Perevertov V.P., Yurkov N.K., Andronchev I.K. Powder composites and nanomaterials in flexible technologies of forming machine-building parts. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2020;(2):85–95. (In Russ.)
9. Perevertov V.P., Bocharov Yu.A., Markushin M.E. *Upravlenie kuznechnymi mashinami v GPS: monografiya = Control of forging machines in GPS : monograph.* Kuybyshev: Kn. izd-vo, 1987:160. (In Russ.)
10. Perevertov V.P. *Kachestvo upravleniya gibkimi tekhnologiyami: monografiya = The quality of management of flexible technologies : monograph.* Samara: SamGUPS, 2019:270. (In Russ.)
11. Perevertov V.P. *Materialovedenie i gibkie tekhnologii: uchebnik = Materials science and flexible technologies : textbook.* Samara: SamGUPS, 2020:280. (In Russ.)
12. Perevertov V.P. *Diagnostika i upravlenie kuznechnymi mashinami v gibkikh proizvodstvennykh sistemakh: monografiya = Diagnostics and control of forging machines in flexible production systems : monograph.* Samara: SamGUPS, 2021:291. (In Russ.)
13. Perevertov V.P., Yurkov N.K., Romanenko A.A. Nanotechnology and quality of parts of transport engineering. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2022;1:39–42. (In Russ.)
14. Perevertov V.P. Quality of management of alternative technologies of forming parts in "smart" production systems. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems.* 2019;(4):102–111. (In Russ.)
15. Perevertov V.P., Andronchev I.K., Abulkasimov M.M. The quality of Russian Railways products and services in combination with the quality of management. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality.* 2017;2:116–120. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Валерий Петрович Перевертов

кандидат технических наук, доцент,  
 профессор кафедры наземных  
 транспортно-технологических средств,  
 Самарский государственный университет  
 путей сообщения  
 (Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2 В)  
 E-mail: vperevertov@yandex.ru

#### Николай Андреевич Кузин

студент,  
 Московский автодорожный институт  
 (технический университет)  
 (Россия, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64)  
 E-mail: sputnik1985nk3y@mail.ru

#### Николай Кондратьевич Юрков

доктор технических наук, профессор,  
 заслуженный деятель науки РФ,  
 заведующий кафедрой конструирования  
 и производства радиоаппаратуры,  
 Пензенский государственный университет  
 (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
 E-mail: yurkov\_NK@mail.ru

#### Valeriy P. Perevertov

Candidate of technical sciences, associate professor,  
 professor of the sub-department of ground  
 transportation and technology tools,  
 Samara State University of Railway Transport  
 (2 V Svobody street, Samara, Russia)

#### Nikolai A. Kuzin

Student,  
 Moscow Road Institute (Technical University)  
 (64 Leningradsky avenue, Moscow, Russia)

#### Nikolay K. Yurkov

Doctor of technical sciences, professor,  
 the honoured worker of science  
 of the Russian Federation,  
 head of the sub-department  
 of radio equipment design and production,  
 Penza State University  
 (40 Krasnaya street, Penza, Russia)



**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 15.12.2022**

**Поступила после рецензирования/Revised 16.01.2023**

**Принята к публикации/Accepted 30.01.2023**