

В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, И. Ю. Семочкина

КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В «УМНЫХ» ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

V. P. Perevertov, I. K. Andronchev, I. Yu. Semochkina

QUALITY OF ALTERNATIVE MANAGEMENT TECHNOLOGIES OF FORMING OF DETAILS IN "SMART" PRODUCTION SYSTEMS

Аннотация. Актуальность и цели. «Умная» производственная система (УПС) представляет собой сложную, турбулентную систему, составными элементами которой являются гибкие производственные системы (ГПС) и модули (ГПМ) на основе альтернативных технологий (традиционные и аддитивные). Одним из основных направлений УПС являются аддитивные технологии (АТ) – технологические процессы послойного синтеза металлических, металлокерамических и наноструктурированных порошковых композиций, которые применяются с традиционными технологиями в современной индустрии. Основным тренд этих исследований заключается в создании технологий (как традиционных, так и аддитивных) на основе высокопроизводительных лазерных и плазменных систем для спекания, сплавления, формообразования деталей (заготовок) из металлопорошковых композиций с контролем параметров технологическими бесконтактными, быстродействующими датчиками, входящими в системы контроля, диагностики и адаптивного (интеллектуального) управления технологиями, обеспечивающих надежность оборудования и качество продукции. *Материалы и методы.* В сложной, динамичной транспортной системе (железнодорожный, авиационный, автомобильный, речной, морской) одним из важных элементов является железнодорожный транспорт со своими инновационными технологическими процессами развития и управления, включая факторы надежности и качества работ и услуг. Основным преимуществом аддитивной технологии (АТ) перед традиционной является то, что «послойное выращивание» трехмерных изделий (деталей) по компьютерной модели в автоматизированном режиме сокращает время на их внедрение за счет исключения промежуточных стадий изготовления инструментальной, штамповой, литейной оснастки; отсутствия дефектов при заготовительном производстве, приводящем к отказам и снижению трудоемкости окончательной обработки материалов резанием (ОМР). Исследования теории intersubъективной надежности (ТИН) относятся к инновационным технологи-

Abstract. Background. A “smart” production system (UPS) is a complex, turbulent system, the components of which are flexible production systems (GPS) and modules (GPM) based on alternative technologies (traditional and additive). One of the main directions of UPS is additive technology (AT) – technological processes for the layer-by-layer synthesis of metal, cermet and nanostructured powder compositions that are used with traditional technologies in modern industry. The main trend of these studies is to create technologies (both traditional and additive) based on high-performance laser and plasma systems for sintering, alloying, and shaping parts (blanks) from metal powder compositions with parameter monitoring by technological non-contact, high-speed sensors included in the control system, diagnostics and adaptive (intelligent) technology management, ensuring equipment reliability and product quality. *Materials and methods.* In a complex, dynamic transport system (railway, aviation, automobile, river, sea), one of the important elements is railway transport with its innovative technological processes of development and management, including factors of reliability and quality of work and services. The main advantage of additive technology (AT) over the traditional one is that “layer-by-layer growing” of three-dimensional products (parts) using a computer model in an automated mode reduces the time for their implementation by eliminating the intermediate stages of manufacturing tooling, stamping, foundry equipment; the absence of defects in procurement, leading to failures and a decrease in the complexity of the final processing of materials by cutting (OMR). Studies of the theory of intersubjective reliability (TIN) relate to innovative technologies, because the new products obtained must meet ISO standards by creating and implementing a UPS based on GPS with digital modeling of the shape of workpieces (parts) and using traditional and additive technologies (3D technologies). *Results.* Development of the theory of intersubjective reliability (TIN) as applied to ensure reliability and quality of complex production systems of railway transport based on GPS and GPM, as the basic elements of UPS, with the allocation of an adaptive diagnostic (intel-

ям, потому что полученная новая продукция должна отвечать стандартам ИСО путем создания и внедрения УПС на базе ГПС с цифровым моделированием формоизменения заготовок (деталей) и использованием традиционных и аддитивных технологий (3D-технологии). *Результаты.* Разработка теории интерсубъективной надежности (ТИН) применительно для обеспечения надежности и качества сложных производственных систем железнодорожного транспорта на основе ГПС и ГПМ, в качестве базовых элементов УПС, с выделением системы адаптивно-диагностического (интеллектуального) управления, позволяющих контролировать и диагностировать параметры технологического процесса и оборудования. *Выводы.* Высокое качество при изготовлении деталей альтернативными технологиями, а также надежность и безопасность работы как элементов УПС, так и системы в целом невозможно без контроля и диагностики показателей качества продукции с помощью современных методов и средств измерения: лазерные, инфракрасные, волоконно-оптические датчики (сенсоры), включая быстродействующие пьезогидравлические исполнительные устройства и т.д.

Ключевые слова: «умная» производственная система (УПС), альтернативные технологии, качество, надежность, диагностика, датчики, контроль, лазер, плазма.

ligent) control system that allows you to monitor and diagnose process parameters and equipment. *Conclusions.* High quality in the manufacture of parts by alternative technologies, as well as the reliability and safety of operation of both UPS units and the system as a whole, is impossible without monitoring and diagnostics of product quality indicators using modern measurement methods and means: laser, infrared, fiber-optic sensors (sensors), including high-speed piezo-hydraulic actuators, etc.

Keywords: “smart” production system (UPS), alternative technology, quality, reliability, diagnostics, sensors, control, laser, plasma.

Основа «умных» производственных систем (УПС) – применение сетей датчиков (сенсоров), вычислительных устройств, быстродействующих исполнительных рабочих элементов технологического оборудования [1–6] для надежности и безопасности человека в области **инфраструктуры** или высокоэффективного производства в сфере **промышленности**, т.е. максимально интенсивное и всеобъемлющее использование сетевых информационных и альтернативных технологий и киберфизических систем на всех этапах производства качественной продукции [1–2, 7–13].

Качество продукции и услуг в железнодорожной отрасли – это совокупность свойств и характеристик продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять своему назначению, зависит от инструментов обеспечения качества: метрологии, стандартизации, сертификации [1, 2, 14, 15].

Для оптимального управления качеством технологического процесса выпускаемой продукции (изделия) нужно уметь анализировать с помощью критериев оценки качества, содержащихся в стандартах ИСО, которые устанавливают и регламентируют показатели качества любого вида продукции, способствуют стабильности и повышению качественных характеристик детали. Особенно это эффективно на начальной стадии освоения производства деталей (изделий) или на этапе внедрения новых материалов и технологических процессов [1, 2, 5, 11, 13–15].

На этапе проектирования оптимального технологического процесса для ГПМ обработки материалов давлением (ОМД), входящего в УПС, возможно получение множества вариантов сочетаний компонентов и признаков, который можно оценить векторным показателем

$$Y = \{ y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 \dots y_n \},$$

где y_1 – повышение качества поковок; y_2 – степень приближения размеров поковки к форме готовой детали; y_3 – устранение дефектов поковок, приводящих к браку; y_4 – снижение себестоимости поковки – оценочный критерий; y_5 – экономичность технологического процесса; y_6 – экологичность технологии; y_7 – время для переналадки ГПМ ОМД на заданный технологический процесс [1, 2].

Гибкость и скорость внедрения технологических инноваций для обеспечения нового качества продукции в промышленности, транспортной и энергетической инфраструктуре [1–8, 11, 15, 17] формируется на всех этапах его создания и зависит от оборудования, качества материалов, методов и устройств контроля и диагностики технологий.

Развитие традиционных и аддитивных технологий формообразования трехмерных объектов проходит путем **удаления материала – ОМР**: сверление, точение, фрезерование, электроэрозия-

ная обработка; путем **изменения формы заготовки** – **ОМД**: ковка, штамповка, прессование; **путем наращивания (добавления) материала** – **АТ** достигли прогресса получения физических моделей будущих изделий или опытных образцов. При традиционных технологиях затрачивается от нескольких недель до нескольких месяцев, что приводит к повышению затрат на разработку нового изделия и задержке сроков выпуска новой продукции, а **АТ** – **класс технологических процессов**, которые автоматически создают сложные трехмерные физические объекты без инструментального их изготовления за несколько часов (дней).

Большинство технологий **УПС** находится на этапе своего развития, но существуют **эффективность их применения в машиностроении** в виде гибких производственных систем (**ГПС**), которая состоит из трех подсистем: **заготовительной обработки материалов** (кузнечно-штамповочное, литейное и сварочное, лазерное и плазменное, переработка пластмасс и порошковых композитов, термическое производство и т.д.), **окончательной обработки** – в основном обработка материалов резанием (**ОМР**) и **сборочной**, объединенных единой транспортной и информационно-управляющей системами (рис.1), интегрально связанной с конструированием и технологией изготовления изделий (**САПР** конструкций), что создает условия для взаимного проникновения подсистем и интеграции технологических процессов [1, 2].

Технологические процессы формообразования заготовок в машиностроении принято подразделять на **традиционные** и **аддитивные** технологии (цифровые) [1–5, 7–9, 14–16]:

1 – **осаждение из парогазовой фазы** – конфигурация заготовки формируется в результате конденсации парообразных или газообразных химических элементов с образованием твердых осадков;

2 – **литье** – формообразование заготовки (детали) осуществляется из жидкого материала путем заполнения им полости заданной формы и размеров с последующим затвердеванием;

3 – **формование** – получение заготовки из порошковых композиционных материалов путем заполнения полости заданной формы и размеров с последующим уплотнением;

4 – **гальванопластика** – получение изделий из жидкого материала путем осаждения металла из раствора под действием электрического тока;

5 – **обработка материалов давлением (ОМД)** – процесс, в котором происходит изменение формы, размеров, шероховатости и свойств первичной заготовки (слитка, профиля) в результате пластической деформации и/или разделения изделия без образования стружки;

6 – **обработка материалов резанием (ОМР)** – изменение формы, размеров, шероховатости происходит путем отделения поверхностного слоя заготовки с образованием стружки (токарная, фрезерная и т.д.);

7 – **электрофизическая и электрохимическая обработка** – изменение формы, размеров, шероховатости поверхностей заготовки (детали) происходит путем использования электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного или оптического излучения и растворения ее материала в электролите под действием электрического тока;

8 – **сборка** – технологический процесс, при котором происходит образование разъемных и неразъемных соединений, составных частей заготовки или изделия путем навинчивания, сварки, пайки, клепки, склеивания и т.д.;

9 – **аддитивные технологии (АТ)** – технологии изготовления детали (изделия) по данным цифровой модели методом послойного добавления материала.

В настоящее время существуют различные аддитивные технологические системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако все они работают по послойному принципу построения физической модели. При использовании цифровых **АТ** все стадии реализации проекта от идеи до материализации находятся в одной технологической среде, в которой каждая технологическая операция также выполняется в цифровой области проектирования (**CAD**), обработки материалов резанием (**CAM**) моделирования и расчетов (**CAE**) – **системе**, элементами которой необходимо **управлять**, что и привело к развитию **технологий 3D-печати (3D-модели)**.

Анализ технологических особенностей применения **АТ** показал, что в результате разработки и внедрения аддитивного оборудования (3D-принтер) появились новые технологические возможности в машиностроительной отрасли, где в целом ряде направлений **АТ** начали быстро вытеснять традиционные методы и технологии производства продукции (деталей) [1, 2, 4, 5, 9, 14, 16]: инструменты и литейные формы, детали самолетов и ракет, НТТС и ПС и т.д.

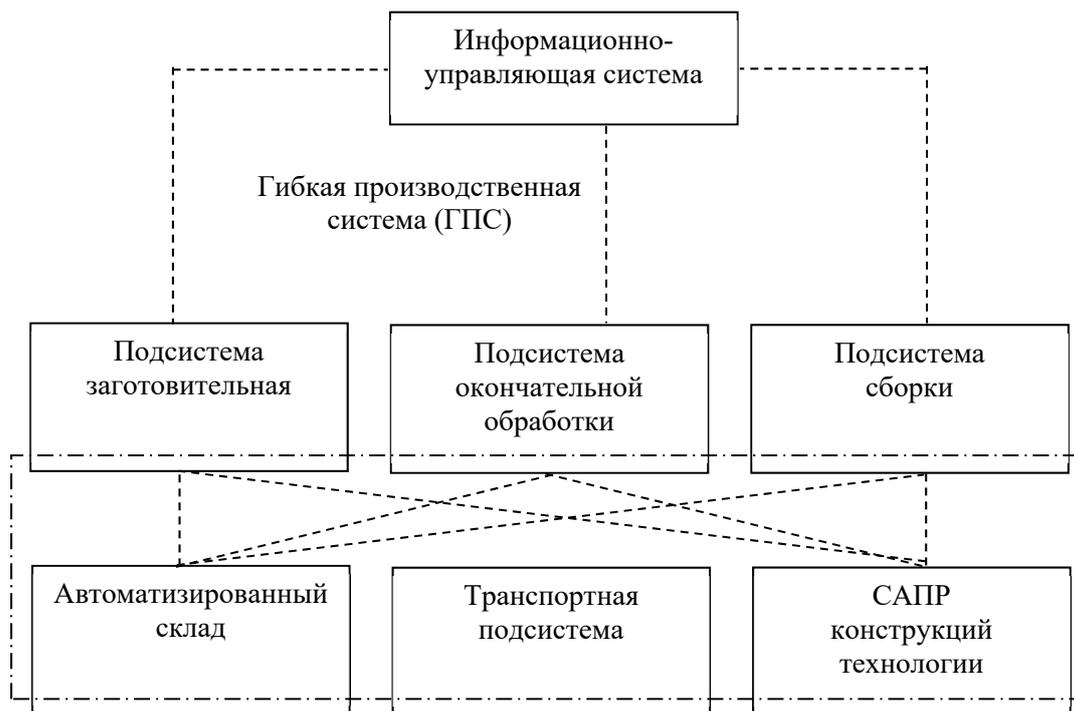


Рис. 1. Структура и технические элементы информационно-управляющей системы ГПС

В России в 2017 г. внедрен стандарт ГОСТ Р 57558 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. ISO/ASTM 52900:2015» [9], который определяет аддитивные технологии (АТ) как: «Процесс объединения материала с целью создания объекта из данных 3D-модели, как правило, слой за слоем, в отличие от механообрабатывающих производственных технологий» [9, 10]. По классификации ASTM АТ условно разделены на семь категорий, для осуществления которых применяется технологическое оборудование, оснащенное системами подвода модельного материала и энергии в виде сфокусированного лазерного излучения или электронного луча, плазменного и ионного воздействия [2–4, 7–16].

Технологические процессы формообразования заготовок являются основой различных типов технологического оборудования для производства деталей методами АТ:

- 1) **SLA** – технология лазерной стереолитографии;
- 2) **SLS** – технология селективного лазерного спекания;
- 3) **MJM** – метод наплавления;
- 4) **DLP** – технология наплавления (цифровая светодиодная проекция);
- 5) **LOM** – технология изготовления объектов методом ламинирования;
- 6) **FDM** – технология послойного наложения расплавленной полимерной нити;
- 7) **SHS** – технология выборочного спекания.

В железнодорожном машиностроении цифровая 3D-печать (3D-модель) позволяет решать самые разнообразные задачи эффективно и качественно:

- 1) разработка прототипов и изготовление новых деталей, компонентов и агрегатов для диагностирования до начала серийного производства;
- 2) осуществление диагностирования и проверки различных характеристик изделий, чтобы заранее устранить вероятные отказы (дефекты, неисправности);
- 3) создание из современных материалов (композиционных, наноматериалов и т.д.) агрегатов, узлов, деталей и их элементов НТТС и ПС;
- 4) изготовление, ремонт и замена изношенных деталей, которые уже готовы к эксплуатации в условиях РЖД (компоненты различных механизмов НТТС и ПС, детали и запчасти для их ремонта, компоненты системы двигателей и др.).

Для достижения экономичности, энергоэффективности, экономичности УПС используют:

- 1) специализированное программное обеспечение;
- 2) лазерные, плазменные, лучевые, ионные устройства;

3) роботы с искусственным интеллектом (ИИ);
 4) бесконтактные сенсорные датчики и быстродействующие исполнительные пьезогидравлические устройства, встроенные в **технологическое оборудование и инфраструктуру предприятия** для обеспечения их взаимодействия, синхронизации и управления, к которому предъявляются **следующие требования** [2, 9, 10]:

- 1) способность обмениваться информацией с другими технологическими системами (машинами) и работать с высокой степенью автономности новых роботов;
- 2) обеспечивать технологические устройства (машины) интернет-соединением для всех умных машин в производственном цикле изготовления продукции (детали);
- 3) предоставлять удобный и непрерывный сетевой доступ к настраиваемым вычислительным системам;
- 4) принимать информационные данные от технологического оборудования предприятия и анализировать их с целью оптимального управления системой;
- 5) охватывать направления технологических разработок с учетом энергетической эффективности, экономичности и экологичности производства.

В технологических процессах (методах) обработки материалов применяются мощные концентрированные потоки энергии в виде: электронного луча и лазерного излучения, плазменного и ионного воздействия, микроскопических сенсоров (датчиков), беспроводных коммуникаций и т.д. Это позволит собирать больше информации о технологических объектах [1–8, 14, 16, 17], а программным приложениям УПС действовать в зависимости от условий технологического процесса. Любая информация для описания ситуации, в которой находится рассматриваемый объект системы управления, необходима, чтобы соотносить виртуально протекающие технологические процессы с реальными объектами. Автоматический сбор и распределение информации между всеми технологическими элементами УПС обуславливают цель функционирования «умных» технологических машин: контроль, диагностирование, прогнозирование о возникновении условий, которые могут снизить производительность, точность или качество производства.

Технологическое оборудование должно определять отклонения (отказ, норма, риск) от нормального выполнения процесса (рис. 2) и предлагать возможные пути решения с помощью адаптивной (интеллектуальной) системы диагностики ГПС (ГПМ)-основы УПС. Составными элементами любой системы управления надежностью производственного объекта является: 1) подсистема контроля исследуемых параметров технологии; 2) подсистема диагностирования, предназначенная для определения технического состояния [1–5, 7, 8, 13–16]. Обработка сигналов функциональных преобразователей (датчиков) ставит своей целью распознать техническое состояние как элементов ГПМ, так и модуля в целом и сформировать в соответствии с алгоритмом управляющее воздействие для обеспечения работы ГПМ с оптимальными технико-экономическими показателями. Управляющее воздействие является многомерной нелинейной функцией от управляющих воздействий, тестовых воздействий, управляемых параметров, информативных и неинформативных параметров, внешних и внутренних возмущений, воздействующих на элементы ГПМ и технические устройства в системе диагностического управления оборудования [1, 2, 14].



Рис. 2. Показатели работоспособности технологического процесса

При определении технического состояния ГПМ необходимо применять преобразования, инвариантные к неинформативным параметрам КШМ, и оптоволоконные датчики, структуры которых инвариантны к неинформативным параметрам, воздействующим как на сам объект управления, так и на элементы структуры датчиков [2, 14]. При этом повышается разрешающая способность и, соот-

ветственно, точность определения технического состояния исследуемого ГПМ с помощью системы диагностики (СД). Обеспечение высокой надежности ГПМ на основе КШМ возможно при условии создания СД с развитой математической инфраструктурой на базе ЭВМ и включающей обеспечения: методическое, лингвистическое, математическое, программное, техническое и т.д. [1, 2, 7, 8, 14].

Выявление дефектных узлов, приводящим к отказам в сложной структуре ГПМ, позволяет применить в полной мере его отличие – гибкость, способность перестраиваться не только на изготовление требуемой номенклатуры изделий, но и перестраивать в зависимости от состояния оборудования режим автоматизированной технологии, обеспечивая высокое качество при максимальной производительности. Система диагностики упрощает поиск и устранение отказов, а также предоставляет системе принятия решения (СПР) информацию для выбора оптимального управления по поддержанию его работоспособности, обеспечения режима автоматизированной (автоматической) технологии при появлении случайных отказов и других нарушений работы ГПМ на базе КШМ [1, 2].

Работа системы принятия решения (СПР) необходима:

- 1) в случае отказа одного из элементов;
- 2) один из показателей работоспособности попал в зону риска (см. рис. 2);
- 3) установлена необходимость применения системы синтеза управляющих программ (ССУП), конфигуратора системы (КС), универсального модуля принятия решения (УМПР), входящего в состав разработанного пакета прикладных программ «вектор – ПР».

При изменении номенклатуры поковок, способа штамповки, возникновения отказов в производственной и управляющих частях ГПМ решена задача о рациональном согласовании контуров системы диагностики и системы аварийного управления путем учета вектора параметров технического состояния модуля; способов управления КШМ, включая оптимальный, и критериев их эффективности; многоцелевых показателей и принципа оптимальности. Схема принятия решения в условиях неопределенности целей, логика работы системы самодиагностики (рис. 3, 4) требуют привлечения гипотез о ранжировании целей и т.д. [1,2]. Метод принятия решений (см. рис. 3, 4) позволяет для обеих гипотез определить пространства КЛС и рассчитать значения функции обоснованности. Принять то решение, которое максимизирует значение функции обоснованности. Для решения задачи формирования корректирующего воздействия, которая не может быть решена однозначно, разработана структурная схема универсального модуля принятия решений (СПР) [1, 2].

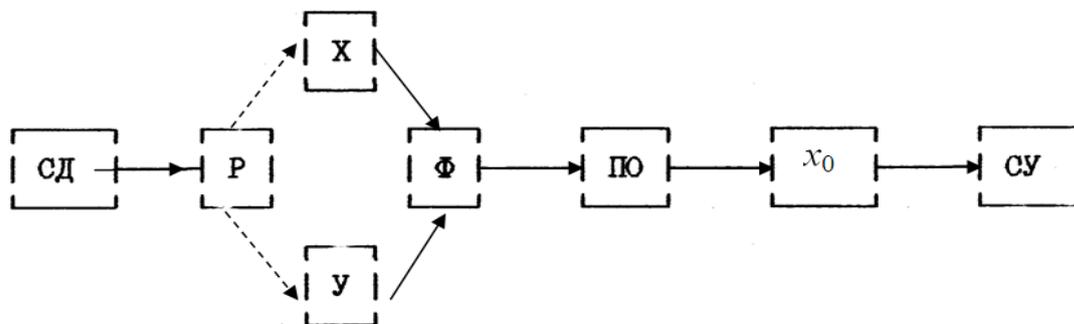


Рис. 3. Схема принятия решения: X – множество вариантов решений; Y – множество критериев оптимальности; Φ – множество многоцелевых показателей; ПО – принцип оптимальности (выбор варианта решения по многоцелевому показателю); x_0 – оптимальное управление; СД – система диагностики; СУ – система управления

Лицо, принимающее решение (ЛПР), – инженер, включая руководителей, которые как выпускники университетов, кроме наличия специальных знаний должны отвечать требованиям:

- 1) умение планировать рабочий день, который влияет на производительность труда;
- 2) находить и устранять «поглотители» времени;
- 3) способность сформировать команду с применением эффективных механизмов мотивации, внутреннего контроля и диагностики;
- 4) являться авторитетом, формирующим правила и устанавливающим режим работы, создающим благоприятный психологический климат, умеющим влиять на социально-психологический климат в коллективе;

- 5) знать сильные и слабые стороны сотрудников, анализировать их способности при расстановке кадров в выполнении приоритетных и второстепенных задач системы;
- 6) внедрять систему обучения кадров с учетом приоритетных направлений развития РЖД, включая основы ТИН с традиционными и аддитивными технологиями.

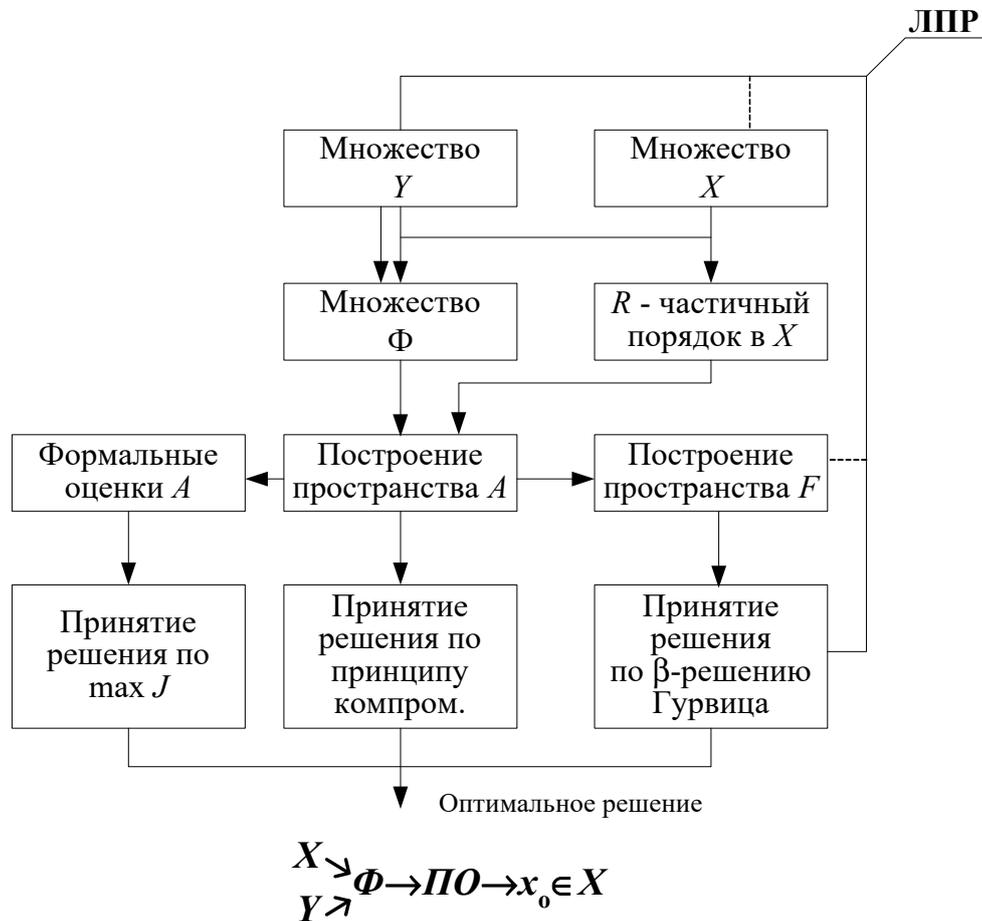


Рис. 4. Алгоритм принятия решения в условиях неопределенности целей:

Y – множество критериев оптимальности; X – множество вариантов решений; Φ – множество многоцелевых показателей; R – частичный порядок в X , гипотеза лица, принимающего решение (ЛПР); A – пространство коэффициентов линейной свертки(КЛС); J – функция обоснованности гипотез; ПО – принцип оптимальности; x_0 – оптимальный элемент X ; ЛПР – лицо, принимающее решение

Функции ЛПР изменяются в сторону большей конкретизации и детализации: от простого перебора вариантов решений появляется возможность перехода к сетевым схемам поиска оптимального варианта решения по обеспечению надежности на основе привлечения ЛПР в качестве структурной единицы системы [2, 5–8, 16, 17]. А это и есть развитие теории надежности для условий XXI в.

Основные принципы теории интересубъектной надежности (ТИН) заключаются в следующем:

- 1) лицо, принимающее решение (ЛПР), участвует в обеспечении надежности системы как субъект этой системы;
- 2) управляющие воздействия по обеспечению надежности обеспечивают ЛПР с применением элементов искусственного интеллекта (ИИ) по алгоритму самоорганизации;
- 3) управляющие воздействия на исполнительные органы оборудования, по обеспечению надежности производят в режиме реального времени и направлены на самоорганизацию системы и разрешение конфликтных противоречий между субъектами системы в плане обеспечения надежности;
- 4) горизонтально-ориентированные схемы системы принятия решений (СПР) обеспечивают оперативность по обеспечению надежности на всех этапах жизненного цикла технологической системы [2, 8, 11];

5) резервы повышения эффективности управления надежностью – использование интеллектуальных качеств ЛПР на взаимодействие многочисленных субъектов сложных систем железнодорожного транспорта и применение к ним новых подходов к организации их взаимодействия с использованием информатизации и элементов ИИ.

В основе ТИН [2, 11] лежат принципы самоорганизации и эволюции взаимодействия отдельных субъектов сложной системы путем разрешения конфликтных противоречий обеспечения надежности, причем в отличие от ранее известных научных подходов ЛПР считается внутренней составляющей такой системы. Конфликтные противоречия всегда сопровождают сложные системы на всех этапах ее развития. На этапе проектирования – это конфликтное противоречие между прочностью и весом детали (узла, изделия). На этапе изготовления – сроки выпуска и комплектация деталей и узлов. Решение задачи по преодолению таких конфликтных противоречий на основе «соглашений и договоренностей» на уровне исполнителей приводит к эффекту самоорганизации и является залогом надежного и качественного функционирования сложной системы с большим количеством элементов [2–6, 11–13, 15, 16].

В современных вертикально-ориентированных системах типа УРРАН [6], где решение принимает руководитель, новый подход использует горизонтально-ориентированные схемы на основе системы принятия решения (СПР), где решение принимает исполнитель (ЛПР) в режиме реального масштаба времени, что является определяющим и принципиальным в новом подходе. На этой основе разрабатываются новые технологии повышения надежности и качества сложных систем новизна, которых определяется широким применением информатизации и элементов ИИ при их проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте. Применение современных информационных технологий позволяет получать в сложных системах эффект эволюции и самоорганизации по аналогии с процессами живой природы. Решение задач надежности и качества сложных систем происходит и самоорганизуется постепенно за счет целеполагаемого взаимодействия большого числа так называемых «агентов», непрерывно конкурирующих и кооперирующихся друг с другом для решения общей целевой для всех задач обеспечения надежности [2–6, 11, 16, 17].

Заключение

1. Гибкость и скорость внедрения инноваций – основа умных производственных систем (УПС), обеспечивающих новое качество продукции промышленности, транспортной и энергетической инфраструктуры. Качество продукции и услуг в железнодорожной отрасли в сочетании с качеством управления зависит от инструментов обеспечения качества: метрологии, стандартизации и сертификации на основе альтернативных технологий (традиционных и аддитивных), обеспечивающих свойства и характеристики продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять своему технологическому назначению.

2. Появление систем АТ быстрого изготовления прототипов позволяет получать и диагностировать физические модели их уже через несколько дней (часов) и применять в железнодорожной отрасли с изготовлением множества экспериментальных моделей и макетов деталей, требующих временных затрат для конструирования и изготовления.

3. Исследования УПС в области проблем надежности и качества связываются с развитием ГПС и ее основных элементов ГПМ и РТК на основе многокритериального подхода к оценке надежности с участием ЛПР различного профиля в выборе стратегии параметрического синтеза и методов решения задачи с использованием детерминированных и стохастических критериев; системы принятия решения об управляющих воздействиях по надежности на основе сетцентрических систем для поддержки механизмов принятия и согласования решений по надежности и на основе развития логики и протоколов взаимодействия для виртуального «круглого стола» с оптимизацией на дискретном множестве номиналов параметров.

4. Одним из факторов оптимизации управленческой деятельности является формирование инновационных управленческих и альтернативных технологий, включая психологическое управление, которые связывают современные научные знания, практический опыт и творческий потенциал работников в оптимальную систему на основе внедрения 3D-технологий в образование и научную деятельность для работы в УПС РЖД.

Библиографический список

1. *Перевертов, В. П.* Управление кузнечными машинами в ГПС / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, М. Е. Маркушин. – Куйбышев, 1987. – 160 с.
2. *Перевертов, В. П.* Качество управления гибкими технологиями : монография / В. П. Перевертов. – Самара : СамГУПС, 2019. – 270 с.
3. Патент 1696914. Устройство для контроля максимальной деформации кузнечно-штамповочных машин / В. П. Перевертов, Ю. А. Бочаров, А. П. Андреев, А. В. Герасимов, Е. Б. Беспалько ; заявитель и патенто-обладатель Куйбышев. ин-т инженеров железнодорожного транспорта. – № 4366299 ; заявл. 19.01.1988 ; опубл. 07.12.1991, Бюл. № 45.
4. *Мишанов, Р. О.* Выбор электрических параметров интегральных микросхем специального назначения для проведения индивидуального прогнозирования показателей качества и надежности / Р. О. Мишанов, М. Н. Пиганов, В. П. Перевертов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 43–54.
5. *Перевертов, В. П.* Методика расчета быстродействующего исполнительного органа КШМ с системой диагностического управления / В. П. Перевертов, Н. К. Юрков, М. Н. Пиганов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 40–49.
6. *Виттих, В. А.* Введение в теорию интересубъективного управления / В. А. Виттих. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2013. – 64 с.
7. *Андрончев, И. К.* Стратегия интересубъектной надежности сложных технических систем железнодорожного транспорта / И. К. Андрончев, В. П. Перевертов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 1. – С. 70–73.
8. *Зленко А. М.* Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / А. М. Зленко, М. В. Нагайцев, А. В. Довбыш. – Москва : ГПЦ РФ ФУГП «НАМИ», 2015. – 220 с.
9. ГОСТ Р 57558. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. – Москва, 2017. – 18 с.
10. *Перевертов, В. П.* Технологии обработки материалов концентрированным потоком энергии / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3 (11). – С. 69–79.
11. *Перевертов, В. П.* Качество продукции и услуг РЖД в сочетании с качеством управления / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, М. М. Абулкасимов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 116–120.
12. *Перевертов, В. П.* Система умной инфраструктуры РЖД и нанотехнологии / В. П. Перевертов, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 100–102.
13. *Перевертов, В. П.* Метрология. Стандартизация. Сертификация : конспект лекций / В. П. Перевертов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Самара : СамГУПС, 2017. – 212 с.
14. *Перевертов, В. П.* Система диагностирования и технического обслуживания НТТС и ПС в условиях РЖД / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 2. – С. 93–95.
15. *Гапанович, В. А.* Система УРРАН. Универсальный инструмент поддержки принятия решений / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 16–22.
16. *Перевертов, В. П.* К вопросу выбора инновационных технологий формообразования деталей в умных производственных системах / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2019. – Т. 1. – С. 42–45.

References

1. Perevertov V. P., Bocharov Yu. A., Markushin M. E. *Upravlenie kuznechnymi mashinami v GPS* [Managing blacksmithing machines in GPS]. Kuibyshev, 1987, 160 p. [In Russian]
2. Perevertov V. P. *Kachestvo upravleniya gibkimi tekhnologiyami: monografiya* [Quality of flexible technology management: monograph]. Samara: SamGUPS, 2019, 270 p. [In Russian]
3. Patent 1696914. *Ustroystvo dlya kontrolya maksimal'noy deformatsii kuznechno-shtampovochnykh mashin* [Patent 1696914. Device for monitoring the maximum deformation of forging and stamping machines]. V. P. Perevertov, Yu. A. Bocharov, A. P. Andreev, A. V. Gerasimov, E. B. Beshpal'ko; applicant and patent holder Kuibyshev Institute of Railway Engineers. No. 4366299; appl. 19.01.1988; publ. 07.12.1991, bull. no. 45. [In Russian]
4. Mishanov R. O., Piganov M. N., Perevertov V. P. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 2 (22), pp. 43–54. [In Russian]
5. Perevertov V. P., Yurkov N. K., Piganov M. N. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 3 (23), pp. 40–49. [In Russian]

6. Vittikh V. A. *Vvedenie v teoriyu intersub"ektivnogo upravleniya* [Introduction to the theory of intersubjective management]. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN, 2013, 64 p. [In Russian]
7. Andronchev I. K., Perevertov V. P. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2017, vol. 1, pp. 70–73. [In Russian]
8. Zlenko A. M., Nagaytsev M. V., Dovbysh A. V. *Additivnye tekhnologii v mashinostroenii: posobie dlya inzhenerov* [Additive technologies in mechanical engineering: a handbook for engineers]. Moscow: GPTs RF FUGP «NAMI», 2015, 220 p. [In Russian]
9. GOST R 57558. *Additivnye tekhnologicheskie protsessy. Bazovye printsipy. Chast' 1. Terminy i opredeleniya* [GOST R 57558. Additive manufacturing processes. Basic principle. Part 1. Terms and definitions]. Moscow, 2017, 18 p. [In Russian]
10. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Abulkasimov M. M. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2015, no. 3 (11), pp. 69–79. [In Russian]
11. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Abulkasimov M. M. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2017, vol. 2, pp. 116–120. [In Russian]
12. Perevertov V. P., Yurkov N. K. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 1, pp. 100–102. [In Russian]
13. Perevertov V. P. *Metrologiya. Standartizatsiya. Sertifikatsiya: konspekt lektsiy* [Metrology. Standardization. Certification : the abstract of lectures]. 3d ed., rev. and suppl. Samara: SamGUPS, 2017, 212 p. [In Russian]
14. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Yurkov N. K. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 2, pp. 93–95. [In Russian]
15. Gapanovich V. A. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. 2012, no. 10, pp. 16–22. [In Russian]
16. Perevertov V. P., Andronchev I. K., Yurkov N. K. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium Reliability and quality]. 2019, vol. 1, pp. 42–45. [In Russian]

Перевертов Валерий Петрович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра наземных транспортно-технологических
средств,
Самарский государственный университет
путей сообщения
(443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2 В)
E-mail: vperevertov@yandex.ru

Андрончев Иван Константинович

доктор технических наук, профессор,
кафедра электрического транспорта,
ректор Самарского государственного
университета путей сообщения
(443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2 В)
E-mail: rektoratSamgups@mail.ru

Семочкина Ирина Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный технологический
университет
(440039, Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: ius1961@gmail.com

Perevertov Valeriy Petrovich

candidate of technical sciences, professor,
sub-department of ground transportation
and technology tools,
Samara State University of Communications
(443066, 2B Svobody street, Samara, Russia)

Andronchev Ivan Konstantinovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of electric transport,
rector of Samara State University
of Communications
(443066, 2B Svobody street, Samara, Russia)

Semochkina Irina Yur'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technology
and systems,
Penza State Technological University
(440039, 1a/11 Baydukov passage/Gagarin street,
Penza, Russia)

Образец цитирования:

Перевертов, В. П. Качество управления альтернативными технологиями формообразования деталей в «умных» производственных системах / В. П. Перевертов, И. К. Андрончев, И. Ю. Семочкина // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4 (28). – С. 102–111. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-4-11.