

17. Yashkin S.N. K voprosu klassifikatsii vrashcheniy i svyazi mgnovennykh povorotov i nepreryvnykh vrashcheniy [On the question of the classification of rotations and the connection of instantaneous rotations and continuous rotations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'yemka* [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 2003. No. 4. Pp. 3–15.

18. Usataya T.V., Usatyi D.Yu., Svistunova E.A. Trekhmernoe komp'yuternoe modelirovanie v proektno-tekhnologicheskoi deyatel'nosti [Three-dimensional computer modeling in design and technological activity]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technologies and production], 2015. No. 4(10). Pp. 28–31.

#### Информация об авторах

**Попов Игорь Павлович** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов, Курганский государственный университет, г. Курган, e-mail: ip.popov@yandex.ru

#### Information about the authors

**Igor' P. Popov** – Ph.D. of Engineering Science, Senior Lecturer of the Subdepartment of Mechanical Engineering, Metal-Cutting Machines and Tools, Kurgan State University, Kurgan, e-mail: ip.popov@yandex.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.2(70).30-36

УДК 621.398.001.2

## Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения автоматизированной системы технологической подготовки производства коаксиальных радиокомпонентов для сверхвысокочастотной микроэлектроники спутниковой радиосвязи на железнодорожном транспорте

Ю. И. Карлина<sup>1</sup>✉, А. П. Хоменко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

<sup>2</sup> *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉ karlinigor@mail.ru

#### Резюме

Потребность в импортозамещении, проектировании и производстве аппаратуры связи для железнодорожного транспорта выдвигает требования по взаимодействию участников рынка радиоаппаратуры. Предложено использование методик цифровизации для создания цифрового двойника продукции и технологии его изготовления. Приведены основные параметры конструктора коаксиальных радиокомпонентов для сбора информации о требованиях потребителей. При формировании представительства предприятия-производителя коаксиальных радиокомпонентов необходимо создать конструктор изделия для подбора и моделирования конструкции и характеристик потребителями продукции. Основные параметры конструктора должны включать в себя нормируемые характеристики с диапазоном допустимых значений по видам изделий. Сбор и обработка информации об использовании конструктора потребителями позволит начать формировать цифровой портрет потребителя, данные о котором должны быть дополнены информацией из других источников, в том числе не формализуемой информацией, получаемой из блогов, научных статей, тематических сообществ в Интернете. Создание цифрового двойника технологии производства коаксиальных радиокомпонентов позволит осуществлять дополнение и изменение параметров конструктора изделия по мере совершенствования технологий изготовления и расширения диапазона нормируемых характеристик, а данные цифрового портрета потребителя обозначат направления для совершенствования технологий и приведения их в соответствие требованиям потребителя. Возрастающие требования к аппаратуре передачи данных приводят к потребности применения новых изоляционных материалов, обеспечивающих радиационную стойкость и диэлектрическую проницаемость коаксиальных радиокомпонентов, оборудования, оснащенного программируемыми логическими контроллерами и техническими системами регулирования. Необходимым условием для обеспечения работоспособности автоматизированной системы технологической подготовки производства является применение высокоточных станков с числовым программным управлением для микромеханики, контрольно-измерительных машин, автоматизированных линий для гальванического покрытия и сборки, способных передавать данные о выполненных операциях и устанавливать рассчитанные в автоматизированной системе технологической подготовки производства параметры обработки с учетом фактических параметров качества, полученных на предыдущих операциях.

#### Ключевые слова

моделирование, информационное обеспечение автоматизированной системы технологической подготовки производства, коаксиальные радиокомпоненты, электроника, радиосвязь на железнодорожном транспорте, параметризация

#### Для цитирования

Карлина Ю. И. Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения автоматизированной системы технологической подготовки производства коаксиальных радиокомпонентов для сверхвысокочастотной микроэлектроники спутниковой радиосвязи на железнодорожном транспорте /

Ю. И. Карлина, А. П. Хоменко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 30–36. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).30-36

### Информация о статье

поступила в редакцию: 07.03.2021, поступила после рецензирования: 12.03.2021, принята к публикации: 01.04.2021

## Methods for effective organization and supervision of specialized information and software support of the automated system of production planning of coaxial radio components for super high frequency microelectronics for satellite radio communication in railway transport

Yu. I. Karlina<sup>1</sup>✉, A. P. Khomenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ karlinigor@mail.ru

### Abstract

The need for import substitution, design and production of communication equipment for railway transport puts forward requirements for the interaction of participants in the radio equipment market. The article proposes using digitalization techniques to create a digital twin of products and technology for its manufacture. It presents the main parameters of the construction kit of coaxial radio components to collect information about consumer requirements. When forming a representative office of a manufacturer of coaxial radio components, it is necessary to create a product construction kit to select and model the design and characteristics of products by consumers. The main parameters of the construction kit should include standardized characteristics with a range of permissible values according to product types. Collecting and processing information about the use of the construction kit by consumers will make it possible to start forming a digital portrait of a consumer, data about which should be supplemented with information from other sources, including non-formalized information obtained from blogs, scientific articles, and thematic communities on the Internet. The creation of a digital twin of the technology for the production of coaxial radio components will allow adding and changing the parameters of the product construction kit as long as the manufacturing technologies improve and the ranges of standardized characteristics are expanded, and the data of the digital portrait of the consumer will indicate the directions for improving the technologies and bringing them in line with the consumer's requirements. Increasing requirements for data transmission equipment result in the need to use new insulating materials that provide radiation resistance and dielectric permittivity of coaxial radio components, devices equipped with programmable logic controllers and technical control systems. An essential prerequisite for ensuring the operability of the automated production planning system is the use of high-precision CNC machines for micromechanics, control and measuring machines, automated lines for electroplated coating and assembly, capable of transmitting data on the operations performed and setting processing parameters calculated in the automated production planning system, taking into account the actual quality parameters obtained in the previous operations.

### Keywords

modeling, information support of the automated system of technological information support of automated production planning system, coaxial radio components, electronics, radio communication in railway transport, parameterization

### For citation

Karlina Yu. I., Khomenko A. P. Metody effektivnoi organizatsii i vedeniya spetsializirovannogo informatsionnogo i programmno obespecheniya avtomatizirovannoi sistemy tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva koaksial'nykh radiokomponentov dlya sverkhvy-sokochastotnoi mikroelektroniki sputnikovoi radiosvyazi na zheleznodorozhnom transporte [Methods for effective organization and supervision of specialized information and software support of the automated system of production planning of coaxial radio components for super high frequency microelectronics for satellite radio communication in railway transport]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 2 (70), pp. 30–36. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).30-36

### Article Info

Received: 07.03.2021, Revised: 12.03.2021, Accepted: 01.04.2021

### Введение

Повышение надежности и качества радиосвязи, сокращение капиталовложений и снижение эксплуатационных расходов является одной из приоритетных задач ОАО «РЖД». Перспективность использования подвижной спутниковой связи на железнодоро-

жном транспорте определяется ее следующими достоинствами:

- возможность обеспечения связи непосредственно из подвижного объекта (вагон, локомотив и др.) на стоянке и в движении;
- практически неограниченная дальность связи;

– независимость качества и стоимости каналов от расстояния между абонентами;

– возможность работы в режиме многостанционного доступа, при котором несколько абонентских станций работают в общем стволе искусственных спутников Земли;

– высокое качество связи в специфических для железных дорог условиях;

– простота подключения потребителей к каналу связи независимо от вида передаваемой информации [1, 2].

Вследствие того, что в настоящее время отсутствуют отечественные системы подвижной спутниковой связи гражданского назначения на сети железных дорог, ОАО «РЖД» используются зарубежные системы спутниковой связи Globalstar и Inmarsat [3]. Предпосылкой к созданию систем подвижной спутниковой связи российского производства, а также СВЧ-систем радиорелейной связи, СВЧ-систем локальной передачи данных является создание технологической платформы «СВЧ технологии», которая включена в перечень технологических платформ, утвержденный решениями Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 01 апреля 2011 г. протокол № 2, от 05 июля 2011 г. протокол № 3; решением президиума Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 21 февраля 2012 г. протокол № 2. Создание этой платформы обусловило развитие и расширение элементной базы СВЧ-микроэлектроники.

Непрерывное совершенствование и расширение номенклатуры коаксиальных радиокомпонентов – соединителей, переходов, ВЧ- и НЧ-фильтров, обусловило жесткие требования к их производству. Производство коаксиальных радиокомпонентов является многономенклатурным и мелкосерийным, имеется тенденция к постоянному появлению новых требований потребителей, приводящих к изменению номенклатуры, индивидуализации конструктивных исполнений изделий. Постоянный рост требований к качеству и характеристикам коаксиальных радиокомпонентов, совершенствование технологий приводит к тому, что технологические процессы производства и конечная продукция становятся все сложнее и разнообразнее. Повышается спрос на максимальный учет индивидуальных требований заказчика. Возникает необходимость массовой кастомизации и даже персонализации продукции, когда изделие изготавливается под конкретного заказчика. Однако при этом конкуренция требует выводить продукты на рынок все быстрее, а это, в свою очередь, способствует ускорению производственных процессов. В результате такой трансформации проявились некоторые негативные тенденции – увеличение продолжительности и стоимости разработок, потеря качества изделий, снижение прибыли компа-

ний-разработчиков, а в некоторых случаях и репутационный ущерб [4].

### **Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения автоматизированной системы технологической подготовки производства коаксиальных радиокомпонентов**

Для повышения уровня автоматизации и эффективности применения автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) коаксиальных радиокомпонентов необходимо изменить подход к проектированию. Теперь проектирование должно базироваться на результатах математического и численного моделирования. Применение моделирования на всех этапах проектирования позволит оптимизировать проектную деятельность за счет сокращения сроков и стоимости, а также повышения качества. Системы управления и контроля тоже усложняются и становятся более комплексными: согласно закону необходимого разнообразия Уильяма Эшби, невозможно управлять сложными процессами при помощи простой системы. Проблема роста сложности производственных технологий и продуктов наиболее актуальна для высокотехнологичных направлений производства высокотехнологичной электроники. Решить проблему сложности при помощи традиционных технологий вряд ли возможно. Необходимы новый подход к изготовлению материалов, автоматизация, интеллектуализация и цифровизация производства, а также переход к «системной инженерии», т. е. планированию не отдельных операций, а сразу всего жизненного цикла продукта, начиная от проектирования и заканчивая утилизацией. Решениями, реализующими новый подход, являются цифровые, «умные» и виртуальные фабрики будущего (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future). Цифровое проектирование, моделирование, новые материалы и технологии применяются при создании таких предприятий. Ведущую роль в развитии концепции предприятий будущего играет новая парадигма цифрового проектирования и моделирования «Умные цифровые двойники», при которой моделирование и оптимизация происходят с использованием технологии интеллектуальной обработки больших данных, а проектирование и производство на продвинутом уровне [5].

Новый уровень развития автоматизированных систем проектирования основан на построении математических моделей с высокой степенью соответствия характеристикам реальных изделий, реальным производственным процессам и технологиям. Модели образованы трехмерными нестационарными нелинейными сложными дифференциальными уравнениями в частных производных. Эти модели

многосторонне и максимально полно отражают знания об изделии на всех этапах жизненного цикла (проектирования, производства, эксплуатации и утилизации) и включают:

1. Законы фундаментальных наук (математическая физика, теории колебаний, упругости, пластичности и т. д., механика разрушения, механика композиционных материалов и композитных структур, контактного взаимодействия, динамика и прочность машин, вычислительная механика, гидроаэродинамика, тепло-массообмен, электромагнетизм, акустика, технологическая механика и др.).

2. Геометрические (CAD) и вычислительные конечно-элементные (CAE) полномасштабные модели реальных объектов и физико-механических процессов.

3. Данные о конструкционных материалах, применяемых при изготовлении изделия, включая данные о поведении материалов при воздействии тепловых, электромагнитных и других полей, скоростном деформировании, вибрационном, ударном, мало- и многоцикловом нагружении [6].

4. Сведения об эксплуатационных режимах (нормальные условия эксплуатации, нарушение нормальных условий эксплуатации, аварийные ситуации и т. д.), включая сведения об обеспечении заданного поведения конструкции в регламентируемых режимах (так называемое программируемое поведение) [6].

5. Информацию о технологических процессах производства деталей, агрегатов, узлов и изделий.

6. Прочие нормируемые свойства.

Коаксиальные радиокомпоненты предназначены для передачи сигналов на частотах до 40 ГГц с микрополосковой линии на радиочастотный кабель, подачи питающих напряжений и управляющих сигналов, а также для подавления внутренних и внешних электромагнитных помех в современных герметизированных устройствах микроэлектроники СВЧ [7] (рис. 1).



**Рис. 1.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты  
**Fig. 1.** Miniature coaxial radio components

Степень миниатюризации коаксиальных радиокомпонентов хорошо видна в сравнении с монетой 10 коп. (рис. 2).



**Рис. 2.** Степень миниатюризации коаксиальных радиокомпонентов

**Fig. 2.** The degree of miniaturization of coaxial radio components

Для создания цифрового двойника технологии производства коаксиальных радиокомпонентов необходимо обеспечить сбор информации о технологических и производственных процессах, применяемых материалах, инструменте, оснастке, оборудовании. Возрастающие требования к аппаратуре передачи данных приводят к потребности применять новые изоляционные материалы, обеспечивающие радиационную стойкость и диэлектрическую проницаемость коаксиальных радиокомпонентов, оборудование, оснащенное программируемыми логическими контроллерами и техническими системами регулирования. Необходимым условием для обеспечения работоспособности АСТПП является применение высокоточных станков с числовым программным управлением для микромеханики, контрольно-измерительных машин, автоматизированных линий для гальванического покрытия и сборки, способных передавать данные о выполненных операциях и устанавливать рассчитанные в АСТПП параметры обработки с учетом фактических параметров качества, полученных на предыдущих операциях. Расчет параметров обработки необходимо производить на основе научно-обоснованных зависимостей параметров качества от режимов обработки и внешних воздействий путем создания математических моделей процессов обработки.

Для создания цифрового двойника изделия необходимо провести классификацию изделий, определить их основные нормируемые потребительские характеристики.

Коаксиальные радиокомпоненты подразделяются на группы по видам изделий:

- микрополосковые коаксиальные переходы;
- адаптеры;
- соединители;
- СВЧ-вводы;
- НЧ-вводы и изоляционные стойки;
- фильтры помех.

Параметры коаксиальных радиокомпонентов, подлежащие нормированию:

- номинальное волновое сопротивление;
- номинальная площадь сечения канала и ее допустимые отклонения;
- диапазон частот;
- коэффициент стоячей волны по напряжению;
- прочность изоляции;
- диапазон напряжений;
- сопротивления контактов;
- вносимые потери.

При формировании представительства предприятия-производителя коаксиальных радиокомпонентов необходимо создать конструктор изделия для подбора и моделирования конструкции и характеристик потребителями продукции. Основные параметры конструктора должны включать в себя нормируемые характеристики с диапазоном допустимых значений по видам изделий [8–13]. Сбор и обработка информации об использовании конструктора потребителями позволит начать формировать цифровой портрет потребителя, данные о котором должны быть дополнены информацией из других источников, в том числе не формализуемой информацией, получаемой из блогов, научных статей, тематических сообществ в Интернете [14–18].

Создание цифрового двойника технологии производства коаксиальных радиокомпонентов позволит осуществлять дополнение и изменение параметров конструктора изделия по мере совершенствования технологий изготовления и расширения диапазонов нормируемых характеристик, а данные цифрового портрета потребителя обозначат направления для совершенствования технологий и приведения их в соответствие требованиям потребителя [19, 20].

## Заключение

Имеется потребность в импортозамещении, проектировании и производстве аппаратуры связи для железнодорожного транспорта. Конструкторам такой радиоаппаратуры необходимо наиболее полно представлять информацию об имеющихся возможностях российских производителей коаксиальных радиокомпонентов с предоставлением удобного интерфейса для проектирования конструкции и характеристик этих изделий. При формировании представительства предприятия-производителя коаксиальных радиокомпонентов необходимо создать конструктор изделия для подбора и моделирования конструкции и характеристик потребителями продукции. Основные параметры конструктора должны включать в себя нормируемые характеристики с диапазоном допустимых значений по видам изделий. Сбор и обработка информации об использовании конструктора потребителями позволит начать формировать цифровой портрет потребителя, данные о котором должны быть дополнены информацией из других источников, в том числе не формализуемой информацией.

Для создания цифрового двойника технологии производства коаксиальных радиокомпонентов необходимо обеспечить сбор информации о технологических и производственных процессах, применяемых материалах, инструменте, оснастке, оборудовании. Расчет параметров обработки необходимо производить на основе научно-обоснованных зависимостей параметров качества от режимов обработки и внешних воздействий путем создания математических моделей процессов обработки.

Создание цифрового двойника технологии производства коаксиальных радиокомпонентов позволит осуществлять дополнение и изменение параметров конструктора изделия по мере совершенствования технологий изготовления и расширения диапазонов нормируемых характеристик, а данные цифрового портрета потребителя обозначат направления для совершенствования технологий и приведения их в соответствие требованиям потребителя.

## Список литературы

1. Стратегия развития Холдинга «РЖД» на период до 2030 года. М. : ОАО «РЖД», 20.12.2013.
2. Урусов А.В. Цифровая железная дорога // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 1. С. 6–8.
3. Оленцевич В.А., Гозбенко В.Е. Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 189–190.
4. От «ТехУспеха» к национальным чемпионам : аналитический доклад (краткая версия) / АО «РВК» // ТехУспех : сайт URL: [https://www.rvc.ru/upload/iblock/293/Buklet\\_Rezultaty\\_issledovaniya\\_TehUspeh.pdf](https://www.rvc.ru/upload/iblock/293/Buklet_Rezultaty_issledovaniya_TehUspeh.pdf) (дата обращения 18.05.2021).
5. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии : рабочий доклад Департамента Корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. URL: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11\\_november/17/tsifrovoe\\_proizvodstvo\\_112017.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf) (дата обращения 18.02.2021).
6. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения (дополненная версия) // Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ : сайт. URL: <http://fea.ru/news/6721> (дата обращения 12.03.2021).

7. Джуринский К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Соединители, коаксиально-микроразветвляющиеся переходы, адаптеры, СВЧ-вводы, низкочастотные вводы, изоляционные стойки, фильтры помех. М. : Техносфера, 2006. 216 с.
8. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. № 8 (57). С. 7–12.
9. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. СПб. : Политехника, 2008. 304 с.
10. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы данных интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
11. Гозбенко В.Е. Управление динамическими свойствами механических колебательных систем. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2000. 412 с.
12. Яблочников Е.И. применение многоагентных технологий для реализации системы управления виртуальным предприятием / М.Я. Афанасьев, А.А. Саломатина, Е.Е. Алёшина и др. // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 5(75). С. 105–111.
13. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Применение оценочных метрик для анализа технологической подготовки производства // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 6 (76). С. 109–112.
14. Гозбенко В.Е. Методы управления динамикой механических систем на основе вибрационных полей и инерционных связей. М. : Машиностроение, 2004. 367 с.
15. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. Организация технологической подготовки производства в распределенной среде // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 6. С. 12–15.
16. Аверин В.В., Гусельников В.С. Автоматизация проектирования управляющих программ // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. № 6 (53). С. 67–71.
17. Вороненко В.П., Седых М.И., Шашин А.Д. Проектирование и эффективная эксплуатация производственных участков многономенклатурного машиностроительного производства // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева. 2017. № 1 (40). С. 182–189.
18. Вороненко В.П., Шашин А.Д. Планирование опытного производства с учетом его текущего состояния // Автоматизированное проектирование в машиностроении : материалы V междунар. заочной науч.-практ. конф. Новокузнецк : НИЦ МС, 2017. № 5. 134 с.
19. Маданов А.В. Анализ проблем при обработке деталей сложной геометрии и путей их решения на этапе технологической подготовки производства // Проблемы науки. 2015. № 1 (1). С. 14–16.
20. Будущее машиностроения России : сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2008. С. 48.

### References

1. Strategiya razvitiya Kholdinga «RZhD» na period do 2030 goda [Development strategy of the Russian Railways Holding for the period up to 2030]. Moscow: OAO Russian Railways Publ., 20.12.2013.
2. Urusov A.V. Tsifrovaya zheleznaya doroga [Digital railway]. *Avtomatika, svyaz', informatika [Automation, communication, informatics]*, 2018. No. 1. Pp. 6–8.
3. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. Zadachi prispособleniya transportnoi infrastruktury k novym tekhnologiyam [Problems of adapting transport infrastructure to new technologies]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress [Modern technology and technological advance]*, 2021. No. 8. Pp. 189–190.
4. Ot «TekhUspekha» k natsional'nykh chempionam [From TekhUspekha to national champions] [Electronic media]. URL: [https://www.rvc.ru/upload/iblock/293/Buklet\\_Rezultaty\\_issledovaniya\\_TehUspeh.pdf](https://www.rvc.ru/upload/iblock/293/Buklet_Rezultaty_issledovaniya_TehUspeh.pdf).
5. Tsifrovoe proizvodstvo. Metody, ekosistemy, tekhnologii [Digital production. Methods, ecosystems, technologies] [Electronic media]. URL: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11\\_november/17/tsifrovoe\\_proizvodstvo\\_112017.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf).
6. Tsifrovoe proizvodstvo. Metody, ekosistemy, tekhnologii. Gl. 2. Novaya paradigma tsifrovogo proektirovaniya i modelirovaniya global'no konkurentosposobnoi produktsii novogo pokoleniya (dopolnennaya versiya) [Digital production. Methods, ecosystems, technologies. Chapter 2. A new paradigm of digital design and modeling of globally competitive products of a new generation (updated version)] [Electronic media]. URL: <http://fea.ru/news/6721>.
7. Dzhurinskii K.B. Miniaturnye koaksial'nye radiokomponenty dlya mikroelektroniki SVCh. Soediniteli, koaksial'no-mikropoloskovyye perekhody, adaptery, SVCh-vvody, nizkochastotnye vvody, izolyatsionnye stoiki, fil'try pomekh [Miniature coaxial radio components for microwave microelectronics. Connectors, coaxial-microstrip transitions, adapters, microwave inputs, low-frequency inputs, isolation racks, noise filters]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2006. 216 p.
8. Kulikov D.D., Padun B.S., Yablochnikov E.I. Perspektivy avtomatizatsii tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Prospects for the automation of technological preparation of production]. *Izv. vuzov. Priborostroyeniye [Proceedings of universities. Instrument making]*, 2014. No. 8 (57). Pp. 7–12.
9. Zil'berburg L.I., Molochnik V.I., Yablochnikov E.I. Informatsionnye tekhnologii v proektirovani i proizvodstve [Information technologies in design and production]. St. Petersburg: Polytekhnik Publ., 2008. 304 p.
10. Gavrilova T.A., Khoroshevskii V.F. Bazy dannykh intellektual'nykh sistem [Databases of intelligent systems]. St. Petersburg: Piter Publ., 2000. 384 p.
11. Gozbenko V.E. Upravlenie dinamicheskimi svoystvami mekhanicheskikh kolebatel'nykh sistem [Control of dynamic properties of mechanical oscillatory systems]. Irkutsk, 2000.
12. Afanas'ev M.Ya., Salomatina A.A., Alyoshina E.E., Yablochnikov E.I. Primenenie mnogoagentnykh tekhnologii dlya realizatsii sistema upravleniya virtual'nym predpriyatiem [Application of multi-agent technologies for the implementation of a

virtual enterprise management system]. *Nauch.-tekhn. vestn. Informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki* [Nauch.-tekhn. vestn. Information technology, mechanics and optics], 2011. No. 5 (75). Pp. 105–111.

13. Kulikov D.D., Yablochnikov E.I. Primenenie otsenochnykh metrik dlya analiza tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Application of evaluative metrics for the analysis of technological preparation of production]. *Nauch.-tekhn. vestn. informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical. vestn. information technology, mechanics and optics], 2011. No. 6 (76). Pp. 109–112.

14. Gozbenko V.E. Metody upravleniya dinamiki mekhanicheskikh sistem na osnove vibratsionnykh polei i inertsiionnykh svyazei [Methods of controlling the dynamics of mechanical systems based on vibrational fields and inertial couplings]. Moscow, 2004.

15. Yablochnikov E.I., Fomina Yu.N., Salomatina A.A. Organizatsiya tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva v raspredelennoi srede [Organization of technological preparation of production in a distributed environment]. *Izv. vuzov. Priborostroenie* [Izv. universities. Instrumentation], 2010. Vol. 53. No. 6. Pp. 12–15.

16. Averin V.V., Gusel'nikov V.S. Avtomatizatsiya proektirovaniya upravlyayushchikh programm [Design automation of control programs]. *Izv. vuzov. Priborostroenie* [Proceedings of universities. Instrument-making], 2010. No. 6 (53). Pp. 67–71.

17. Voronenko V.P., Sedykh M.I., Shashin A.D. Proektirovanie i effektivnaya ekspluatatsiya proizvodstvennykh uchastkov mnogonomenklaturnogo mashinostroitel'nogo proizvodstva [Design and efficient operation of production areas of multi-product machine-building production]. *Vestnik RGATU imeni P.A. Solov'eva* [The Vestnik of P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University], 2017. No. 1 (40). Pp. 182–189.

18. Voronenko V.P., Shashin A.D. Planirovanie opytного proizvodstva s uchetom ego tekushchego sostoyaniya [Planning a pilot production taking into account its current state]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii: Materialy V mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Computer-aided design in mechanical engineering: Proceedings of the V international correspondence scientific and practical conference]. Novokuznetsk: SRC MS Publ., 2017. No. 5. 134 p.

19. Madanov A.V. Analiz problem pri obrabotke detalei slozhnoi geometrii i putei ikh resheniya na etape tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Analysis of problems in processing parts of complex geometry and ways to solve them at the stage of technological preparation of production]. *Problemy nauki* [Problems of science], 2015. No. 1 (1). Pp. 14–16.

20. Budushchee mashinostroeniya Rossii [The future of mechanical engineering in Russia]. *Sbornik trudov Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov* [Proceedings of the All-Russian conference of young scientists and specialists]. Bauman MSTU Publ., 2008. Pp. 48.

#### Информация об авторах

**Карлина Юлия Игоревна** – научный сотрудник Научно-исследовательской части, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: karlinigor@mail.ru

**Хоменко Андрей Павлович** – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: homenko\_ap@irgups.ru

#### Information about the authors

**Yuliya I. Karlina** – Research officer of the Research Department, Ph.D. student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: karlinigor@mail.ru

**Andrei P. Khomenko** – Doctor in Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: homenko\_ap@irgups.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.2(70).36-43

УДК 621,3; 629.14

## Методологические аспекты информационного-измерительных комплексов функционального диагностирования динамических объектов электрифицированного железнодорожного транспорта

**М. С. Якубов**✉, **У. Ш. Исроилов**, **И. А. Каримов**

*Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан*

✉ etkmyakubov@yandex.ru

#### Резюме

В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты разработки математических моделей информационно-измерительных комплексов функционального диагностирования и мониторинга технологических объектов тяговых подстанций, а также установок и элементов контактной сети высокоскоростного движения с преимущественным акцентом применения инновационных технологий. Отмечены характеристики электроснабжения находящихся под влиянием сложных динамических и взаимосвязанных технологических режимов энергонапряженных объектов контактной сети и тяговых подстанций, рассредоточенных на большой площади, которые должны обеспечивать надежное функционирование по требуемой мощности и параметрам качества электроэнергии, а также безопасности и устойчивости процесса управления подвижного состава. Для обеспечения взаимоувязанных технико-технологических режимов с учетом многокритериальных оптимальных показателей и формирования решений показана целесообразность непрерывной функциональной диагностики объектов посредством применения современных информационно-измерительных комплексов. Отмечена важность для эксплуатации наличия не только встроенных систем и достаточно достоверных средств для функционального диагностирования технологических объектов электроснабжения, но и конкретных методологических