

УДК 004.4

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ПРОЕКТНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИНДУСТРИИ 4.0

А.В. Гурьянов<sup>a</sup>, Д.А. Заколдаев<sup>b</sup>, И.О. Жаринов<sup>a,b</sup>, В.А. Нечаев<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация

<sup>b</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: igor\_rabota@pisem.net

### Информация о статье

Поступила в редакцию 01.01.18, принята к печати 12.03.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Гурьянов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О., Нечаев В.А. Принципы организации цифровых проектных и производственных предприятий Индустрии 4.0 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 421–427. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427

### Аннотация

**Предмет исследования.** Предложены схемы организации работ на проектных и производственных предприятиях Индустрии 4.0 типа «цифровая фабрика» и «умная фабрика». Предприятия типа «цифровая фабрика» и «умная фабрика» являются основой высокотехнологичных производств будущего, разрабатываемых в рамках реализации в Российской Федерации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет». **Метод.** Использованы методы организации проектных и производственных работ по разработке и изготовлению изделий приборостроения в условиях фабрик будущего на основе общей теории автоматизации проектирования в области приборостроения. **Основные результаты.** Показано, что эффект от внедрения предлагаемых принципов организации проектных и производственных предприятий в формате фабрик будущего способствует переходу промышленного сектора экономики Российской Федерации к работе по цифровым технологиям. Основным результатом исследования являются схемы организации проектных и производственных работ на предприятиях Индустрии 4.0 типа «цифровая фабрика» и «умная фабрика». **Практическая значимость.** Результаты работы могут быть использованы при разработке алгоритмов автоматизированного проектирования приборостроительного (машиностроительного) цифрового производства, функционирующего в условиях цифровой экономики Российской Федерации.

### Ключевые слова

Индустрия 4.0, проектирование, производство, схема, предприятие

## DESIGN CONCEPTS FOR DIGITAL PROJECT AND PRODUCTION COMPANIES OF INDUSTRY 4.0 STANDARD

A.V. Gurjanov<sup>a,b</sup>, D.A. Zakoldaev<sup>b</sup>, I.O. Zharinov<sup>a,b</sup>, V.A. Nechaev<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

<sup>b</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: igor\_rabota@pisem.net

### Article info

Received 01.01.18, accepted 12.03.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427

Article in Russian

**For citation:** Gurjanov A.V., Zakoldaev D.A., Zharinov I.O., Nechaev V.A. Design concepts for digital project and production companies of Industry 4.0 standard. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 421–427 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427

### Abstract

**Subject of Research.** The paper proposes work organization schemes for the project and production companies of the Industry 4.0 standard in the mould of «digital factory» and «smart factory». The companies of the «digital factory» and «smart factory» types are the basis for the high-tech production in the future, which are being developed in the Russian Federation as a part of the National technological initiative in the «Tekhnet» direction. **Method.** We applied organization methods for project and production works in the development and manufacturing of item designing components in the conditions of the future factories on the basis of the automated design general theory in the item designing field. **Main Results.** It is shown that implementation effect of the proposed organization principles for project and production companies

in the factories of the future format can contribute to the transfer of the Russian Federation industrial economy sector to work with the digital technologies. The main research results are the project and production work schemes in the Industry 4.0 companies of «digital factory» and «smart factory» types. **Practical Relevance.** The results of this research can be applied in the development of automation design algorithms for instrument making (machine manufacturing) digital production operating in the conditions of the Russian Federation digital economy.

**Keywords**

Industry 4.0, designing, production, scheme, company

**Введение**

В основу существующей системы классификации этапов развития мировой промышленности положены [1, 2] базовые технологии, применявшиеся (применяемые) в соответствующем историческом периоде времени. Принято считать, что первоначальный импульс создания мировой промышленности приходится на период конца XVIII века и связан с заменой ручного труда рабочих технологиями механизации производства, т.е. с внедрением на производстве механических установок, управляемых силой энергии воды и пара. Этот этап первоначального формирования и становления промышленного производства получил собирательное название Индустрии 1.0.

Открытие закона Ома, закона Кулона и др. предопределило в исторической перспективе этап электрификации производства, начало которого приходится на конец XIX века, и формирование Индустрии 2.0 как результата конвергенции производственных технологий механизации и электрификации промышленности. Уже к середине XX века электрификация промышленности позволила создавать поточные линии конвейерного производства для изготовления изделий различного назначения.

Появление средств электронной вычислительной техники, внедрение технологий программирования и технологий числового программного управления как компонентов инструментального обеспечения производства, наряду с механизацией и электрификацией производства, привело [3, 4] во второй половине XX века к эффекту автоматизации технологических процессов, характеризующему Индустрию 3.0 как самостоятельный этап развития промышленности.

Начало XXI века ознаменовало внедрение [5–7] идей и решений в области организации «безлюдного» (умного) производства в промышленный сектор цифровой экономики. Основными элементами производственного комплекса нового типа, которые принято относить к компонентам Индустрии 4.0, являются киберфизические системы – роботизированное автоматическое технологическое и испытательное оборудование, поддерживающее в своей работе следующие технологии [8–10]: Интернет вещей (IoT, Internet of Things), облачные технологии, технологии сбора и обработки больших массивов производственных данных, аддитивные технологии, технологии сенсорики и пр.

**Конвергенция производственных технологий в условиях четырех промышленных революций**

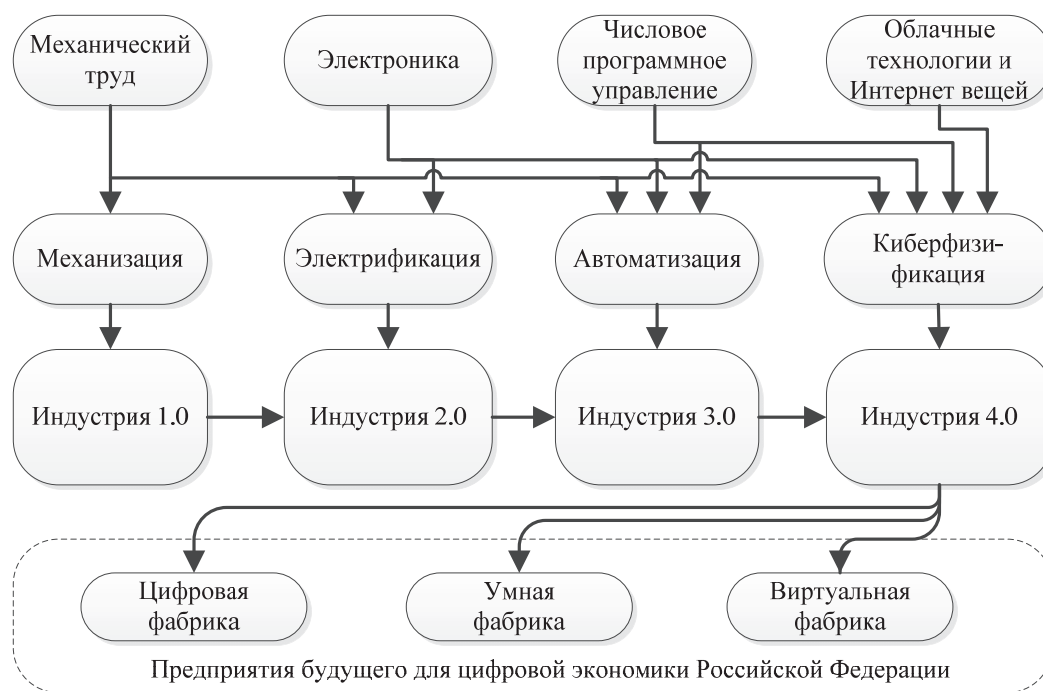


Рис. 1. Конвергенция производственных технологий в условиях четырех промышленных революций

Индустрия 4.0 представляет собой этап современного развития мировой промышленности на основе конвергенции технологий механизации, электрификации, автоматизации и киберфизификации производства. Практическая реализация идей организации «безлюдных» (умных) производств нового типа предполагает сегодня в Российской Федерации создание трех типов «предприятий будущего» (рис. 1):

- цифровая фабрика, специализирующаяся на выполнении этапов проектирования изделий;
- умная фабрика, специализирующаяся на выполнении проектных и производственных этапов создания изделий;
- виртуальная фабрика, поддерживающая технологии, применяемые в течение всего жизненного цикла изделий – от маркетинговых исследований и технико-экономического обоснования создания изделий нового типа до утилизации этих изделий как морально устаревших.

Основной эффект, ожидаемый от внедрения идей Индустрии 4.0 в промышленность Российской Федерации, заключается в существенной автоматизации принятия руководством предприятий и проектно-производственным персоналом предприятий управленческих решений, направленных на совершенствование производственных процессов жизненного цикла изделий (рис. 2), за счет автоматизированного анализа и обработки данных об изделии в течение его жизненного цикла [11].

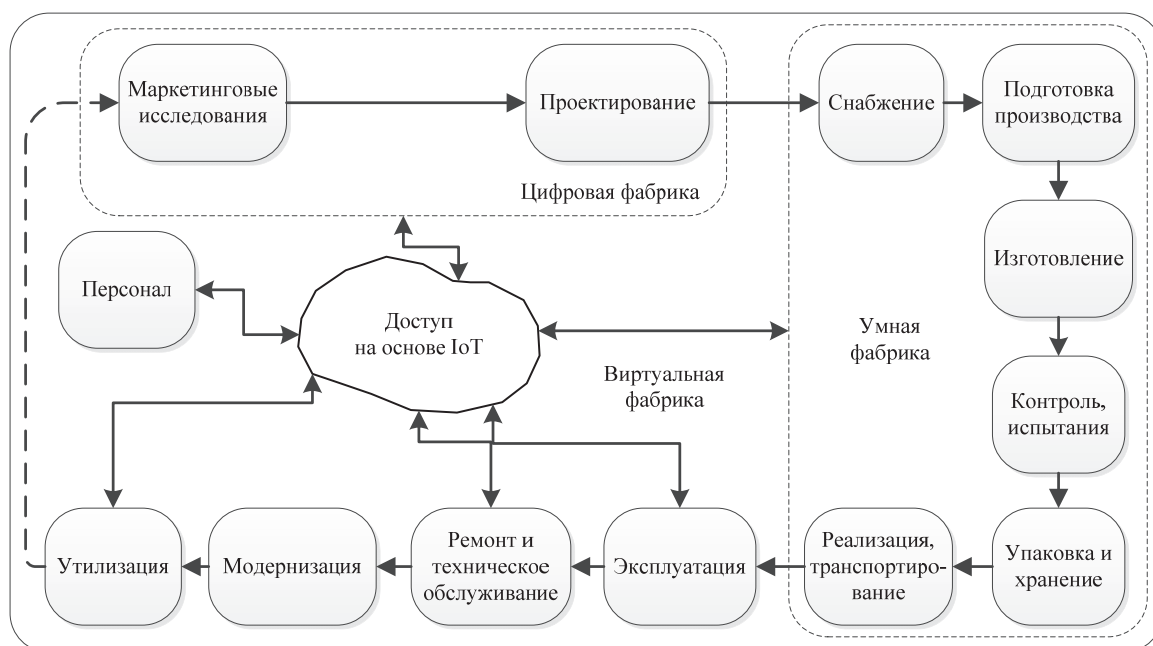


Рис. 2. Жизненный цикл изделий приборостроения на предприятиях (фабриках) Индустрии 4.0 в соответствии с дорожной картой Национальной технологической инициативы «Технет»

### Организация проектной деятельности на предприятиях Индустрии 4.0 типа «цифровая фабрика»

Внедрение новых информационных технологий [8–10] в проектную деятельность приборостроительных предприятий Индустрии 4.0 предполагает переход персонала организаций (разработчиков) к правилам конструирования изделий, основанным на государственных (межгосударственных) и отраслевых стандартах нового поколения.

Эти стандарты, разрабатываемые в настоящее время членами рабочей группы Национальной технологической инициативы «Технет» и профильными организациями, привлеченными к поисковым научным исследованиям в направлении создания передовых производственных технологий, основаны на представлении проектируемого изделия в формате цифровой модели.

Цифровая модель – это компьютерная модель детали или изделия, выполненная в электронном виде, и описывающая геометрическую форму, габаритные размеры и другие физические свойства изделия, зависящие от его формы, размеров и применяемых в нем материалов. Предполагается, что цифровая модель изделия будет электронным конструкторским документом, входящим в состав комплекта конструкторской документации (КД) на изделие и оформляемым по правилам ЕСКД. Наиболее приближенным к перспективной цифровой модели изделия по принципам разработки и оформления документации в Российской Федерации сегодня является межгосударственный стандарт ГОСТ 2.052-2015<sup>1</sup>, которым введены понятия электронной модели изделия и электронного макета изделия – совокупность электронных моде-

<sup>1</sup> ГОСТ 2.052-2015. Электронная модель изделия. Введен. 01.03.2017. М.: Стандартинформ, 2016. 14 с.

лей и электронных документов, определяющих на соответствующем этапе жизненного цикла изделия его состав, форму и некоторые физические свойства. Очевидно, цифровые модели изделия будут адекватны реальным образцам изделий и унаследуют основные черты используемых сегодня в проектной деятельности приборостроительных предприятий электронных моделей изделий.

Отличительной особенностью подтверждения качества комплекта КД на изделие, содержащего цифровые макеты и цифровые модели изделия, на предприятиях Индустрии 4.0 является способ выполнения этапа предварительных (межведомственных) испытаний. Если на предприятиях Индустрии 3.0 этот этап проводится на основе серии физических (натурных) экспериментов с использованием реального образца изделия, то на предприятиях Индустрии 4.0 оценка качества комплекта КД выполняется посредством имитационного моделирования (рис. 3) поведения цифровой модели изделия в ожидаемых (заданных в техническом задании (ТЗ)) условиях эксплуатации на инструментальной электронной вычислительной машине автоматизированного рабочего места разработчика. По существу, внедрение в проектные процедуры виртуальной схемы испытаний и получение на этапе проектирования результатов имитационного моделирования с цифровой моделью изделия – это шаг на пути к практической реализации идей [12–15] «цифровой сертификации» документации на изделия приборостроения.

Основными исходными данными для организации виртуальных испытаний изделия приборостроения на проектной предприятии Индустрии 4.0 является математическое обеспечение автоматизированной проектной деятельности разработчика:

- цифровая модель (макет) изделия (комплект КД);
- цифровая модель стохастических воздействий, т.е. математическое описание, адекватное реальным климатическим, механическим и пр. внешним воздействующим факторам (ВВФ), определяющим ожидаемые условия эксплуатации изделия;
- методы планирования экспериментов, методы поиска оптимальных проектных решений, методы и критерии оценки качества проектных решений, методы обработки статистических данных, т.е. данных виртуальных экспериментов и др.



Рис. 3. Схема организации проектных работ на предприятиях Индустрии 4.0 типа «цифровая фабрика»

В результате серии виртуальных испытаний с цифровой моделью изделия у разработчика формируется подмножество проектных альтернатив изделия, удовлетворяющих заданным в ТЗ на разработку изделия эксплуатационным требованиям. Если требования по ВВФ не определены с точностью до числовых значений, схема имитационного моделирования, представленная на рис. 3, позволяет оценить граничные значения параметров ВВФ, в пределах которых изделие, изготовленное по цифровой модели и

комплекту технической документации, будет сохранять свою стойкость и устойчивость. Такие числовые значения, полученные на этапе эскизно-технического проектирования, могут быть учтены в последующих редакциях ТЗ на разработку изделия, а на этапе разработки рабочей конструкторской документации – внесены в комплект КД, в частности в эксплуатационную документацию.

Очевидным достоинством рассмотренного подхода к организации проектной деятельности на приборостроительных предприятиях Индустрии 4.0 является возможность генерации автоматизированным способом различных сочетаний и всего спектра ВВФ одновременно в схеме имитационного моделирования. Существующее сегодня на предприятиях Индустрии 3.0 технологическое и испытательное оборудование такой возможности разработчику не предоставляет. Известны, в частности, узкоспециализированные испытательные камеры:

- тепла и холода, поддерживающие только различные циклограммы температурных воздействий на изделие в рабочей области камеры;
- влажности, поддерживающие возможность одновременного регулирования только температуры и влажности в рабочей области камеры;
- атмосферных конденсированных осадков, поддерживающие возможность одновременного регулирования только барометрического давления, влажности и температуры в рабочей области камеры и др.

При этом все натурные испытания с изделием проводятся на предприятиях Индустрии 3.0 последовательно с протоколированием результатов и доработкой образцов изделия по результатам испытаний (корректировка документации), что в совокупности существенно удлиняет и «удорожает» этап проектирования изделия.

Очевидно, технология виртуализации испытаний, т.е. проектирование на основе моделирования, на предприятиях Индустрии 4.0 лишена этих недостатков. Нетрудно видеть, что именно в такой схеме организации проектной деятельности приборостроительного предприятия Индустрии 4.0 будут количественно оценены тактико-технические характеристики разрабатываемого изделия, полностью определяющие его эксплуатационные свойства для эксплуатирующей организации на этапе, когда само изделие существует еще только в виде проекта – цифровой модели.

#### Принцип самоорганизации технологического оборудования на предприятиях Индустрии 4.0 типа «умная фабрика»

В основе практической реализации принципа самоорганизации киберфизических систем производственного комплекса предприятия Индустрии 4.0 типа «умная фабрика» лежит алгоритм диспетчеризации технологических операций. Диспетчеризация технологических операций предполагает распределение производственных заданий, содержащихся в технологическом маршруте изготовления изделий приборостроения, между производственными роботизированными автоматами [16].

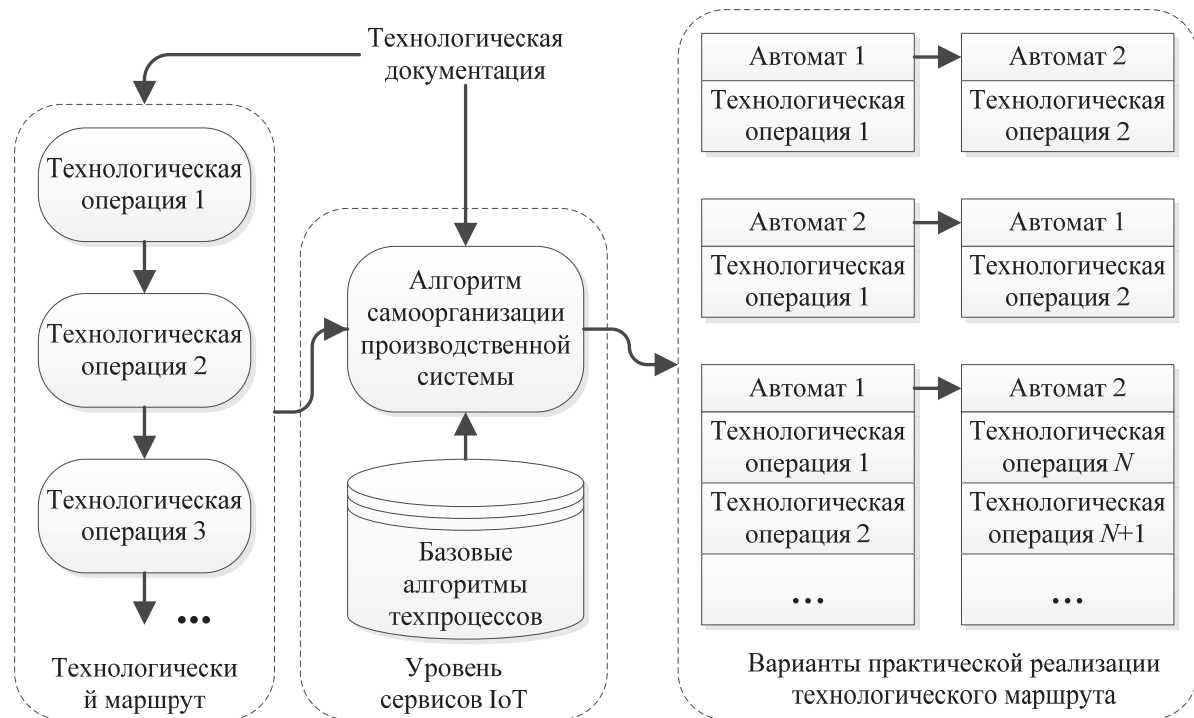


Рис. 4. Схема вариантов диспетчеризации технологических операций на предприятиях Индустрии 4.0 типа «умная фабрика»

Исходными данными для решения задачи диспетчеризации технологических операций являются (рис. 4):

- на физическом уровне рассмотрения – технологический маршрут изготовления изделий приборостроения, содержащий упорядоченный перечень технологических операций, подлежащих выполнению в заданной последовательности, и технологическая документация в целом;
- на киберфизическом уровне рассмотрения (уровень сервисов IoT) – библиотека базовых алгоритмов технологических процессов, поддерживаемых киберфизическими системами, установленными на производстве Индустрии 4.0.

Результат диспетчеризации технологических операций (при исправном технологическом оборудовании) представляет собой один из трех вариантов решения задачи «о назначении»:

- $i$ -ая технологическая операция выполняется на  $i$ -ом производственном автомате;
- $i$ -ая технологическая операция выполняется на  $j$ -ом производственном автомате;
- группа технологических операций выполняется последовательно на одном производственном автомате, имеющем необходимые инструментальные средства производства (вариант решения задачи, при которой размерности «исполнителя задания» и «производственного задания» не совпадают).

По существу, диспетчеризация технологических операций – это решение классической вычислительной задачи «о назначении», входящей в класс задач линейного программирования, выполняемое компьютеризированной системой управления производством на приборостроительном предприятии. Для решения задачи «о назначении» могут быть использованы разработанные и хорошо зарекомендовавшие себя на практике алгоритмы, такие как метод ветвей и границ, венгерский метод, метод потенциалов, симплекс-метод и др.

### Заключение

Переход предприятий Индустрии 3.0 к работе по принципам Индустрии 4.0, ориентированным на практическую реализацию идей цифрового «безлюдного» производства, является сегодня актуальным направлением развития отечественной и мировой промышленности. Основные идеи, положенные в основу создания новых инновационных производств, определены в дорожной карте Национальной технологической инициативы «Технет» в рамках выполнения государственных программ развития промышленного сектора экономики Российской Федерации с целью внедрения в нашей стране принципов цифровой экономики.

Такой переход, сформулированный в программе по срокам до 2035 г., очевидно, необходимо осуществлять на существующих предприятиях Индустрии 3.0 поэтапно, а на вновь создаваемых производствах – сразу. В этой связи актуальными направлениями развития исследований по рассматриваемой проблематике являются разработки и исследования алгоритмов автоматического (автоматизированного) принятия проектных решений по выбору технологического оборудования, объединяемого в единую технологическую цепочку механосборочного цифрового приборостроительного производства.

### Литература

1. Lavrin A., Zelko M. Moving toward the digital factory in raw material resources area // *Acta Montanistica Slovaca*. 2010. V. 15. N 3. P. 225–231.
2. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. NY: Crown Business, 2017. 192 p.
3. Radziwon A., Bilberg A., Bogers M., Madsen E.S. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions // *Procedia Engineering*. 2014. V. 69. P. 1184–1190. doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.108
4. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., Ten Hompel M., Wahlster W. *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies*. Munich: Herbert Utz Verlag, 2017. 60 p.
5. Longo F., Nicoletti L., Padovano A. Smart operators in Industry 4.0: a human-centered approach to enhance operator's capabilities and competencies with the new smart factory context // *Computers and Industrial Engineering*. 2017. V. 113. P. 144–159. doi: 10.1016/j.cie.2017.09.016
6. Meissner H., Ilse R., Aurich J.C. Analysis of control architectures in the context of Industry 4.0 // *Procedia CIRP*. 2017. V. 62. P. 165–169. doi: 10.1016/j.procir.2016.06.113
7. Poonpakdee P., Koiwanit J., Yuangyai C. Decentralized network building change in large manufacturing companies towards Industry 4.0 // *Procedia Computer Science*. 2017. V. 110. P. 46–53. doi: 10.1016/j.procs.2017.06.113
8. Hwang G., Lee J., Park J., Chang T.-W. Developing performance measurement system for Internet of Things and

### References

1. Lavrin A., Zelko M. Moving toward the digital factory in raw material resources area. *Acta Montanistica Slovaca*, 2010, vol. 15, no. 3, pp. 225–231.
2. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. NY, Crown Business, 2017, 192 p.
3. Radziwon A., Bilberg A., Bogers M., Madsen E.S. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 69, pp. 1184–1190. doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.108
4. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., ten Hompel M., Wahlster W. *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies*. Munich, Herbert Utz Verlag, 2017, 60 p.
5. Longo F., Nicoletti L., Padovano A. Smart operators in Industry 4.0: a human-centered approach to enhance operator's capabilities and competencies with the new smart factory context. *Computers and Industrial Engineering*, 2017, vol. 113, pp. 144–159. doi: 10.1016/j.cie.2017.09.016
6. Meissner H., Ilse R., Aurich J.C. Analysis of control architectures in the context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 2017, vol. 62, pp. 165–169. doi: 10.1016/j.procir.2016.06.113
7. Poonpakdee P., Koiwanit J., Yuangyai C. Decentralized network building change in large manufacturing companies towards Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 110, pp. 46–53. doi: 10.1016/j.procs.2017.06.113
8. Hwang G., Lee J., Park J., Chang T.-W. Developing performance measurement system for Internet of Things and



- smart factory environment // *International Journal of Production Research*. 2017. V. 55. N 9. P. 2590–2602. doi: 10.1080/00207543.2016.1245883
9. Qu T., Thurer M., Wang J., Wang Z., Fu H., Li C. System dynamics analysis for an Internet-of-Things-enabled production logistics system // *International Journal of Production Research*. 2017. V. 55. N 9. P. 2622–2649. doi: 10.1080/00207543.2016.1173738
  10. Theorin A., Bengtsson K., Provost J., Lieder M., Johnsson Ch., Lundholm Th. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0 // *International Journal of Production Research*. 2017. V. 55. N 5. P. 1297–1311. doi: 10.1080/00207543.2016.1201604
  11. Silva F., Gamarra C.J., Araujo Jr.A.H., Leonardo J. Product lifecycle management, digital factory and virtual commissioning: analysis of these concepts as a new tool of lean thinking // *Proc. Int. Conf. on Industrial Engineering and Operations Management*. Dubai, 2015. P. 911–915.
  12. Wang Sh., Wan J., Li D., Zhang Ch. Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2016. Art. 3159805. doi: 10.1155/2016/3159805
  13. Zuehlke D. SmartFactory – towards a factory-of-things // *Annual Reviews in Control*. 2010. V. 34. N 1. P. 129–138. doi: 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008
  14. Jung K., Choi S.S., Kulvatunyou B., Cho H., Morris K.S. A reference activity model for smart factory design and improvement // *Production Planning and Control*. 2017. V. 28. N 2. P. 108–122. doi: 10.1080/09537287.2016.1237686
  15. Shpilevoy V., Shishov A., Skobelev P., Kolbova E., Kazanskaia D., Shepilov Ya., Tsarev A. Multi-agent system «Smart factory» for real-time workshop management in aircraft jet engines production // *IFAC Proceedings Volumes*. 2013. V. 46. N 7. P. 204–209. doi: 10.3182/20130522-3-BR-4036.00025
  16. Vogel-Heuser B., Rosch S., Fischer J., Simon Th., Ulewicz S., Folmer J. Fault handling in PLC-based Industry 4.0 automated production systems as a basis for restart and self-configuration and its evaluation // *Journal of Software Engineering and Applications*. 2016. V. 9. N 1. P. 1–43. doi: 10.4236/jsea.2016.91001
  - smart factory environment. *International Journal of Production Research*, 2017, vol. 55, no. 9, pp. 2590–2602. doi: 10.1080/00207543.2016.1245883
  9. Qu T., Thurer M., Wang J., Wang Z., Fu H., Li C. System dynamics analysis for an Internet-of-Things-enabled production logistics system. *International Journal of Production Research*, 2017, vol. 55, no. 9, pp. 2622–2649. doi: 10.1080/00207543.2016.1173738
  10. Theorin A., Bengtsson K., Provost J., Lieder M., Johnsson Ch., Lundholm Th. An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 2017, vol. 55, no. 5, pp. 1297–1311. doi: 10.1080/00207543.2016.1201604
  11. Silva F., Gamarra C.J., Araujo Jr.A.H., Leonardo J. Product lifecycle management, digital factory and virtual commissioning: analysis of these concepts as a new tool of lean thinking. *Proc. Int. Conf. on Industrial Engineering and Operations Management*. Dubai, 2015, pp. 911–915.
  12. Wang Sh., Wan J., Li D., Zhang Ch. Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016, art. 3159805. doi: 10.1155/2016/3159805
  13. Zuehlke D. SmartFactory – towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 2010, vol. 34, no. 1, pp. 129–138. doi: 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008
  14. Jung K., Choi S.S., Kulvatunyou B., Cho H., Morris K.S. A reference activity model for smart factory design and improvement. *Production Planning and Control*, 2017, vol. 28, no. 2, pp. 108–122. doi: 10.1080/09537287.2016.1237686
  15. Shpilevoy V., Shishov A., Skobelev P., Kolbova E., Kazanskaia D., Shepilov Ya., Tsarev A. Multi-agent system «Smart factory» for real-time workshop management in aircraft jet engines production. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, vol. 46, no. 7, pp. 204–209. doi: 10.3182/20130522-3-BR-4036.00025
  16. Vogel-Heuser B., Rosch S., Fischer J., Simon Th., Ulewicz S., Folmer J. Fault handling in PLC-based Industry 4.0 automated production systems as a basis for restart and self-configuration and its evaluation. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 1–43. doi: 10.4236/jsea.2016.91001

#### Авторы

**Гурьянов Андрей Владимирович** – кандидат экономических наук, генеральный директор, АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, Scopus ID: 57192234016, ORCID ID: 0000-0003-0858-6619, postmaster@elavt.spb.ru

**Заколдаев Данил Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, декан, заведующий кафедрой, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 57021875400, ORCID ID: 0000-0002-2520-1998, d.zakoldaev@mail.ru

**Жаринов Игорь Олегович** – доктор технических наук, профессор, руководитель учебно-научного центра, АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация; заведующий кафедрой, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 56607228500, ORCID ID: 0000-0003-2508-5939, igor\_rabota@pisem.net

**Нечаев Владимир Анатольевич** – начальник научно-исследовательского центра АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация; старший преподаватель, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-1009-187X, nil-12@mail.ru

#### Authors

**Andrey V. Gurjanov** – PhD, CEO, Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, Scopus ID: 57192234016, ORCID ID: 0000-0003-0858-6619, postmaster@elavt.spb.ru

**Danil A. Zakoldaev** – PhD, Associate Professor, Dean, Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 57021875400, ORCID ID: 0000-0002-2520-1998, d.zakoldaev@mail.ru

**Igor O. Zharinov** – D.Sc., Professor, Head of learning-scientific center, Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 56607228500, ORCID ID: 0000-0003-2508-5939, igor\_rabota@pisem.net

**Vladimir A. Nechaev** – Head of scientific-research center, Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; Senior lecturer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-1009-187X, nil-12@mail.ru