

УДК 004.4

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА МЕЖДУ ПРОЕКТНЫМ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ И ЭКСПЛУАТИРУЮЩИМ ПРЕДПРИЯТИЯМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ ИНДУСТРИИ 4.0

А.В. Гурьянов<sup>a</sup>, А.В. Шукалов<sup>a,b</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 04.10.17, принята к печати 30.12.17

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-106-112

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Гурьянов А.В., Шукалов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О., Нечаев В.А. Организация электронного документооборота между проектным, производственным и эксплуатирующим предприятиями в условиях цифровой экономики Индустрии 4.0 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 1. С. 106–112. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-106-112

### Аннотация

**Предмет исследования.** Предложены схемы организации электронного документооборота конструкторской, программной и технологической документации изделий приборостроения на предприятиях, функционирующих по правилам Индустрии 3.0 и по правилам цифрового проектирования и цифрового производства Индустрии 4.0. Основное внимание в жизненном цикле изделия уделено обороту эксплуатационной документации на этапе «проектирование–производство–эксплуатация». **Метод.** Используются методы организации проектных и производственных работ по изготовлению изделий приборостроения в условиях опытного и серийного производства на основе общей теории автоматизации проектирования. **Основные результаты.** Показано, что эффект от внедрения передовых производственных технологий в электронный документооборот достигается за счет использования в техническом обеспечении архивов проектно-производственных предприятий технологий Интернета вещей и облачных технологий. Основными результатами исследования являются схемы организации взаимодействия изготовителя, разработчика и эксплуатанта в части обращения эксплуатационной документации на изделия приборостроения. **Практическая значимость.** Результаты работы могут быть использованы при разработке алгоритмов автоматизированного проектирования приборостроительного (машиностроительного) цифрового производства, функционирующего в условиях цифровой экономики Индустрии 4.0. Представленные схемы организации электронного документооборота эксплуатационной документации целесообразно внедрять в практику ситуационной поддержки в эксплуатации изделий приборостроения.

### Ключевые слова

электронный документооборот, эксплуатационная документация, Индустрия 3.0, Индустрия 4.0.

## ELECTRONIC DOCUMENT FLOW BETWEEN PROJECT, PRODUCTION AND OPERATING ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 DIGITAL ECONOMY

A.V. Gurjanov<sup>a</sup>, A.V. Shukalov<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 04.10.17, accepted 30.12.17

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-106-112

Article in Russian

**For citation:** Gurjanov A.V., Shukalov A.V., Zakoldaev D.A., Zharinov I.O., Nechaev V.A. Electronic document flow between project, production and operating enterprises in the context of Industry 4.0 digital economy. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 106–112 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-106-112

## Abstract

**Subject of Research.** We propose organizational schemes for electronic document flow of design, program and technological documentation for instrument-making items in the companies, which run according to the rules of Industry 3.0 and according to the digital design and production rules of Industry 4.0. The most important point in the item life cycle is the exploitation document circulation at the stage of «designing-manufacturing-exploitation». **Method.** We used organization methods of project and manufacturing works for the instrument-making items production within the conditions of pilot-scale and full-scale production based on the general theory of automation design. **Main Results.** It is shown that the effect of the most advanced industrial technology implementation in the electronic document flow can be achieved through the application of project and manufacturing company archives based on the technologies of the Internet of things and cloud-based computing as means of technical support. The most important research result is the development of some organizational schemes for interaction between manufacturer, designer and exploiter in the view of exploitation documentation for the instrument-making item usage. **Practical Relevance.** The results of this research can be implemented for the creation of instrument-making (machine manufacturing) automation design algorithms for digital production, operating within the conditions of Industry 4.0 digital economy. The presented organizational schemes of the electronic exploitation document flow can be reasonably implemented for the practice of situational support in the exploitation of instrument-making items.

## Keywords

electronic document flow, exploitation documentation, Industry 3.0, Industry 4.0

## Введение

Развитие научно-технического прогресса в области проектирования и производства изделий приборостроения привело к появлению нового подхода к организации процессов разработки и изготовления радиоэлектроники. Этот подход, получивший [1–3] собирательное название «Индустрия 4.0», заключается в постепенном переходе предприятий проектно-производственной сферы, функционирующих в рамках действующего подхода Индустрии 3.0, на принципы цифрового проектирования и цифрового (умного) производства с применением новых видов информационных технологий.

Принято считать, что эволюционный процесс развития мировой промышленности претерпел три этапа модернизации производственных мощностей. Характерной особенностью предприятий Индустрии 1.0 являлся ручной механический труд, т.е. Индустрия 1.0 – это, в первую очередь, механизация производства. Появление энергетики, в том числе электроники, в сочетании с механической составляющей труда определили Индустрию 2.0 (электрификация производства) как самостоятельный этап развития производственных комплексов предприятий. Индустрию 3.0 сегодня по праву связывают с этапами автоматизации (цифровизации) проектирования и производства, с применением технологий числового программного управления производственным оборудованием. Специфическими для внедрения на предприятиях Индустрии 4.0 (роботизация) сегодня считают [4]:

- облачные технологии;
- аддитивные технологии;
- промышленную сенсористику;
- технологии дополненной реальности;
- технологии Интернета вещей (IoT, Internet of Things);
- технологии безопасности киберфизических систем, технологии BigData и др.

Для практической реализации идей роботизации процессов проектирования и производства в Российской Федерации разработана на период 2017–2019 гг. (первый этап) дорожная карта развития передовых интеллектуальных производственных технологий, подлежащая выполнению рабочей группой в рамках реализации в нашей стране Национальной технологической инициативы по направлению «Технет». Обзор публикаций [5–9] по предлагаемым способам перехода предприятий к работе по принципам Индустрии 4.0 показывает, что основное внимание исследователи уделяют концепциям на уровне обобщений, которые должны быть положены разработчиком в основу технологического обеспечения модернизации существующего производства. При этом детальному рассмотрению способов практической реализации такого перехода в публикациях уделяется недостаточное внимание.

Согласно исследованиям немецких специалистов [10], предприятия, осуществляющие переход от принципов работы Индустрии 3.0 к принципам Индустрии 4.0, должны пройти шесть этапов модернизации своих проектно-производственных мощностей:

1. компьютеризация предприятия – внедрение на предприятии средств и систем для цифрового автоматизированного проектирования и производства изделий, например, с использованием систем автоматизации проектирования и автоматизированных систем технологической подготовки производства;
2. сетевизация предприятия – внедрение на предприятии принципов и технологий электронного документооборота на основе компьютерных сетей, технологий управления жизненным циклом (ЖЦ) изделия и пр.;
3. виртуализация предприятия – внедрение на предприятии цифровых моделей изделия и цифровых двойников технологического и испытательного производственного оборудования;

4. прозрачность предприятия – внедрение на предприятии технологий электронного сбора и обработки проектно-производственных (промышленных) данных BigData с целью организации управления на предприятии производственным оборудованием и производственными циклами изготовления изделий;
5. прогнозируемость предприятия – внедрение на предприятии технологий дискретного имитационного моделирования, позволяющих осуществлять проектные исследования с цифровыми моделями изделия и цифровыми двойниками оборудования в части выбора будущих оптимальных методов производства изделия, способов транспортной логистики в жизненном цикле «проектирование–производство–эксплуатация» (ППЭ), принципов снабжения производственного комплекса предприятия, принципов организации взаимодействия изготовителя и эксплуатанта изделия и пр.;
6. адаптивность предприятия – внедрение на предприятии технологий искусственного интеллекта, позволяющих реализовать в проектно-производственной среде организации принципы самоорганизации производственного оборудования и обучения компьютерной среды управления производством предприятия.

По мнению исследователей [10], эти этапы определяют «индекс зрелости» промышленного производства на предприятии. Первые два этапа, которые можно объединить общим термином цифровизации предприятия, сегодня успешно реализованы на современных предприятиях Индустрии 3.0. Следующие четыре этапа (с третьего по шестой) ориентированы на применение в проектно-производственной среде промышленных предприятий новых информационных технологий и являются специфическими для реализации принципов четвертой промышленной революции на предприятиях Индустрии 4.0.

В этой связи актуальной является задача разработки ряда практических решений, направленных на поэтапное внедрение новых производственных технологий в ЖЦ изделий. Одним из таких решений являются предложения по реализации на предприятиях Индустрии 4.0 электронного документооборота в части обращения эксплуатационной документации в ЖЦ ППЭ изделий приборостроения.

#### Описание типового процесса обращения эксплуатационной документации на бумажном носителе

На рис. 1 представлена типовая функциональная схема движения «бумажной» документации изделия приборостроения в ЖЦ ППЭ предприятий Индустрии 3.0 как в нашей стране, так и за рубежом, когда проектное предприятие (в частности, опытно-конструкторское бюро) выступает одновременно проектирующей и изготавливающей организацией.



Рис. 1. Схема движения документации на изделие приборостроения в жизненном цикле «проектирование–производство–эксплуатация» на предприятиях Индустрии 3.0 (ВВФ – внешний воздействующий фактор, ИИ – извещение об изменении)

Данный случай характерен для производства опытных образцов изделия и выпуска мелкосерийного приборного оборудования по литерной архивной конструкторской, программной и технологической документации (КД, ПД, ТД) или по документации главного конструктора, разработанной на основе технического задания (ТЗ) с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) на предприятиях, функционирующих в соответствии с проектными и производственными процессами Индустрии 3.0. Отдельное внимание на схеме (рис. 1) уделено движению эксплуатационной документации (ЭД). Отличительной особенностью движения ЭД на изделие приборостроения, включающей в себя:

- паспорт (код документа ПС по единой системе оформления конструкторской документации);

- руководство по технической эксплуатации (код документа РЭ);
- руководство по техническому обслуживанию (код документа РО);
- ведомость эксплуатационных документов (код документа ВЭД);
- приложение к паспорту (код документа ПС1) – контрольные суммы занесенного в изделие программного обеспечения и др.,

является форма ее представления на бумажном носителе информации.

Каждый образец изделия сегодня поставляется в точку эксплуатации со своим комплектом бумажной ЭД в соответствии с комплектностью, определенной разработчиком в технических условиях на изделие. При этом подлинники ЭД существуют в электронной форме (в виде файлов, находящихся в электронном архиве предприятия). Объективными недостатками существующей организации движения эксплуатационной документации на бумажном носителе между изготовителем и эксплуатантом для процессов Индустрии 3.0 являются:

- затруднение или невозможность в работе архивного отдела сопровождения документации проектного предприятия в части отслеживания движения экземпляров ЭД (отсутствие учтенных точек получения, хранения и выдачи ЭД в точках эксплуатации);
- затруднение или невозможность внесения изменений в экземпляры ЭД на бумажном носителе после проведения в архиве проектного предприятия извещения об изменении (ИИ) эксплуатационной документации (например, одновременно с корректировкой отдельных документов из состава КД);
- имеющиеся на практике случаи утраты отдельных экземпляров или комплектов эксплуатационных документов изделия, выполненных на бумажном носителе информации и пр.

Таким образом, организация и внедрение принципов электронного документооборота во все фазы ЖЦ ППЭ в части оборота ЭД является одним из важнейших изменений, которые должны быть приняты при переходе проектного предприятия от работы по проектным и производственным процедурам Индустрии 3.0 к процедурам Индустрии 4.0.

#### Внедрение принципов электронного документооборота в порядок обращения эксплуатационной документации

На рис. 2 представлена предлагаемая функциональная схема движения электронной ЭД для этапа ЖЦ ППЭ, когда проектное предприятие также выступает изготовителем изделия приборостроения. Как следует из анализа схемы, поставки комплектов ЭД в точки эксплуатации в этом случае уже не осуществляются. Доступ специалистов эксплуатирующей организации к электронным документам ЭД на изделие реализуется удаленным способом на основе беспроводных сетей с использованием облачных технологий и технологий Интернета вещей (IoT) [11–13].



Рис. 2. Схема движения документации на изделие приборостроения в жизненном цикле «проектирование–производство–эксплуатация» с применением облачных технологий и технологий Интернета вещей

Существующая сегодня за рубежом практика электронного обращения эксплуатационной документации, в том числе и для бытовой техники, реализуется на основе «проводного» интернета и предпо-

лагает предварительную авторизацию эксплуатанта с определением его прав доступа на основе договора между изготовителем и потребителем изделия приборостроения. При этом эксплуатант дистанционно обращается к серверам изготовителя, на которых хранится ЭД, и не всегда располагает информацией о разработчике документации на эксплуатируемое изделие.

Внедрение технологии IoT в этапы ЖЦ изделия приборостроения позволяет существенно автоматизировать ряд проектно-производственных процедур, включая:

- внесение актуальных для эксплуатанта изменений в ЭД после проведения на проектном предприятии извещения об изменении документации разработчиком;
- учет и контроль движения изделия в эксплуатации, включая электронное документальное сопровождение процессов установки (демонтажа) изделия на объекте, электронное документирование выявленных фактов отказов и неисправностей изделий, электронное документирование сведений о проведенных в изделии доработках с момента изготовления, электронное документирование сведений о наработке изделия на отказ в эксплуатации и пр.

Также внедрение технологии IoT с использованием беспроводных сетей в ЖЦ изделия приборостроения существенно упрощает решение задач организации складского хранения изделия в точках эксплуатации за счет:

- удаленного доступа эксплуатирующих специалистов к ЭД без вскрытия упаковки изделия;
- удаленного доступа изготовителя к маршрутам поставок, доступа специалистов транспортной службы к правилам транспортирования изделия, определенным разработчиком в технической документации и др.

### Реализация принципов электронного документооборота в условиях четвертой промышленной революции

Внедрение технологии IoT на проектных и производственных предприятиях позволяет осуществлять поэтапный переход организаций к внедрению систем автоматизированного управления, функционирующих в рамках подхода Индустрии 4.0. Наиболее общий случай организации электронного документооборота ЭД на изделия приборостроения в ЖЦ ППЭ для предприятий Индустрии 4.0 представлен на рис. 3.

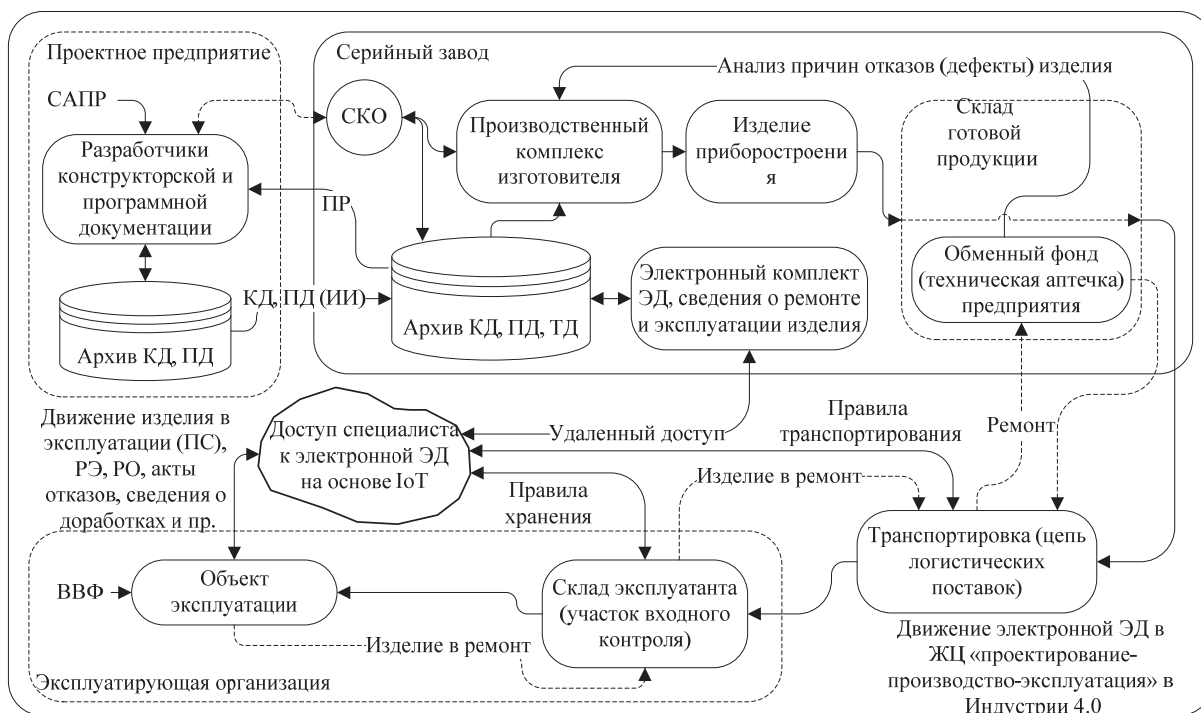


Рис. 3. Схема движения документации на изделие приборостроения в жизненном цикле «проектирование-производство-эксплуатация» на предприятиях Индустрии 4.0

Разработчиком ЭД выступает проектная организация, осуществившая комплекс предварительных и межведомственных испытаний на предприятии с целью приведения КД, ПД до состояния присвоения литеры О<sub>1</sub>, достаточной для передачи архивной КД, ПД на серийный завод. Серийный завод после выполнения серийно-конструкторским отделом (СКО) этапа технологической подготовки производства, автоматизированного проектирования технологической документации (ТД), проведения необходимого объема контрольных испытаний приступает к выпуску по представленной КД, ПД изделий, годных для эксплуатации.

Как следует из анализа рис. 3, комплект ЭД в эксплуатацию не поставляется, доступ специалистов логистической компании и эксплуатирующей организации к электронным версиям ЭД изготовителя осуществляется с использованием облачных технологий удаленного доступа и технологий Интернета вещей.

Отличительной особенностью схемы документооборота ЭД, представленной на рис. 3, является невозможность внесения изготовителем (серийным заводом) изменений в ЭД, подготовленную на проектом предприятии, без предварительного согласования (оформление предложений об изменении документации) с разработчиком. Данный принцип согласуется с аналогичными правилами, принятыми сегодня во взаимодействии предприятий, функционирующих по процедурам Индустрии 3.0. При этом для схемы (рис. 3) справедливы все преимущества, связанные с внедрением технологии IoT в ЖЦ ППЭ изделия приборостроения. Таким образом, технология Интернета вещей объединяет логистические, проектные, производственные и др. ресурсы организаций, что соответствует общим подходам организации предприятий Индустрии 4.0 и позволяет эксплуатанту эффективно применять изделия приборостроения за счет практического использования сквозных проектных и производственных процессов в ЖЦ ППЭ изделия.

### Заключение

Организация производственной деятельности большинства современных приборостроительных предприятий осуществляется в рамках модернизированных подходов Индустрии 3.0. Внедряются современные технические средства автоматизации процессов проектирования и производства, повышаются экономические показатели деятельности организаций, существенно снижается время вывода нового изделия приборостроения на рынок.

На основе синергетического эффекта от интеграции прогрессивных технологий в проектно-производственную деятельность у промышленного предприятия появляются возможности:

- организации «безлюдных» производственных комплексов;
- виртуализации выполнения проектных процедур, для которых процесс разработки документации на изделие уже является не начальным этапом «проектирования–производства», а законченным этапом разработки, качество документации на котором подтверждается виртуальными испытаниями с цифровыми моделями изделий, пригодными для передачи на серийный завод для тиражирования изделия. При этом эксплуатант получает вместе с изделием электронный комплект эксплуатационной документации, доступ к которой обеспечивается удаленным способом с использованием облачных технологий и технологий Интернета вещей.

### Литература

1. 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
2. Liao Y., Deschamps S., Loures E.F.R., Ramos L.F.P. Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal // *International Journal of Production Research*. 2017. V. 55. N 12. P. 3609–3629. doi: 10.1080/00207543.2017.1308576
3. 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
4. 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
5. Fischer Th., Ruhland J. Scalable planning in the semantic web – a smart factory assembly line balancing example // *Proc. Int. Conf. on Web Intelligence*. Atlanta, USA, 2013. V. 1. P. 221–226. doi: 10.1109/WI-IAT.2013.32
6. 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
7. 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
8. 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.*

### References

1. 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
2. Liao Y., Deschamps S., Loures E.F.R., Ramos L.F.P. Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 2017, vol. 55, no. 12, pp. 3609–3629. doi: 10.1080/00207543.2017.1308576
3. 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
4. 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
5. Fischer Th., Ruhland J. Scalable planning in the semantic web – a smart factory assembly line balancing example. *Proc. Int. Conf. on Web Intelligence*. Atlanta, USA, 2013, vol. 1, pp. 221–226. doi: 10.1109/WI-IAT.2013.32
6. 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
7. 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
8. 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



- Int. Conf. on Industrial Engineering and Operations Management. Dubai, 2015. P. 911–915.
9. 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.
  10. 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.
  11. 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
  12. 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
  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

### 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

**Шукалов Анатолий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, первый заместитель генерального директора – главный конструктор, АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация; доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 55982925200, ORCID ID: 0000-0003-0283-5207, aviation78@mail.ru

**Заклдаев 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

**Anatoly V. Shukalov** – PhD, Associate Professor, First Deputy General Director – Chief Design Manager, Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 55982925200, ORCID ID: 0000-0003-0283-5207, aviation78@mail.ru

**Danil A. Zakoldaev** – PhD, Associate Professor, Dean, Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 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** – Chief 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