НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ
ноябрь–декабрь 2017 Том 17 № 6 ISSN 2226-1494 http://ntv.ifmo.ru/
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGIES, MECHANICS AND OPTICS
November–December 2017 Vol. 17 No 6 ISSN 2226-1494 http://ntv.ifmo.ru/en

УДК 004.4

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕДУР КАК ИНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИНДУСТРИИ 4.0

А.В. Гурьянов[a], А.В. Шукалов[b,a], Д.А. Заколдаев[b], И.О. Жаринов[b,a], М.О. Костишин[b,a]

[a] АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация
[b] Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
Адрес для переписки: igor_rabota@pisem.net

Информация о статье
Поступила в редакцию 04.09.17, принята к печати 17.10.17
doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1171-1176
Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Гурьянов А.В., Шукалов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О., Костишин М.О. Цифровизация проектных и производственных процедур как инструмент автоматизации проектирования приборного оборудования в индустрии 4.0 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 6. С. 1171–1176. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1171-1176

Аннотация
Предложены схемы организации проведения проектных и производственных процедур на промышленных предприятиях при выполнении натурных испытаний с изделиями приборостроения. Предложена блок-схема алгоритма корректировки конструкторской, программной и технологической документации в жизненном цикле изделия. Определены процедуры, цифровизация выполнения которых позволяет автоматизировать процессы разработки и последующего сопровождения документации с целью перехода промышленных предприятий к работе в условиях цифровой экономики по принципам Индустрии 4.0. Показано, что эффект от внедрения передовых технологий в промышленность достигается за счет использования технологий Интернета вещей и технологий имитационного моделирования с цифровыми моделями изделий в составе автоматизированного рабочего места разработчика. Результаты работы могут быть использованы при разработке алгоритмов автоматизированного проектирования приборостроительного (машиностроительного) цифрового производства, функционирующего в условиях цифровой экономики Индустрии 4.0.

Ключевые слова
проектирование, производство, автоматизация, испытания, Индустрия 3.0, Индустрия 4.0

DIGITALIZATION OF PROJECT AND PRODUCTION PROCEDURES AS A TOOL FOR INSTRUMENTATION DESIGN AUTOMATION IN INDUSTRY 4.0

A.V. Gurjanov[a], A.V. Shukalov[b,a], D.A. Zakoldaev[b], I.O. Zharinov[b,a], M.O. Kostishin[b,a]

[a] Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A.Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation
[b] ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation
Corresponding author: igor_rabota@pisem.net

Article info
Received 04.09.17, accepted 17.10.17
doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1171-1176
Article in Russian
For citation: Gurjanov A.V., Shukalov A.V., Zakoldaev D.A., Zharinov I.O., Kostishin M.O. Digitalization of project and production procedures as a tool for instrumentation design automation in Industry 4.0. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 6, pp. 1171–1176 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1171-1176

Abstract
We propose organization schemes for project and production procedures in industrial companies when performing full-scale experiments on instrument-making products. The paper also presents control flow chart for correction of design, program and technological documentation in the product life cycle. We define the procedures which digitalization allows for the automation of development and subsequent documentation support. This process is aimed at transition of the industrial companies to functioning under the conditions of the digital economy according to the Industry 4.0 production standard. The study shows that implementation effect for the most advanced industrial technologies can be achieved by applying the Internet of Things and the imitation modeling technologies using the product digital models as a component of the

engineering workstation. The work results can be used to develop the automation design algorithms for instrument-making (machine-building) digital production that is functioning in the digital economy conditions of the Industry 4.0 production standard.

Keywords
design, production, automation, testing, Industry 3.0, Industry 4.0

Основным критерием качества конструкторской, программной и технологической документации являются положительные результаты испытаний изделия при допустимом числе эксплуатационных отказов. Сложившаяся [1–3] на проектно-производственных предприятиях Индустрии 3.0 практика отработки документации предполагает возможность изменения литеры документации только по результатам проведения предварительных и межведомственных испытаний на физических образцах изделия приборостроения, прошедших предъявительские и приемо-сдаточные испытания у изготовителя. Обобщенный алгоритм корректировки конструкторской (КД), программной (ПД) и технологической (ТД) документации по результатам различных видов испытаний на предприятиях Индустрии 3.0 приведен на рис. 1.

Блок-схема алгоритма представлена двумя функциональными модулями – алгоритмом корректировки документации на проектном предприятии и алгоритмом корректировки документации на серийном заводе, взаимодействующивb друг с другом в жизненном цикле (ЖЦ) «проектирование-производство» изделия приборостроения. Основной информационный обмен реализуется между службами электронных архивов предприятия-разработчика и предприятия-изготовителя посредством передачи учтенного комплекта электронных КД и ПД с последующей рассылкой извещений об изменении (ИИ) документации учтенным организациям, стоящим у архивной службы разработчика на абонентском учете.

Как следует из анализа алгоритма, корректировка КД и ПД по инициативе серийного предприятия-изготовителя реализуется в организациях Индустрии 3.0 через механизмы оформления предложений (ПР) об изменении документации и их последующеuj «погашениz» разработчиком посредством оформления извещения об изменении документов. Комплекты ТД подготавливаются и корректируются разработчиком и изготовителем самостоятельно с учетом типа используемого у них технологического оборудования (станочный парк, автоматизированные рабочие места (АРМ) по проверке, настройке и регулировке изделий приборостроения и пр.). Очередность проведения испытаний устанавливается отраслевыми и государственными стандартами и требованиями технических условий (ТУ) на изделие, оформляемыvb разработчиком на проектном предприятии при подготовке документации.

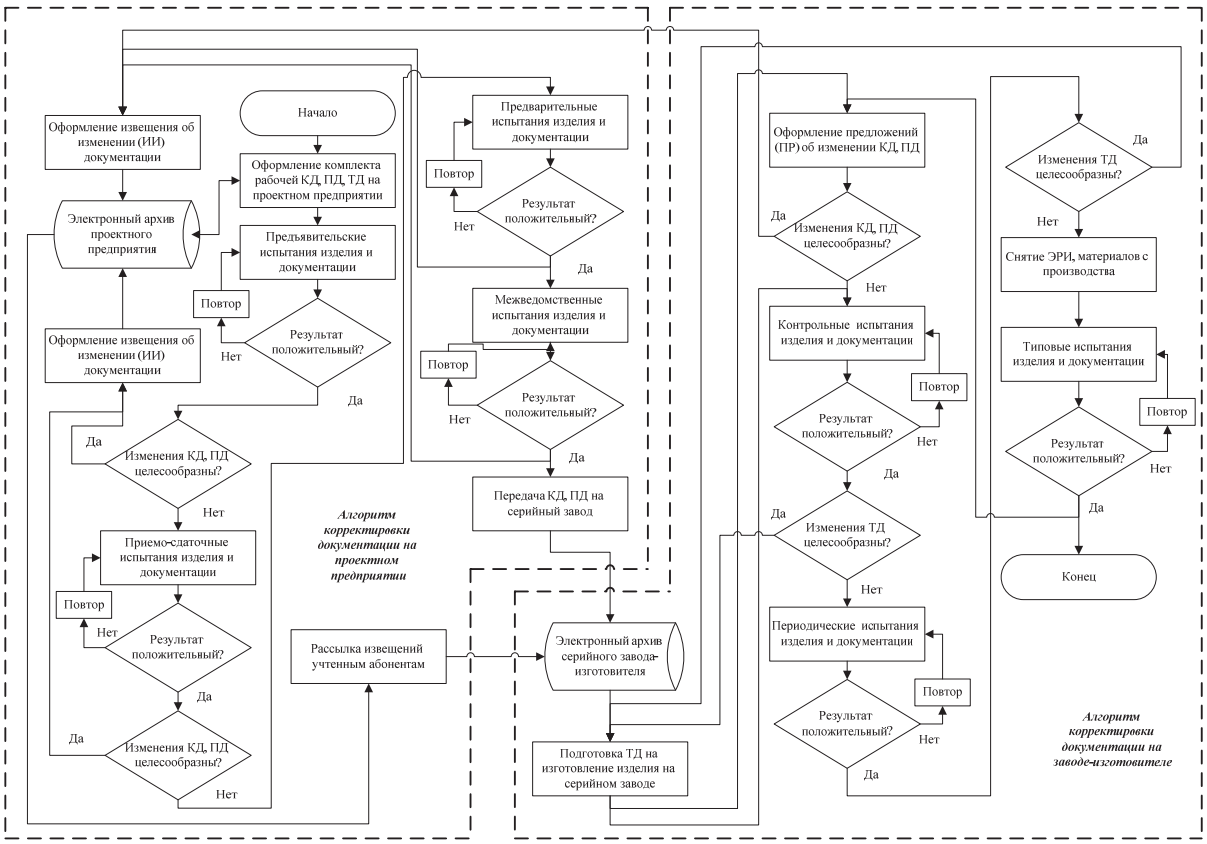


Рис. 1. Алгоритм корректировки конструкторской (программной, технологической) документации по результатам различных видов испытаний на предприятиях Индустрии 3.0 (ЭРИ – электрорадиоизделия)

Каждый вид испытаний (контрольные, периодические и пр.) предполагает проведение на соответствующем предприятии Индустрии 3.0 группы последовательных экспериментов с физическим образцом изделия приборостроения и проверку документации на изделие на соответствие требованиям технического задания (ТЗ) на его разработку, а также требованиям государственных и отраслевых стандартов. Наиболее трудоемкими являются натурные эксперименты по оценке стойкости и устойчивости изделия приборостроения к влиянию внешних воздействующих факторов (ВВФ). Пример маршрута выполнения натурных экспериментов с изделием на проектном предприятии с целью подтверждения качества КД и ПД изделия приведен на рис. 2.

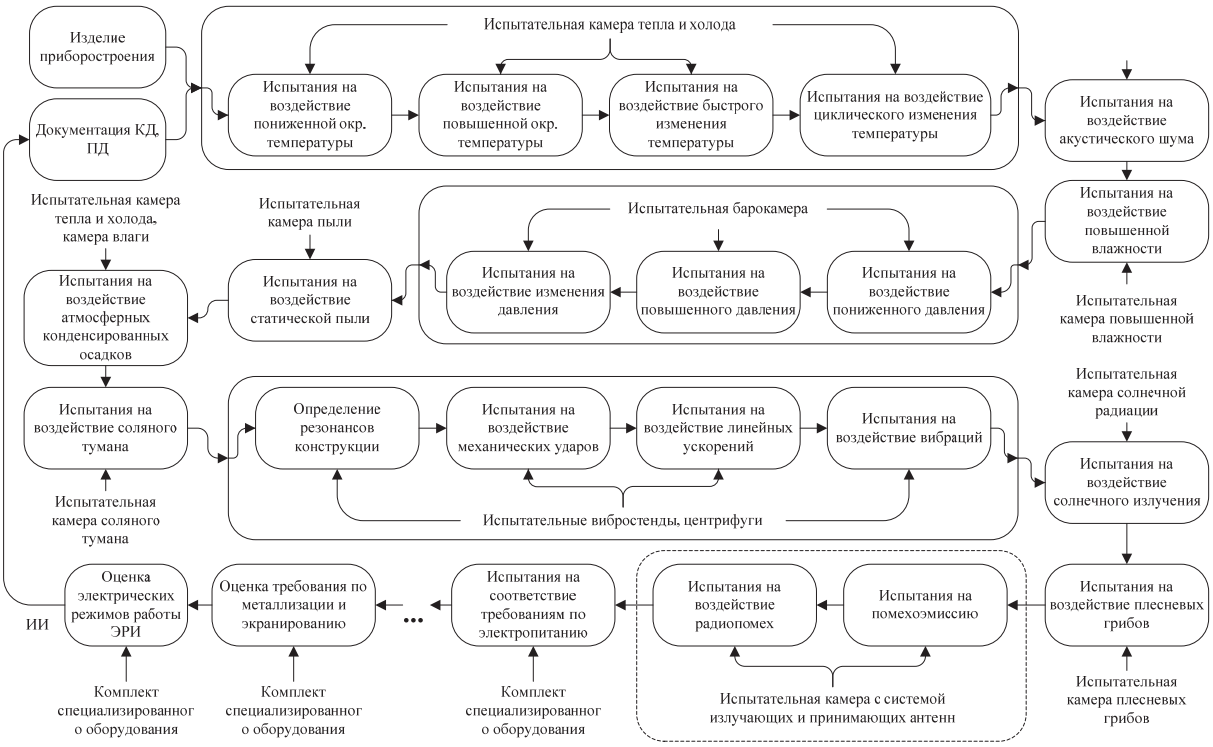


Рис. 2. Пример проведения последовательности физических испытаний с изделием приборостроения в рамках проведения периодических испытаний

Основу каждого физического эксперимента составляют: испытательное оборудование (специализированная камера или испытательный стенд), АРМ по проверке изделия, специальная методика испытаний и руководство по технической эксплуатации испытательного оборудования, комиссия по проведению испытаний, назначаемая приказом по предприятию и включающая разработчика изделия. Схема организации проведения каждого отдельного натурного эксперимента с изделием приборостроения на предприятиях Индустрии 3.0 приведена на рис. 3, а.

Практика выполнения натурных экспериментов с изделием в рамках выполнения предварительных (межведомственных, контрольных, периодических) испытаний показывает, что их продолжительность варьируется в диапазоне 3–6 месяцев без учета эквивалентно-циклических испытаний на надежность. Продолжительное время проведения испытаний обусловлено как непосредственным временем проведения физических испытаний с оформлением протоколов, так и временем вынужденного простоя из-за отсутствия свободного испытательного оборудования (как правило, на предприятии одновременно проходят испытания несколько изделий).

С целью оптимизации временного цикла проведения группы испытаний с изделием приборостроения и автоматизации управления технологическим оборудованием в процессе испытаний в рамках перехода предприятий [4–9] от производственных процедур Индустрии 3.0 к процедурам Индустрии 4.0 целесообразно на первом этапе модернизации производственных мощностей предприятия внедрить технологии Интернета вещей (IoT, Internet of Things) в систему управления предприятием. В первую очередь эта модернизация относится к внедрению технологии IoT в состав испытательных камер и АРМ по проверке, настройке и регулировке изделий. Технология Интернета вещей [10–12] способствует повышению уровня технической поддержки технологического оборудования за счет использования «телеметрических» данных, полученных от установленных в испытательные камеры датчиков и программного обеспечения для сбора и обмена данными. Технология IoT позволяет разработчику непосредственно обращаться к органам управления и датчикам испытательного оборудования.

Такая модернизация позволяет осуществлять дистанционное управление циклограммой работы испытательного оборудования (камеры), как это предусмотрено методиками испытаний, и осуществлять дистанционное управление включением-выключением изделия приборостроения с одновременным сбором и обработкой диагностической информации о результатах экспериментов. При этом разработчик изделия может физически находиться на удаленном расстоянии, в том числе и за пределами территории испытательного центра, а все управление тройкой «Камера-Изделие-АРМ» будет осуществляться дистанционно на основе IoT. Информация от испытательного оборудования может быть использована для парирования простоев оборудования, фиксации фактов отказа оборудования, принятия решения о плановом и внеплановом техническом обслуживании.

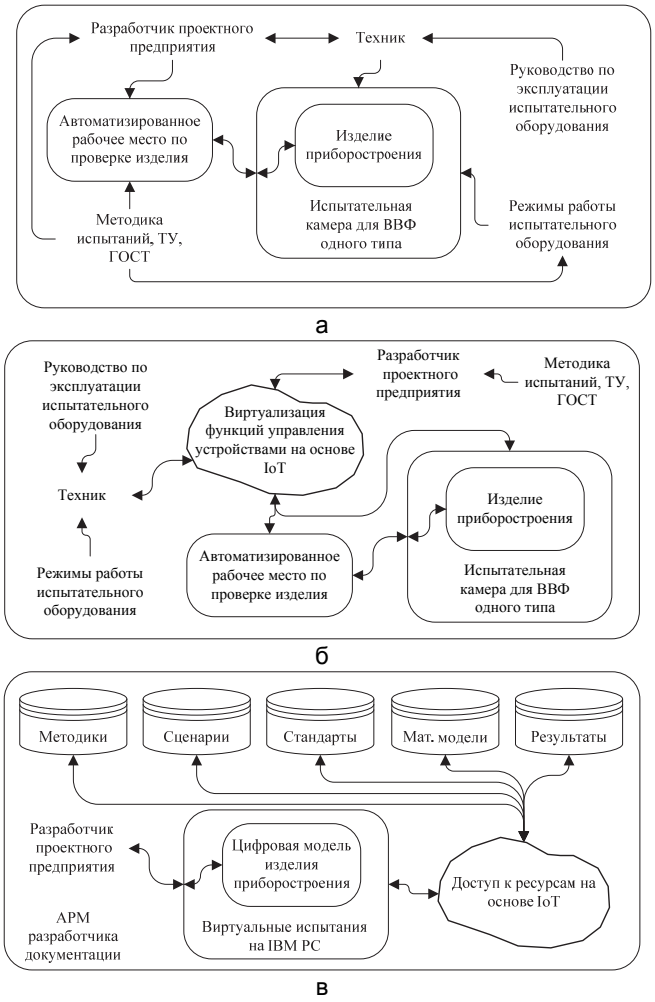


Рис. 3. Схема организации проведения каждого отдельного натурного эксперимента с изделием приборостроения: на предприятиях Индустрии 3.0 (а); на модернизированных производствах предприятий Индустрии 3.0 (б); на предприятиях Индустрии 4.0 (в)

Удаленный доступ разработчика к испытательному оборудованию, АРМ и изделию приборостроения на основе технологии IoT обеспечивает разработчику следующие функции управления:

- сбор информации о результатах прохождения изделием в процессе испытаний тестов встроенного контроля, реализованных в изделии на аппаратно-программном уровне;
- формирование управляющих воздействий на органы управления испытательного оборудования;
- мониторинг параметров работы испытательного оборудования на заданных в методиках уровнях;
- электронное документирование процесса и результатов прохождения испытаний в реальном масштабе времени, включая протоколирование действий разработчика;
- автоматизация подготовки отчетно-учетных документов (протоколов) о результатах испытаний.

Схема организации проведения натурных экспериментов с использованием испытательного оборудования, поддерживающего технологию IoT, приведена на рис. 3, б. Данное решение следует рассматривать как промежуточный этап модернизации производства с целью автоматизации отработки КД и ПД на изделия приборостроения при переходе проектного предприятия к цифровым технологиям проектирования Индустрии 4.0. Схема организации на проектном предприятии полноценного цикла

виртуальных экспериментов с цифровыми моделями изделия в рамках развиваемого подхода к цифровизации производства Индустрии 4.0 приведена на рис. 3, в. Основу предлагаемого решения составляет автоматизированное рабочее место разработчика документации с использованием цифровых моделей проектируемого изделия.

Информационное обеспечение автоматизированного проектирования составляют банки данных:

- методики испытаний, содержащие циклограммы влияния параметров ВВФ на цифровую модель изделия (предполагается полное информационное подобие параметризованных моделей ВВФ реальным климатическим воздействиям);
- сценарии проведения испытаний, допускающих (в пределе – полным перебором) реализацию всех видов воздействия ВВФ на цифровую модель изделия в любых последовательных паросочетаниях;
- отраслевые и государственные стандарты нового поколения, содержащие унифицированные методики испытаний, а также ТЗ, содержащие требования к проектируемым изделиям приборостроения;
- математические модели конструкции проектируемого изделия и входящих в него компонентов на уровне описания физико-химических свойств материалов и геометрических размеров деталей, а также модели физических свойств окружающей среды, составляющих ВВФ на изделие;
- результаты виртуальных испытаний с цифровой моделью изделия, проводимых на инструментальной ЭВМ АРМ и документируемых в каждом проведенном сценарии испытаний.

Отличительной особенностью предлагаемой схемы (см. рис. 3, в) организации виртуальных испытаний является подход на основе использования в составе АРМ одноранговой схемы со шлюзом для выхода на облачный сервис Интернета вещей. Группа таких АРМ может быть успешно объединена в вычислительный кластер на проектном предприятии, где подтверждение качества документации КД и ПД будет обеспечиваться положительными результатами серии виртуальных испытаний с цифровыми моделями изделия приборостроения.

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. 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. 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

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 lean thinking. *Proc. Int. Conf. on Industrial Engineering and Operations Management*. Dubai, 2015, pp. 911–915.
9. 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.
10. Hwang G., Lee J., Park J., Chang T.-W. Developing

Research. 2017. V. 55. N 9. P. 2590–2602. doi: 10.1080/00207543.2016.1245883
11. 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
12. 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

performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. *International Journal of Production Research*, 2017, vol.55, no.9, pp.2590–2602. doi: 10.1080/00207543.2016.1245883
11. 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
12. Zuehlke D. SmartFactory – towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 2010, vol. 34, pp. 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, postmaster@elavt.spb.ru

Шукалов Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; первый заместитель генерального директора – главный конструктор, АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, aviation78@mail.ru

Заколдаев Данил Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, декан, заведующий кафедрой, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, d.zakoldaev@mail.ru

Жаринов Игорь Олегович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; руководитель учебно-научного центра, АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, igor_rabota@pisem.net

Костишин Максим Олегович – кандидат технических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; начальник сектора, АО «ОКБ «Электроавтоматика», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, maksim@kostishin.com

Authors

Andrey V. Gurjanov – PhD, CEO, Stock company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, postmaster@elavt.spb.ru

Anatoly V. Shukalov – PhD, Associate Professor, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; First Deputy General Director-Chief Design Manager, Stock company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, aviation78@mail.ru

Danil A. Zakoldaev – PhD, Associate Professor, Dean, Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, d.zakoldaev@mail.ru

Igor O. Zharinov – D.Sc., Professor, Head of Chair, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; Head of learning-scientific center, Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, igor_rabota@pisem.net

Maksim O. Kostishin – PhD, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; Sector Head, Stock Company "Experimental Design Bureau "Electroavtomatika" named after P.A. Yefimov", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, maksim@kostishin.com