

## ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ НА ПРИМЕРЕ ЕДИНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТА КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

М. Ю. ОХТИЛЕВ<sup>1</sup>, А. А. КЛЮЧАРЕВ<sup>2</sup>, П. А. ОХТИЛЕВ<sup>3</sup>, А. Э. ЗЯНЧУРИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,  
199178, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
190000, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр  
интеллектуальных технологий „Петрокомета“, 190000, Санкт-Петербург, Россия,  
E-mail: pavel.oxt@mail.ru

Представлен единый виртуальный электронный паспорт изделий ракетно-космической техники. Содержательная составляющая электронного паспорта логически состоит из двух частей — основной, включающей сведения, обеспечивающие учет, контроль и анализ технического состояния изделия, и вспомогательной, содержащей справочные данные в составе и объеме, необходимом для сопровождения изделия в процессе эксплуатации. Подчеркивается, что единый виртуальный электронный паспорт должен быть актуальным на протяжении всего жизненного цикла изделия за счет регулярного и своевременного внесения в него соответствующих записей об эксплуатационных и/или ремонтных работах и должен формироваться автоматически или полуавтоматически. Разработаны новые информационные технологии, применяемые при создании и использовании электронного паспорта, представляющего собой автоматизированную территориально-распределенную информационную систему, учитывающую особенности проектирования, создания, испытаний и эксплуатации, а также сбор, обработку, хранение и представление обобщенной информации о техническом состоянии и надежности космических средств. Конкретные возможности созданного единого виртуального электронного паспорта проиллюстрированы на примере космической ракеты-носителя „Союз-2“.

**Ключевые слова:** новые информационные технологии, ракетно-космическая техника, единый виртуальный электронный паспорт изделия

**Введение.** В условиях ужесточения требований к качеству, надежности и эффективности эксплуатации современных космических средств (КСр) и изделий, входящих в их состав, неотъемлемой частью соответствующих технологических процессов становится комплексное информационное обеспечение. Своевременное предоставление заинтересованным лицам наиболее полной, актуальной и достоверной информации о техническом состоянии изделий на этапах проектирования, производства и эксплуатации, а в более общем случае, если речь идет о КСр в целом, — об их многоструктурном макросостоянии, является основой для повышения оперативности и обоснованности принимаемых решений при организации проактивного управления жизненным циклом (ЖЦ) КСр, а также при оптимизации технологических процессов и показателей их надежности и качества.

В соответствии с ГОСТ 2.612-2011 ЕСКД в основу такого информационного обеспечения и организации информационного взаимодействия между различными автоматизированными системами отечественных промышленных предприятий на всех этапах ЖЦ изделий

может быть положен **электронный формуляр (электронный паспорт)**. Содержательная составляющая электронного паспорта логически состоит из двух частей — основной, включающей сведения, обеспечивающие учет, контроль и анализ технического состояния изделия, и вспомогательной, содержащей справочные данные в составе и объеме, необходимом для сопровождения изделия в процессе эксплуатации. Электронный паспорт *должен быть актуальным* на протяжении всего ЖЦ изделия за счет регулярного и своевременного внесения в него соответствующих записей об эксплуатационных и/или ремонтных работах и должен формироваться автоматически или полуавтоматически. Ключевыми характеристиками электронного паспорта при этом являются сохранность и идентифицируемость его записей, защищенность, полнота, актуальность и достоверность.

В настоящее время для реализации такой концепции созданы и успешно используются на практике на предприятиях ракетно-космической и авиационной отраслей *распределенная информационно-аналитическая система (ИАС) „Единый виртуальный электронный паспорт“ (ЕВЭП) изделия*, а также соответствующая *интеллектуальная технология комплексного информационно-аналитического обеспечения проактивного мониторинга состояния изделий ракетно-космической техники и управления их жизненным циклом*. Эта технология конкретизирует методологию и концепцию проактивного управления ЖЦ КСр, базирующегося на агрегировании, согласовании, анализе и приведении к единому виду данных, информации и знаний о процессах создания и применения изделий и формировании на их основе электронного паспорта [1—3].

ЕВЭП основан на указанной унифицированной отечественной *информационно-аналитической платформе* и предназначен для следующих целей:

- сбора, накопления, верификации, долговременного хранения данных, информации и знаний о процессах разработки, производства, эксплуатации и применения изделий и их составных частей, узлов и агрегатов;
- интеграции данных и приложений информационной инфраструктуры заинтересованных организаций в единую распределенную межведомственную систему баз данных и знаний;
- обеспечения реализации, функционирования, поддержания целостности и контроля единого информационного пространства участников технологического цикла;
- обеспечения защиты информации и сквозного санкционированного доступа к базам консолидируемых данных и знаний с использованием сертифицированных ФСТЭК, ФСБ, МО РФ средств защиты;
- каталогизации электронных дел изделий и их цифровых двойников в соответствии с нормативными документами;
- оперативного обмена актуальной и достоверной информацией о техническом состоянии изделий между потребителями и поставщиками исходных данных.

Зарубежными и отечественными аналогами ЕВЭП являются такие программные продукты, как Teamcenter (Siemens PLM Software), Agile PLM (Oracle), Dassault Systemes (и ее подсистемы CATIA, ENOVIA-VPLM, ENOVIA-SmarTeam, DELMIA) [4—10]. Также распространены информационные системы, ориентированные на решение частных задач непрерывной информационной поддержки поставок и ЖЦ изделий (Continuous Acquisition and Life Cycle Support — CALS), к числу которых можно отнести: 1С: Интегратор, 1С: PDM Управление инженерными данными, Lotsia PDM Plus, T-FLEX DOCs, TechnologiCS, Windchill, SmarTeam, IDPM CADISON PDM, SolidWorks Enterprise PDM.

Однако по сравнению с используемой в ЕВЭП технологией информационно-аналитического обеспечения [2, 3, 11, 12] все перечисленные системы имеют ряд общесистемных недостатков: существующие аналоги позволяют лишь фрагментарно автоматизировать отдельные задачи информационно-аналитического обеспечения технологического цикла создания, эксплуатации и применения изделий без их взаимосвязей; представленные

технологические решения требуют пересмотра, модернизации или полного изменения существующей на предприятиях инфраструктуры автоматизированных систем, что значительно снижает возможность их применения в части ресурсных затрат и длительности внедрения; современное состояние технологий интеграции данных и знаний не позволяет эффективно решать множество практических задач информационно-аналитического обеспечения технологического цикла изделий из-за функциональной ограниченности существующих подходов, которые предполагают лишь консолидацию данных (без учета их семантики) на том или ином уровне информационного взаимодействия потребителей и поставщиков; задача автоматизации информационно-аналитической поддержки ЖЦ изделий не получила полноценной реализации ни в отечественных, ни в зарубежных технологиях и программных продуктах, при этом не учитывались комплексность их рассмотрения и задачи интеграции данных, информации и знаний для исследуемых систем; существующие инструментальные среды, платформы, модели, методы и технологии предназначены для решения частных задач и в их настоящем виде не удовлетворяют комплексу требований, предъявляемых к процессам автоматизированного формирования электронного паспорта; существующие программные продукты и технологии, лежащие в их основе, недостаточно функционально развиты применительно к проведению комплекса аналитических расчетов, связанных с оценением технического состояния изделий (и, в особенности, современных сложных технических изделий) на всех этапах их ЖЦ; существующие программные продукты не удовлетворяют требованиям по импортозамещению и снижению доли иностранной продукции в Российской Федерации.

**Результаты.** Проиллюстрируем возможности созданной и эксплуатируемой в настоящее время на практике ИАС ЕВЭП на примере конкретной ракеты-носителя (РН) — „Союз-2“. В данной ИАС устранены все перечисленные выше недостатки существующих отечественных и зарубежных систем.

Разработанный ЕВЭП представляет собой автоматизированную территориально-распределенную информационную систему, учитывающую особенности ЖЦ РН „Союз-2“, а также сбор, обработку, хранение и представление обобщенной информации о ее техническом состоянии и надежности. Для информационной поддержки ЖЦ используется совокупность методов и программно-технических средств (информационных технологий), обеспечивающих решение задач управления ЖЦ изделия в рамках соответствующих технологических процессов. Следует отметить, что эти процессы на космодромах находятся, к сожалению, в информационном отрыве от предыдущих стадий ЖЦ. Обмен информацией между этапами проектирования, производства и эксплуатации осуществляется либо на бумажных носителях, либо в виде электронных копий, но и в том и в другом случае в виде текстовых документов. Форма, содержание и периодичность представления этих документов регулируется рядом отраслевых и государственных стандартов ограниченного распространения.

Причиной данного информационного отрыва следует назвать территориальную и организационную распределенность этапов изготовления и применения космических средств. При этом достаточно сложным является процесс межведомственного согласования характеристик информационных потоков. Кроме того, в самой организации, применяющей изделия ракетно-космической отрасли, — на космодроме, отсутствуют системы сквозного и непрерывного информационного сопровождения подготовки и пуска РН.

Действительно, процесс подготовки и пуска РН — это совокупность более детальных, но не менее сложных подпроцессов: доставка с завода-изготовителя на космодром; сборка на техническом комплексе; различные виды испытаний; вывоз на стартовый комплекс; заправка и пуск РН.

На протяжении всех указанных этапов должны быть обеспечены непрерывность и согласованность информационных потоков, а также гарантированный и непрерывный доступ ко всем информационным ресурсам.

Проведенный анализ показал, что основными задачами информационной поддержки ЖЦ РН „Союз-2“ являются:

- создание и сопровождение интегрированных информационных моделей изделий и системы их технической эксплуатации при разработке и подготовке производства;
- использование созданных моделей на этапах производства и на стадии эксплуатации (а при необходимости, и на стадии утилизации) для обеспечения и постоянного контроля характеристик изделия на всех стадиях ЖЦ.

В общем виде ЖЦ РН „Союз-2“ можно разбить на следующие стадии:

- разработка технических требований и/или проектирование РН;
- материально-техническое снабжение;
- разработка и подготовка технологических процессов;
- производство;
- контроль, проведение обследований и испытаний;
- упаковка и хранение;
- транспортировка на площадки запуска;
- разгрузка;
- сборка на техническом комплексе;
- проверки, испытания и техническое обслуживание;
- использование по назначению (эксплуатация); послепусковая утилизация элементов и частей.

При использовании ЕВЭП для организации процессов интеграции, хранения данных и обмена актуальной информацией между всеми участниками системы информации о РН „Союз-2“ основным объектом, предоставляющим интерфейс доступа к консолидированным данным об изделии на всех стадиях ЖЦ, является его электронная структура, базирующаяся на соответствующем интеллектуальном интерфейсе, скриншот которого представлен на рис. 1.

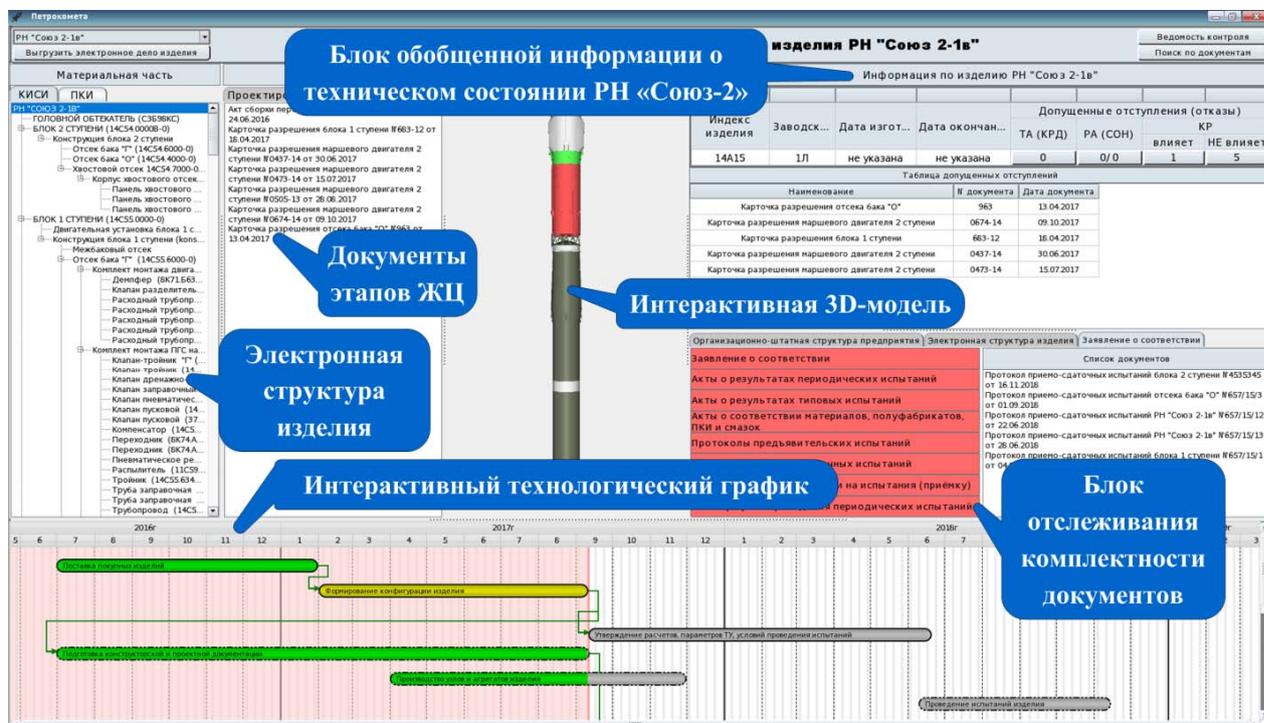


Рис. 1

Разработанная, по сути, впервые система информации о техническом состоянии конкретного РН „Союз-2“ основана на единой, постоянно пополняемой информационной базе данных и знаний в едином информационном пространстве, доступной всем пользователям, участвующим в системе информации о техническом состоянии и надежности РН (заказчики РН,

конструкторские бюро, предприятия-изготовители, эксплуатирующие организации, подразделения анализа летно-технических характеристик РН, институты космической отрасли, представительства заказчика), что позволит многократно повысить оперативность и эффективность мер, направленных на повышение качества оценивания технического состояния и надежную эксплуатацию РН.

На рис. 2 представлена концептуальная модель единого информационного пространства кооперации организаций, которая обеспечивается в настоящее время информацией, содержащейся в ЕВЭП. ЕВЭП функционально обеспечивает доступ потребителей к соответствующим территориально-распределенным системам обработки и хранения данных и включает в себя: информационные ресурсы — совокупность консолидированных данных и знаний, организованных специальным образом для эффективного доступа к информации о РН „Союз-2“; компоненты информационного взаимодействия — способы распространения (обмен) информационных ресурсов между предприятиями (организациями) кооперации на всех этапах ЖЦ РН „Союз-2“ на основе соответствующих информационных технологий; информационную инфраструктуру — совокупность территориально-распределенных организационных и программно-технических средств, обеспечивающих информационное взаимодействие.



Рис. 2

На рис. 3 представлены разработанные основные функциональные подсистемы ИАС ЕВЭП. Компоненты созданной ИАС ЕВЭП располагаются на предприятиях промышленности, в эксплуатирующих организациях и организациях генерального заказчика, участвующих в системе информации о техническом состоянии РН „Союз-2“ и включенных в единую информационную инфраструктуру ЕВЭП (см. рис. 2).



Рис. 3

**Заключение.** Создание и внедрение ИАС ЕВЭП РН „Союз-2“ позволило получить на практике следующие результаты:

- повышение оперативности и качества информационного взаимодействия предприятий при совместной разработке, производстве и испытаниях изделий путем создания системы интеграции информационных технологий, относящихся к различным этапам ЖЦ изделий;
- повышение качества выпускаемой продукции путем создания эффективной системы сбора и анализа информации о дефектах и причинах отказов изделий на всех этапах ЖЦ;
- повышение эффективности деятельности предприятий за счет сокращения издержек при производстве и эксплуатации изделий;
- возможность в режиме реального времени отслеживать деятельность всех включенных в процесс субъектов, их загруженность, состояние технологий и т.д.;
- повышение оперативности и эффективности принятия решений в процессе управления предприятиями путем использования непрерывной информации обо всех технологических изменениях и ее оперативного анализа.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (гранты № 18-08-01505, 19-08-00989, 20-08-01046) в рамках бюджетной темы № 0073-2019-0004.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов Р. Н., Васильев И. Е., Капитонов В. А., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В. Концепция создания и применения перспективной АСУ подготовки и пуска ракеты космического назначения „Союз-2“: новые подходы к интеграции, интеллектуализации, управлению // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 4. С. 3—54.
2. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В. Теоретические и прикладные проблемы разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов // Тр. СПИИРАН. 2002. Т. 1, вып. 1. С. 167—180.
3. Охтилев М. Ю., Чуприков А. Ю. и др. Перспективные направления развития информационных технологий мониторинга состояний сложных технических объектов в реальном масштабе времени // Авиакосмическое приборостроение. 2004. № 11. С. 50—59.
4. Белов В. С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения: Учеб. пособие. М.: Московский гос. ун-т экономики, статистики и информатики, 2005. 111 с.
5. Бурматов С. В. Информационная поддержка жизненного цикла изделий как основа системы менеджмента безопасности авиационной деятельности авиационного комплекса России // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2012. № 178. С. 65—70.

6. Доросинский Л. Г., Зверева О. М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Ульяновск: Зебра, 2016. 243 с.
7. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. М.: ДМК Пресс, 2018. 287 с.
8. Погорелов В. И. Система и ее жизненный цикл: введение в CALS-технологии: Учеб. пособие. СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2010. 182 с.
9. Calof J., Richards G., Smith J. Foresight, Competitive intelligence and business analytics — tools for making industrial programmes more efficient // Foresight. 2015. Vol. 9, N 1. P.68—81.
10. The Open Group: Making Standards Work [Электронный ресурс]: <www.opengroup.org>, 22.03.2018.
11. Перминов А. Н., Прохорович В. Е., Птушкин А. И. От мониторинга технического состояния ракетно-космической техники к мониторингу ее жизненного цикла // В мире НК. 2004. № 4 (26). С. 8—11.
12. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

**Сведения об авторах**

- Михаил Юрьевич Охтилев** — д-р техн. наук, профессор; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; гл. научный сотрудник; E-mail: oxt@mail.ru
- Александр Анатольевич Ключарев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; Институт вычислительных систем и программирования, кафедра компьютерных технологий и программной инженерии; доцент; E-mail: ak@guar.ru
- Павел Алексеевич Охтилев** — канд. техн. наук; Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр интеллектуальных технологий „Петрокомета“; начальник отдела; E-mail: pavel.oxt@mail.ru
- Александр Александрович Зянчурин** — Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр интеллектуальных технологий „Петрокомета“; гл. специалист; E-mail: zwilas@gmail.com

Поступила в редакцию  
02.10.2020 г.

**Ссылка для цитирования:** Охтилев М. Ю., Ключарев А. А., Охтилев П. А., Зянчурин А. Э. Технология автоматизированной информационно-аналитической поддержки жизненного цикла изделий на примере единого виртуального электронного паспорта космических средств // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 11. С. 1012—1019.

**TECHNOLOGY OF AUTOMATED INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT  
OF THE PRODUCT LIFE CYCLE  
ON THE EXAMPLE OF UNIFIED VIRTUAL ELECTRONIC PASSPORT OF SPACE FACILITIES**

**M. Yu. Okhtilev<sup>1</sup>, A. A. Klyucharyov<sup>2</sup>, P. A. Okhtilev<sup>3</sup>, A. E. Zyanchurin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>St. Petersburg Federal Research Center of the RAS,  
199178, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
190000, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>JSC Research and Experimental Center of Intelligent Technologies Petrokometa,  
190000, St. Petersburg, Russia  
E-mail: pavel.oxt@mail.ru

A unified virtual electronic passport of rocket and space technique products is presented. The substantive part of the electronic passport logically consists of two parts - the main one, which includes information that provides accounting, control and analysis of the technical condition of the product, and the auxiliary one, containing reference data in the composition and volume necessary to support the product during operation. It is emphasized that the unified virtual electronic passport should be relevant throughout the entire life cycle of the product due to the regular and timely entry of relevant records on operation-

al and / or repair work into it and should be generated automatically or semi-automatically. New information technologies are developed to be used in creation and use of the electronic passport, which is an automated geographically distributed information system accounting for the product design, creation, testing and operation features, as well as collection, processing, storage and presentation of generalized information about technical state and reliability of space facilities. The specific capabilities of the created unified virtual electronic passport are illustrated by the example of the Soyuz-2 space launch vehicle.

**Keywords:** new information technologies, rocket and space equipment, unified virtual electronic passport of a product

#### REFERENCES

1. Akhmetov R.N., Vasiliev I.E., Kapitonov V.A., Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V. *Aerospace Instrument-Making*, 2015, no. 4, pp. 3–54. (in Russ.)
2. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V. *Informatics and Automation* (SPIIRAS Proceedings), 2002, no. 1(1), pp. 167–180 (in Russ.)
3. Okhtilev M.Yu., Chuprikov A.Yu. et al. *Aerospace Instrument-Making*, 2004, no. 11, pp. 50–59 (in Russ.)
4. Belov V.S. *Informatsionno-analiticheskiye sistemy. Osnovy proyektirovaniya i primeneniya* (Information and Analytical Systems. Design and Application Basics), Moscow, 2005, 111 p. (in Russ.)
5. Burmatov S.V. *Civil Aviation High Technologies*, 2012, no. 178, pp. 65–70.
6. Dorosinskiy L.G., Zvereva O.M. *Informatsionnyye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla izdeliya* (Information Technologies to Support the Product Life Cycle), Ul'yanovsk, 2016, 243 p. (in Russ.)
7. Kogalovskiy M.R. *Perspektivnyye tekhnologii informatsionnykh sistem* (Advanced Technologies of Information Systems), Moscow, 2018, 287 p. (in Russ.)
8. Pogorelov V.I. *Sistema i yeyo zhiznennyy tsikl: vvedeniye v CALS-tekhnologii* (System and Its Life Cycle: an Introduction to CALS Technologies), St. Petersburg, 2010, 182 p., ISBN 978-5-855-46-581-5. (in Russ.)
9. Calof J., Richards G., Smith J.F. *Forsite*, 2015, no. 1(9), pp. 68–81.
10. *The Open Group: Making Standards Work*, www.opengroup.org.
11. Perminov A.N., Prokhorovich V.E., Ptushkin A.I. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*, 2004, no. 4(26), pp. 8–11.
12. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh ob'yektov* (Intelligent Technologies for Monitoring and Controlling the Structural Dynamics of Complex Objects), Moscow, 2006, 410 p. (in Russ.)

#### Data on authors

- Mikhail Yu. Okhtilev** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Chief Researcher; E-mail: oxt@mail.ru
- Alexander A. Klyucharyov** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Institute of Computing Systems and Programming, Department of Computer Technologies and Software Engineering; Associate Professor; E-mail: ak@guap.ru
- Pavel A. Okhtilev** — PhD; JSC Research and Experimental Center of Intelligent Technologies Petrokometa; Head of Department; E-mail: pavel.oxt@mail.ru
- Alexander E. Zyanchurin** — JSC Research and Experimental Center of Intelligent Technologies Petrokometa; Chief Specialist; E-mail: zwilas@gmail.com

**For citation:** Okhtilev M. Yu., Klyucharyov A. A., Okhtilev P. A., Zyanchurin A. E. Technology of automated information and analytical support of the product life cycle on the example of unified virtual electronic passport of space facilities. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 11. P. 1012—1019 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-11-1012-1019