

УДК 004; 681; 658.512.2

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

А.И. Столяров^a, Ю.В. Донецкая^{a,b}, Ю.А. Гатчин^a

^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

^b АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург, 197046, Российская федерация

Автор для переписки: aistol@corp.ifmo.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 27.05.16, принята к печати 25.01.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-312-317

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Столяров А.И., Донецкая Ю.В., Гатчин Ю.А. Особенности формирования электронной структуры комплекса в приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 312–317. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-312-317

Аннотация

Исследованы особенности структуры комплекса промышленных изделий в приборостроении и машиностроении как наиболее сложного вида изделий, характеризующегося сильно разветвленной и многоуровневой структурой. Рассмотрена структура изделия (сборочная единица, комплект, комплекс) в виде совокупности электронных конструкторских документов, содержащих его описание. Увеличение сложности изделий приводит к изменениям процедур взаимодействия между разработчиками на этапах его жизненного цикла, основанных на применении систем управления данными (PDM – Product Data Management). Показано, что между составными частями изделия (в том числе и такого сложного, как комплекс) существуют различные отношения (связи), находящиеся в зависимости от наличия тех или иных составных частей (структуры комплекса). При этом изменяется и способ представления информации в виде электронной структуры изделия. На основе исследования сложности комплекса проведен анализ связей между его структурными составными частями, показаны особенности и способы представления электронной структуры комплекса в виде многоуровневого списка и графа. Предложено разделять изделия, входящие в состав комплекса, на комплексообразующие и вспомогательные, характеризующиеся основными, вспомогательными, конструкторскими или функциональными видами связей. Результаты реализации предлагаемых подходов позволяют решить задачи формирования и представления электронной конструкторской документации средствами PDM-систем и повысить уровень взаимодействия между исполнителями, соисполнителями и заказчиками продукции при проектировании новых изделий.

Ключевые слова

вид изделия, комплекс, сложное изделие, структура изделия, составные части изделия, связи, электронная структура изделия, ЭСИ, PDM

FORMATION FEATURES OF THE COMPLEX ELECTRONIC STRUCTURE IN INSTRUMENT ENGINEERING

A.I. Stolyarov^a, J.V. Donetskaya^{a,b}, Yu.A. Gatchin^a

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

^b Concern “CSRI Elektropribor”, JSC, Saint Petersburg, 197046, Russian Federation

Corresponding author: aistol@corp.ifmo.ru

Article info

Received 27.05.16, accepted 25.01.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-312-317

Article in Russian

For citation: Stolyarov A.I., Donetskaya J.V., Gatchin Yu.A. Formation features of the complex electronic structure in instrument engineering. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 312–317 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-312-317

Abstract

The paper deals with study of structure features of industrial products complex in instrument engineering and mechanical engineering as the most complicated type of products, characterized by highly branched and multi-level structure. We consider the product structure (assembly unit, kit, complex) in the form of a set of electronic design documents, containing its description. The increasing of products complexity leads to changes in interaction procedures between the developers at the stages of its life cycle, based on the use of data management systems (PDM – Product Data Management). We show that there are a variety of relationships (links) between the component parts of the product (including such complicated product as

a complex), dependent on the availability of certain component parts (the structure of the complex). In this case the way of presenting information in the form of the product electronic structure is changed. Analysis of the relations between its structural composite parts based on research of the complex complexity is carried out; the features and ways of representing the electronic structure of the complex in a multi-level list and the graph are shown. We propose to distinguish the products included in the complex between complexing and auxiliary ones, characterized by the main, auxiliary, design or functional type of links. Implementation of the proposed approaches gives the possibility to solve problems of formation and submission of electronic design documentation by means of PDM-systems and to increase the level of interaction between contractors, subcontractors and customers when designing new products.

Keywords

product type, complex, complicated product, product structure, product components, links, product electronic structure, PES, PDM

Введение

Современные изделия являются достаточно сложными [1], поскольку характеризуются многообразием составных частей (деталей, сборочных единиц, комплектов и комплексов) и связей между ними [2]. Это подразумевает усложнение процедур взаимодействия между сотрудниками подразделений, а следовательно, и применение новых методов и средств их реализации [3–5], одними из которых являются PDM-системы. При этом основной единицей хранения и представления данных об изделии является электронная структура изделия (ЭСИ) [6, 7], используемая для структурирования и организации обмена информацией на этапах его жизненного цикла [8–10].

Указанные процедуры регламентированы как на уровне нормативных документов предприятия, так и на государственном или отраслевом уровне. Это обуславливает, прежде всего, необходимость проработки вопросов по обмену данными об изделии в электронном виде, а также организацию формирования совокупности значений качественных параметров, сведений об отказах работы изделий и пр. Наличие подобного перечня сведений позволяет формировать и обрабатывать содержание электронной структуры по значениям критериев, выраженных, в том числе, различными видами связей между составными частями, что ставит задачу их анализа.

В настоящее время известны попытки ее решения. В частности, в работе¹ выполнен анализ типов связей при разработке комплектов в виде набора изделий, характеризующихся конструктивными связями и связями, отображающими их эксплуатационное назначение, названными целевыми связями. В то же время в работе [5] рассматриваются однотипные связи между составными частями одного и того же изделия как в процессе создания, так и при эксплуатации; в работе [11] представлены исследования характеризующие подход к управлению сложностью продукта на основе существующих связей, однако не приводится подробный анализ их типов.

Таким образом, требуется проведение более обобщенного анализа [12], обусловленного разработкой, модернизацией и сопровождением изделий, составные части которых определяют эксплуатационные свойства, относительно независимы между собой и характеризуются различными связями, чему и посвящена настоящая работа.

Виды и структура изделий

Все промышленные изделия распределяются по четырем видам: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты, многообразие которых создается в результате их различных сочетаний и количеств с учетом соответствующей иерархии (ступени вхождения) [13], что показано на рис. 1, а, б.

Изделия также подразделяют на простые – детали (состоящие из одной части) и составные – специфицированные² (содержащие больше чем одну составную часть, которой может быть любой вид изделия). Высшую (нулевую) ступень вхождения занимает конечное изделие, т.е. конечная цель производства. В него могут входить в виде составных частей виды изделий только 1 (первой) ступени. По такому же принципу организовано вхождение изделий нижерасположенных ступеней. Необходимо отметить, что в состав всех видов изделий, кроме деталей, могут входить сборочные единицы, детали и комплекты (нижней ступени), но комплексы (нижней ступени) могут входить только в комплексы (верхней ступени).

Следовательно, комплекс является и наиболее сложным изделием, и единственным, которое может содержать все виды изделий.

Структурный анализ комплекса

Основой комплекса являются специфицированные составные части, которые не соединяются на предприятии-изготовителе сборочными операциями и объединены взаимосвязанными эксплуатационными функциями, каждая из которых выполняет одну или несколько основных функций, установленных для

¹ Сумцов Андрей Владимирович. Методы и алгоритмы автоматизации на изделия приборостроения: дис.... канд. техн. наук. СПб., 2013. С. 142.

² ГОСТ 2.101-68 Единая система конструкторской документации. Виды изделий. Введ. 01.01.1971. М.: Стандартинформ, 2007. 5 с.

него. Целесообразно такие специфицированные составные части определять термином «комплексообразующие основные составные части».

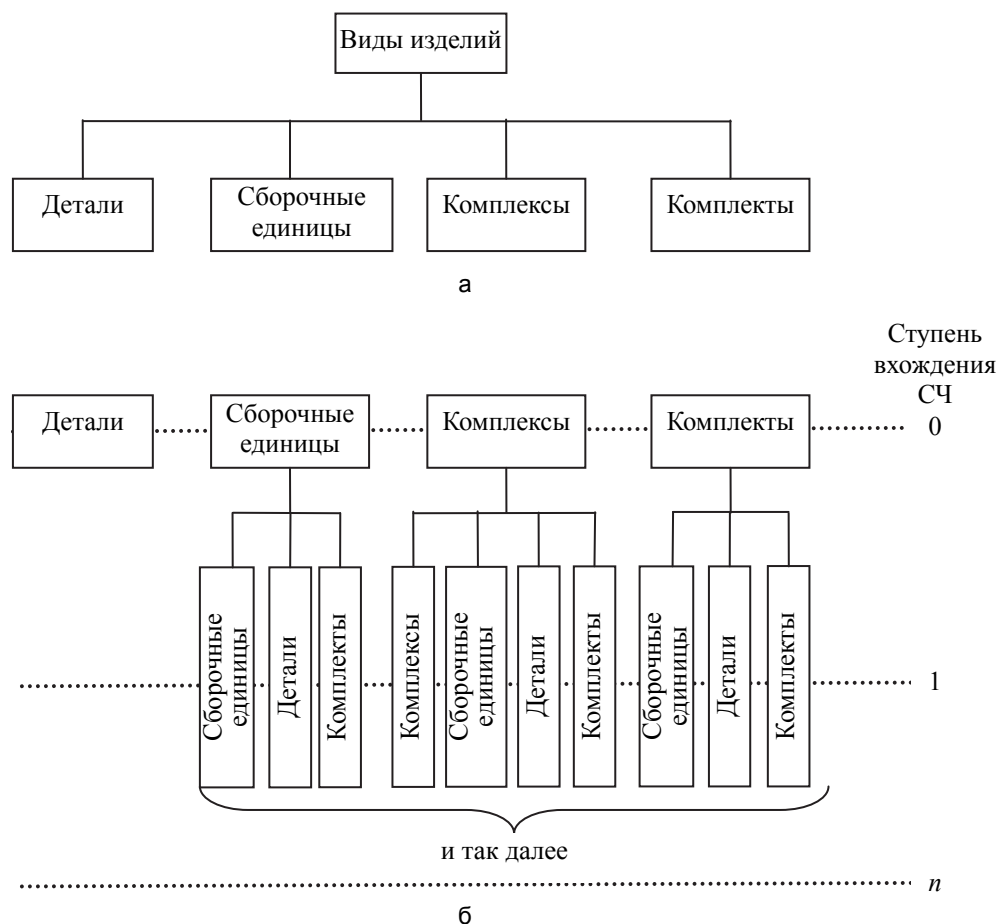


Рис. 1. Виды (а) и структура (б) изделий.

СЧ – составные части видов изделий; n – последующие нисходящие ступени вхождения СЧ

Кроме изделий, выполняющих основные функции, непосредственно в комплекс могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, выполняющие вспомогательные функции (для монтажа на месте эксплуатации, для наладочных работ, запчасти, тара и др.), которые определим термином – вспомогательные части.

Таким образом, комплекс представим состоящим из комплексообразующих основных и вспомогательных изделий. Это обуславливает необходимость представления информации об изделии в виде его электронной структуры^{1,2}.

ЭСИ может быть представлена в виде многоуровневого списка или графа (рис. 2 и 3 соответственно). Представление ЭСИ многоуровневым списком удобно при разработке документации и проектировании изделий и используется в PDM-системах [14].

В свою очередь, представление ЭСИ в виде графа позволяет решать вопросы, связанные с конструкцией (структурой составных частей, иерархией составных частей), сложностью изделий, их взаимодействием, структурными изменениями и др. [15].

Как следует из рисунков, сложность комплекса характеризуется также разнообразием связей его составных частей [11]. В соответствии с этим определим следующие их виды:

- основные – связи между комплексом и комплексообразующими основными изделиями;
- вспомогательные – связи между комплексом и вспомогательными изделиями;
- конструкторские – связи между составными частями сборочной единицы;
- функциональные – связи между взаимосвязанными эксплуатационными функциями комплекса и основными эксплуатационными характеристиками и функциями комплексообразующих изделий.

¹ ГОСТ 2.053-2013. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения. Введ. 01.06.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

² ГОСТ 2.054-2013 Единая система конструкторской документации. Электронное описание изделия. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

В графическом представлении ЭСИ комплекса эти связи можно задавать различными видами линий, как, например, показано на рис. 2, 3 и 4 [ГОСТ¹].

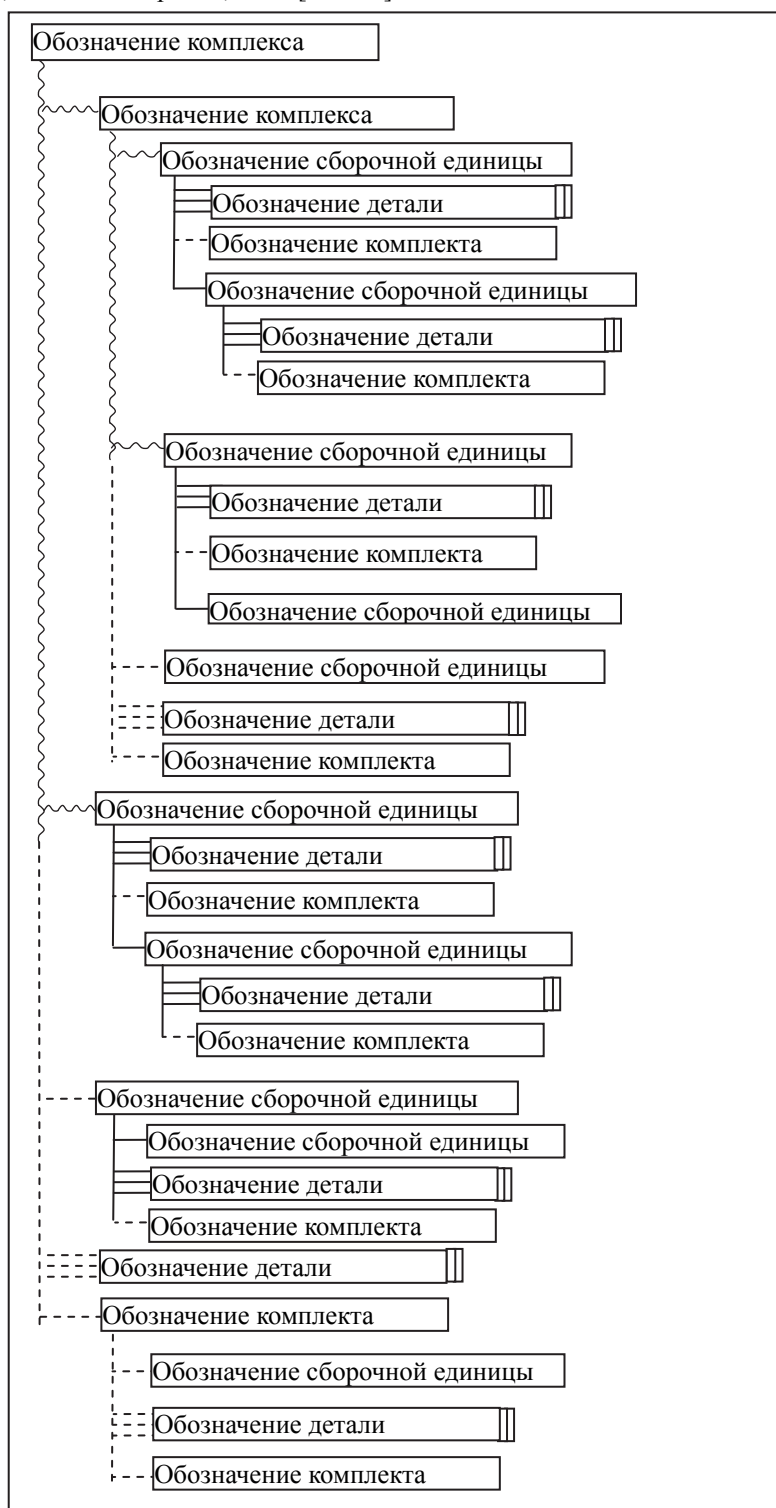


Рис. 2. Электронная структура комплекса в виде многоуровневого списка
 ~~~~~ основные функции;  
 — конструктивные функции;  
 - - - вспомогательные функции

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 10303-44-2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 44. Интегрированные обобщенные ресурсы. Конфигурация структуры изделия. Введ. 20.12.2002. М.: Издательство стандартов, 2003. 54 с.

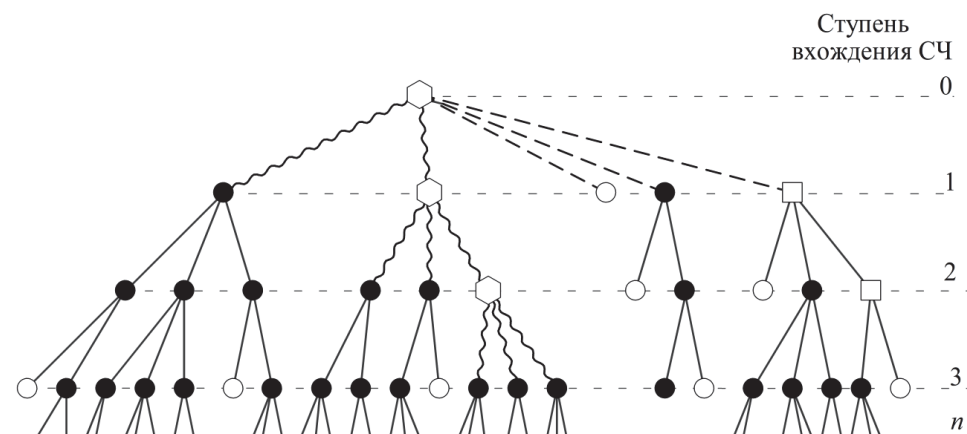


Рис. 3. Электронная структура комплекса в виде графа  
 ◻ Комплекс; ● Сборочная единица; ○ Деталь; ◻ Комплекс;  
 ~ Основные связи; — Конструктивные связи; - - - Вспомогательные связи;

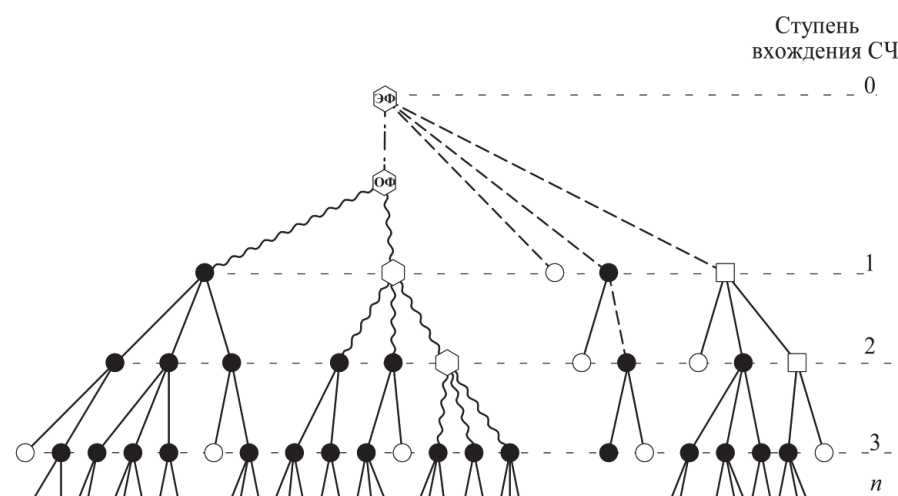


Рис. 3. Функциональная электронная структура комплекса в виде графа  
 ◻ Комплекс; ● Сборочная единица; ○ Деталь; ◻ Комплекс;  
 ~ Основные связи; — Конструктивные связи; - - - Вспомогательные связи;  
 - · - - Функциональные связи;

ЭФ – взаимосвязанные эксплуатационные функции комплекса; ОФ – основные функции, установленные для всего комплекса

### Заключение

Таким образом, разделение изделий, входящих в состав комплекса, на комплексообразующие и вспомогательные составные части выявило несколько видов связей между ними. В дальнейшем это позволит установить их возможные сочетания, на основе которых будут созданы методы формирования и представления средствами PDM-систем электронных конструкторских документов для организации новых способов взаимодействия между исполнителями, соисполнителями и заказчиками продукции.

### Литература

1. Колоколов А.А., Ярош А.В. Автоматизация проектирования сложных изделий с использованием дискретной оптимизации и информационных технологий // Омский научный вестник. 2010. №2 (90). С. 234–238.
2. Столяров А.И. Информационное обеспечение исследования и обоснования разработки промышленного изделия // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2015. С. 375–378.
3. Чернов А.В., Янц В.И., Карпенко Е.В. Применение Radix деревьев для индексации слабоструктурированных данных // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 2 (163). С. 134–140.
4. Васильева Е. Круглый стол: СХД в эпоху Больших Данных

### References

1. Kolokolov A.A., Yarosh A.V. Computer-aided design of complex products using discrete optimization and information technologies. *Omsk Scientific Bulletin*, 2010, no. 2, pp. 234–238. (In Russian)
2. Stolyarov A.I. Information support of research and justification of the development of industrial products. *Al'manakh Nauchnykh Rabot Molodykh Universiteta ITMO*, 2015, pp. 375–378. (In Russian)
3. Chernov A.V., Yants V.I., Karpenko E.V. Adaptation of radix trees for indexing semistructured data. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2015, no. 2, pp. 134–140. (In Russian)
4. Vasil'eva E. Round table: storage systems in the era of Big Data. *Rational Enterprise Management*, 2015, no. 1. (In Russian)

- // Рациональное Управление предприятием. 2015. №1.
5. Persson Dahlqvist A. Product data management and software configuration management integration. Thesis. Vasteras: Malardalen University Press, 2005. 116 p.
  6. Вичугова А.А., Вичугов В.Н., Цапко Г.П. Формальная модель структуры взаимосвязей разнотипных объектов проектирования // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322. № 5. С. 164–169.
  7. Гатчин Ю.А., Донецкая Ю.В., Комарова И.Б. Алгоритмы автоматизации проектирования изделий приборостроения // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т.54. № 5. С. 11–18.
  8. Донецкая Ю.В. Интеграция систем для формирования полного электронного описания изделия // Навигация и управление движением. Материалы XV конференции молодых ученых. 2013. С. 176–181.
  9. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / Под ред. В.В. Бакаева. М.: Машиностроение-1, 2005. 623 с.
  10. Краснухин А. Методологии проектирования сложных изделий [Электронный ресурс]. 2003. Режим доступа: [http://citforum.ru/consulting/articles/complex\\_projects/](http://citforum.ru/consulting/articles/complex_projects/) (дата обращения 09.12.2015).
  11. Maurer M.S. Structural Awareness in Complex Product Design. PhD Dissertation. Munich: The Technical University of Munich, 2007. 260 p.
  12. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М.: СИНТЕГ, 2007. 668 с.
  13. Столяров А.И. Анализ структуры сложных изделий приборостроения // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. 2016. Т. 5. С. 45–48.
  14. Нужный А.М., Гребенникова Н.И., Барабанов А.В., Поваляев А.В. Анализ факторов выбора системы управления данными // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 6-2. С. 25–31.
  15. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
  5. Persson Dahlqvist A. *Product Data Management and Software Configuration Management Integration*. Thesis. Vasteras, Malardalen University Press, 2005, 116 p.
  6. Vichugova A.A., Vichugov V.N., Tsapko G.P. Formal model of a structure of different design objects relationships. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 5, pp. 164–169. (In Russian)
  7. Gatchin Yu.A., Donetskaya Yu.V., Komarova I.B. Algorithms of instrument-making products design automation. *Journal of Instrument Engineering*, 2011, vol. 54, no. 5, pp. 11–18. (In Russian)
  8. Donetskaya Yu.V. Integrating systems to form a complete electronic product description. *Navigatsiya i Upravlenie Dvizhenie Materialy XV Konferentsii Molodykh Uchenykh* [Navigation and control. Proc. XV Conference of Young Scientists]. St. Petersburg, 2013, pp. 176–181. (In Russian)
  9. *Information Provision, Support and Maintenance of the Product Lifecycle*. Ed. V.V. Bakaev. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2005, 623 p. (In Russian)
  10. Krasnuhin A. *Methodologies of Complex Products Design*. 2003. Available at: [http://citforum.ru/consulting/articles/complex\\_projects/](http://citforum.ru/consulting/articles/complex_projects/) (accessed 09.12.2015).
  11. Maurer M.S. *Structural Awareness in Complex Product Design*. PhD Dissertation. Munich, The Technical University of Munich, 2007, 260 p.
  12. Novikov A.M., Novikov D.A. *Methodology*. Moscow, Sinteg Publ., 2007, 668 p. (In Russian)
  13. Stolyarov A.I. Structure analysis of complex products in instrumentation. *Al'manakh Nauchnykh Rabot Molodykh Uchenykh Universiteta ITMO*, 2016. V. 5. Pp. 45–48. (In Russian)
  14. Nuzhny A.M., Grebennikova N.I., Barabanov A.V., Povalyaev A.D. Analysis of factors of the choice of system data control. *The Bulletin of VSTU*, 2013, vol. 9, no. 6-2, pp. 25–31. (In Russian)
  15. Norenkov I.P., Kuz'mik P.K. *Information Support to Science-Intensive Products. CALS Technology*. Moscow, Bauman MGTU Publ., 2002, 320 p. (In Russian)

#### Авторы

**Столяров Алексей Игоревич** – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [aistol@corp.ifmo.ru](mailto:aistol@corp.ifmo.ru)

**Донецкая Юлия Валерьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 197046, Российская Федерация; доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [donetskaya\\_julia@mail.ru](mailto:donetskaya_julia@mail.ru)

**Гатчин Юрий Арменакович** – доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [gatchin@mail.ifmo.ru](mailto:gatchin@mail.ifmo.ru)

#### Authors

**Aleksey I. Stolyarov** – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [aistol@corp.ifmo.ru](mailto:aistol@corp.ifmo.ru)

**Julia V. Donetskaya** – PhD, senior researcher, Concern “CSRI Elektropribor”, JSC, Saint Petersburg, 197046, Russian Federation; Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [donetskaya\\_julia@mail.ru](mailto:donetskaya_julia@mail.ru)

**Yuri A. Gatchin** – D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [gatchin@mail.ifmo.ru](mailto:gatchin@mail.ifmo.ru)