

Simulation results should have the required degree of accuracy and reliability, that is, a model should be investigated adequately in the real process. Model of a "wheel" class was used as a standalone model for testing of the control algorithms for ABS, as elements of the other, broader models, reproduced adequately the braking forces on the wheels of the car. Analysis of the works of the domestic and foreign researchers shows that currently many different versions of models for calculation of $\varphi\chi$ -s diagrams are used. However, there are no recommendations concerning selection and use of particular models in the study of the braking process of the car wheels in various conditions. In this regard, the purpose of this study is analysis of the degree of conformity of the values of the coefficient of adhesion to the road wheels, calculated by various dependencies, the values obtained in experiments, and development of recommendations for determination of the optimal formula for calculation of the diagrams depending on the type and condition of a road. The article describes various versions of the dependency of the coefficient of tire to the road coefficient of the longitudinal slip. It also presents the results of the road experiments for different types and conditions of the road surface. The article presents an analysis of conformity of the values of the coefficient of friction of a tire for calculation of various dependencies, and development of recommendations concerning search for the optimal formula for calculation of $\varphi\chi$ -s diagrams for various types and conditions of the road surface.

Keywords: car, brake, tire, mathematical modeling, coefficient of traction, ratio of the longitudinal slip, optimization of $\varphi\chi$ -s diagram according to the criterion of the road conditions

For citation:

Balakina E. V., Zotov N. M., Fedin A. P. Recommendations on Selection of Models for Calculation of ($\varphi\chi$ -s)-Diagrams of Automobile Tires by the Criterion of the Road Conditions, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 2, pp. 128–133.

DOI: 10.17587/mau/17.128-133

References

1. **Balakina E. V., Zotov N. M., Fedin A. P.** *Osobennosti komp'yuternogo modelirovaniya v real'nom vremeni processa tormozheniya avtomobil'nogo koleasa* (Features of computer simulation in real time of the braking process of automotive wheels), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 3, pp. 174–182 (in Russian).
2. **Balakina E. V.** *Raschet φ -s-diagramm na osnove obobshheniya rezul'tatov zarubezhnykh jeksperimentov* (The calculation of the φ -s diagrams on the basis of generalization of the results of foreign experiments), *Automotive Industry*, 2014, no 6, pp. 18–19 (in Russian).
3. **Balakina E. V., Zotov N. M., Zotov V. M., Platonov I. A., Fedin A. P.** *Problemy modelirovaniya dinamicheskikh processov v real'nom vremeni* (na primere tormoznoj dinamiki avtomobilja) (Problems of modeling dynamic processes in real time (for example brake vehicle dynamics), S. V. Bahmutov ed., Moscow, Mashinostroenie, 2013, 300 p.
4. **Revin A. A.** *Povyshenie jeffektivnosti, ustojchivosti i upravljajemosti pri tormozhenii avtotransportnykh sredstv* (Improving the efficiency, stability and controllability during braking of motor vehicles), Dissertation ... D. Sc. (Engineering), Volgograd, 1983, 601 p.

5. **Burckhardt M.** *Fahrwerktechnik: Radschlupf-Regelsysteme*, Wurzbur, Vogel, 1993, 432 p.

6. **Canudas-de-Wit C., Tsiotras P., Velenis E., Basset M., Gissinger G.** *Dynamic Friction Models for Road/Tire Longitudinal Interaction*, *Vehicle System Dynamics*, 2002, vol. 39 (3), pp. 189–226.

7. **Ir. I. J. M. Besselink, H. Nijmeijer, Ir. A. J. C. Schmeitz, Ir. J. A. W. van Dommelen.** Tyre models for steady-state vehicle handling analysis, ing. R. T. Uil DCT, Eindhoven, December, 2007, 142 p.

8. **Hakanen J., Kahara T.** Tyre Characterisation on Ice and Snow with a Measurement Vehicle, *2nd International Colloquium on Vehicle-Tyre-Road Interaction*. Nokian Tyres, Florence, February 23rd 2001.

9. **Kiencke U., Nielsen L.** *Automotive Control Systems — For Engine, Driveline, and Vehicle*. Second edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, p. 512.

10. **Liukkula M.** Tyre Characterisation on Summer and Winter Surfaces, *Presentation in Tire Technology Expo 2006, 3rd International Colloquium on Vehicle-Tyre-Road Interaction*. Nokian Tyres, available at: http://www.vertec.hut.fi/P05_Tire_tests.pdf.

11. **Denny M.** The dynamics of antilock brake systems, *European Journal of Physics*, 2005, vol. 26, no. 6, pp. 1007–1016.

12. **Nordstrom O., Astrom H.** Upgrading of VTI friction test vehicle BV12 for combined braking and steering tests under aquaplaning and winter conditions, *2nd International Colloquium on Vehicle-Tyre-Road Interaction*. Nokian Tyres, Florence, February 23rd 2001.

13. **Zotov N. M., Balakina E. V.** Using the φ - s_x Nomogram in Calculating the Dynamics of a Braked Wheel, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2007, vol. 36, no. 2, pp. 193–198.

УДК 007.51

DOI: 10.17587/mau.17.133-137

Л. В. Массель, д-р техн. наук, проф., massel@isem.sei.irk.ru,

А. С. Жиляев, аспирант, anton@el.istu.edu, **А. С. Говорков**, доц. govorkov_as@istu.edu,
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Методика перехода от трехмерной модели к онтологическому представлению изделий авиационной техники*

Предлагается методика перехода от трехмерной модели изделия авиационной техники к онтологическому представлению и ее практическая реализация. Рассмотрены вопросы анализа производственной технологичности в авиастроении, автоматизации процесса проектирования. Предложенная методика призвана облегчить процесс перехода между важнейшими этапами разработки изделия авиационной техники — проектированием и технологическим контролем, ускорить процесс проектирования, а также упростить внесение изменений в готовую 3D-модель изделия.

Ключевые слова: онтологическое моделирование, анализ производственной технологичности, интеллектуальные системы

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-07-01284 А.

Введение

В современном авиастроении большое внимание уделяется сокращению производственных издержек и повышению вследствие этого конкурентоспособности компании на рынке. С этой целью в процессе проектирования самолета или вертолета обязательным стало проведение технологического контроля изделия — поиска наиболее выгодного способа производства изделия [1]. Данный этап требует от эксперта значительного багажа знаний и опыта, так как необходимо выбрать, на каком оборудовании и каким способом изготавливать ту или иную деталь. Учитывая сложность современного самолета (типовой пассажирский лайнер состоит из примерно 3 млн деталей), можно отметить, что проведение полноценного анализа для каждой детали требует значительных трудозатрат. Вследствие этого на практике используются типовые, шаблонные решения, которые не меняются десятилетиями [2]. Это позволяет значительно сократить трудозатраты на этапе технологического контроля изделий, но, как следствие, страдает качество принимаемых решений. Таким образом, проблема, в широкой постановке, заключается в том, что существующие практики технологического контроля изделий не способны обеспечить снижение себестоимости производства, в то время как благодаря использованию современного оборудования на производстве образовался задел по сокращению издержек.

Под информационной моделью понимается описание последовательности: сборка, деталь, конструктивный элемент, полуфабрикат, технологическая операция, средство технологического оснащения, оборудование. Данная цепочка обладает свойством информационной достаточности, необходимым для проведения технологического контроля изделия [6]. Под объектами производственной среды понимается набор элементов для каждой сущности из онтологии, представленной на рис. 1. Набор элементов характеризует технологические возможности предприятия.

В работе представлено решение по частичной автоматизации некоторых составляющих техноло-

гического контроля, а именно — проектирования модели в CAD-системе (Siemens NX) и перехода от проектирования к технологическому контролю изделия (Siemens Teamcenter). Этапы проектирования и технологического контроля связаны между собой необходимостью передачи данных из NX в Teamcenter. Переход от модели, представленной в виде 3D-модели, к представлению в виде онтологии, включающей цепочки объектов производственной среды, называемые информационной моделью изделия (см. рис. 1), сопряжен с определенными сложностями. Каждому элементу 3D-модели соответствует конструктивный элемент (КЭ). Вследствие различного формата представлений данных автоматическая конвертация затруднена, поэтому применяется ручное добавление КЭ для каждого элемента 3D-модели. Предлагаемая авторами идея заключается в организации базы данных объектов производственной среды, включающей как трехмерное представление, так и технологическую информацию. Это позволит облегчить процесс перехода между этапами, ускорить процесс проектирования за счет использования типовых элементов и упростить внесение изменений в готовую 3D-модель изделия.

Обзор существующих подходов к распознаванию элементов 3D-модели

Стандартом де-факто для проектирования в области машиностроения в РФ является САПР Siemens NX. История программы насчитывает более 30 лет. За это время система прошла путь, по сути, от автоматизированного чертежного стола до многофункционального программного комплекса, позволяющего рассчитать кинематику нагрузок модели и создать программу обработки для станка с числовым программным управлением. Одной из возможностей NX является задание пользовательских элементов — UDF (user defined feature). UDF представляет собой именованную последовательность действий, применяемых при моделировании изделия. Используя UDF, конструктор может избавиться от рутинной работы и создавать модель из готовых элементов, вводя только их параметры.

Формат представления моделей в NX основан на полигонах и сплайнах, что удобно при 3D-моделировании, но затрудняет работу с моделью на дальнейших этапах, выполняющихся, как правило, в PLM-системе Siemens Teamcenter, использующейся для автоматизации документооборота и управления жизненным циклом изделия (PLM). После завершения моделирования необходимо вести работу не с геометрией модели, а со списком и параметрами КЭ, из которых она состоит. Для перехода от 3D-модели к списку КЭ в существующей практике не используются средства автоматизации, технологу приходится вводить состав детали и размеры КЭ в ручном режиме, основываясь на анализе модели. Такой процесс требует значитель-



Рис. 1. Онтология информационной модели изделия

ных трудозатрат и усложняет внесение изменений в модель, что отрицательно сказывается на эффективности работы конструктора и технолога.

Для решения указанной проблемы существуют решения по автоматическому распознаванию элементов (Automatic Feature Recognition) [3]. На данный момент одним из самых функционально богатых решений является плагин DFM pro компании Geometric Ltd., также используются модули распознавания в САПР ADEM, Feature CAM и др. DFM pro позволяет распознавать минимальные геометрические фигуры в модели (отверстия, скругления и т. д.) и определять нетехнологичные сочетания, которые невозможно или слишком дорого изготовить на имеющемся оборудовании. Однако для полноценной интеграции с другими этапами производства необходимо распознавание не геометрических фигур, а сразу КЭ с привязкой к базе данных объектов производственной среды. Этого существующие решения обеспечить не могут, в силу используемых технологий распознавание выполняется с использованием дерева решений, в котором в роли условий выступают операции построения детали или геометрические фигуры [4, 5]. Такая система не может расширяться пользователем и не соответствует современным требованиям к программному обеспечению.

Методика построения информационной модели на основе трехмерного представления изделия авиационной техники

Одной из основных причин невысокого уровня автоматизации на этапе технологического контроля изделия является крайне низкий уровень формализации процесса технологического проектирования. Коллективом авторов ведется работа по формализации этого процесса [6, 7], результатом которой стала информационная модель изделия авиационной техники (АТ), методика оценки изделий АТ на технологичность, а также практическая реализация предложенного подхода в СППР "Система анализа ТКИ". В данной работе выполнены развитие авторского подхода к анализу технологичности и разработка методики перехода от трехмерного представления изделия АТ к его информационной модели.

Предлагаемый подход заключается в привязке UDF, являющихся трехмерным представлением КЭ, к объектам КЭ из базы данных объектов производственной среды. При работе в Siemens NX конструктор создает трехмерную модель изделия АТ с помощью UDF, импортированных из "Системы анализа ТКИ" или Siemens Teamcenter посредством разработанного плагина. На следующем этапе технолог создает в "Системе анализа ТКИ" или Teamcenter информационную модель изделия для проверки ее на технологичность. Благодаря разработанному плагину технолог имеет возможность добавить все конструктивные элементы с размерами из модели NX в информационную модель изделия

в автоматическом режиме, а конструктор получает возможность вносить изменения в 3D-модель в полуавтоматическом режиме. Таким образом, вместо распознавания элементов применяется словарь UDF, который приводится в соответствие с базой данных объектов производственной среды и может расширяться пользователем. Благодаря применению указанного подхода реализуется однозначное, а не вероятностное распознавание КЭ 3D-модели, что является необходимым условием на последующих этапах проектирования изделий АТ.

Методика перехода от трехмерной модели изделия авиационной техники к онтологическому представлению, основанная на работе [8], включает следующие шаги:

1. Смоделировать UDF, представляющие КЭ, и занести их в базу данных объектов производственной среды.
2. Установить соответствие между параметрами КЭ и параметрами UDF.
3. Смоделировать трехмерное изделие авиационной техники, используя набор UDF из базы данных объектов производственной среды.
4. Установить соответствие между UDF модели изделия и UDF базы данных, сформировав, таким образом, список КЭ с параметрами, из которых состоит трехмерная модель изделия.
5. Построить на основе списка КЭ информационную трехмерную модель изделия.

Реализация методики

На основании методики разработан плагин для SiemensNX, упрощающий работу конструктора и технолога. Использование плагина предполагает следующие шаги (рис. 2):

- 1) добавление UDF в базу КЭ "Системы анализа ТКИ";
 - 1.1) технолог при добавлении КЭ в "Систему анализа ТКИ"/Teamcenter вносит не только информацию о размерах, но также и добавляет файл UDF, соответствующий трехмерной модели КЭ;
 - 1.2) другой вариант использования позволяет конструктору при работе в Siemens NX открыть плагин и добавить UDF из базы NX в базу КЭ;
- 2) добавление UDF в базу Siemens NX;
- 3) проектирование изделия в Siemens NX с помощью UDF;
- 4) добавление UDF в информационную модель изделия;
- 5) при необходимости внесение изменений в 3D-модель.

При разработке использован язык Java, NXOpenAPI для связи с САПР NX и СУБД MariaDB для хранения онтологического представления объектов производственной среды. Фрагмент графического интерфейса плагина и типовая модель изделия АТ представлены на рис. 3. Структура онтологии в виде ориентированного графа перенесена в реляционную базу данных [9]. Интеграция мо-

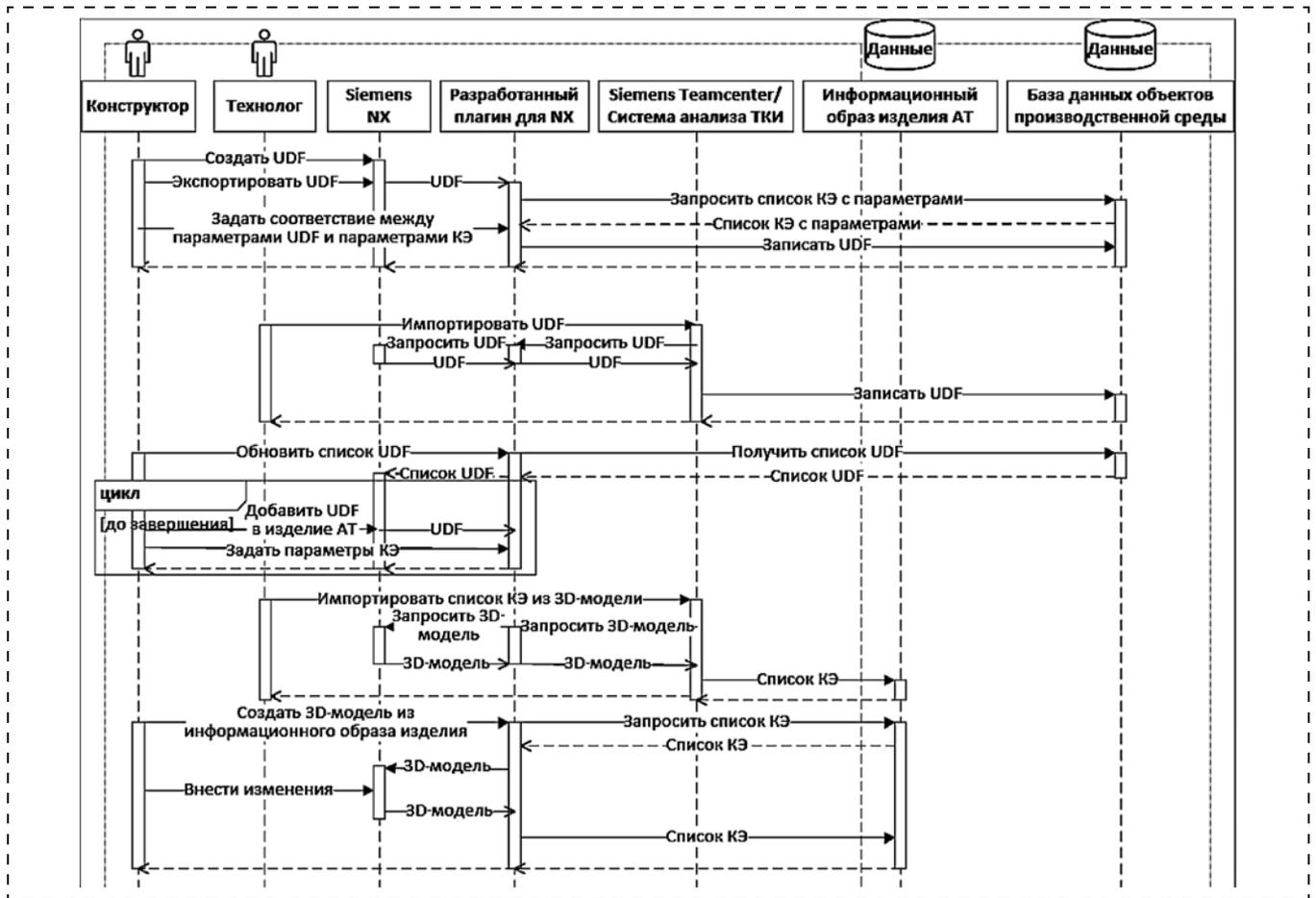


Рис. 2. UML диаграмма последовательностей для плагина NX

дели онтологии в разработанный плагин выполнена в соответствии с методикой, описанной в работе [10].

Рассмотрим подробнее процесс работы с плагином. В Siemens NX конструктор создает с помощью UDF трехмерную модель изделия, причем каждый UDF соответствует конструктивному элементу. Далее с использованием разработанного плагина загружается список КЭ из базы данных объектов производственной среды и задается соответствие между объектами и параметрами UDF и КЭ в ручном режиме. После этого полученный UDF записывается в базу данных объектов производственной среды для последующего использования тех-

нологом при быстром построении 3D-модели по информационной модели изделия.

Заключение

В статье проанализированы современные программные средства автоматического распознавания элементов, найдены пути их совершенствования. На основании проведенного анализа предложены методика перехода от трехмерной модели изделия авиационной техники к онтологическому представлению и разработанный на ее основе плагин для Siemens NX. Результаты работы призваны облегчить процесс перехода между важнейшими этапами разработки изделия АТ — проектированием и технологическим контролем, ускорить процесс проектирования, а также упростить внесение изменений в готовую 3D-модель изделия АТ.

Список литературы

1. **Амиров Ю. Д.** Технологичность конструкции изделия // Библиотека конструктора. М.: Машиностроение, 1990. 768 с.
2. **Колганов И. М., Дубровский П. В., Архипов А. Н.** Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1: учеб. пособ. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 148 с.
3. **Subrahmanyam P., Wozny M.** An overview of automatic feature recognition techniques for computer-aided process planning // Computers in industry. 1995. Vol. 26. P. 1—21.

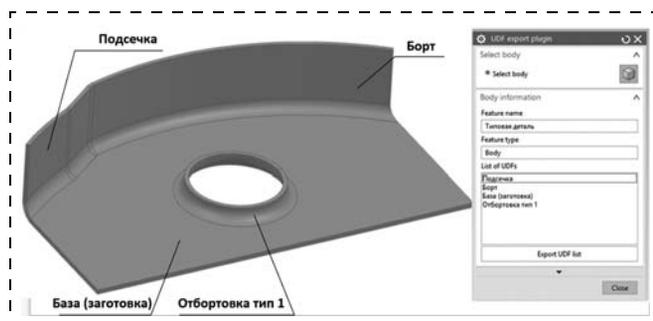


Рис. 3. Фрагмент графического интерфейса плагина и типовая модель изделия АТ

4. **Emad P. Abouel Nasr, Ali K. Kamrani.** A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system // *Computers & Industrial Engineering*. 2006. Vol. 51. P. 389–415.
5. **Черепашков А. А., Носов Н. В.** Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. Волгоград: Инфолио, 2009. 650 с.
6. **Говорков А. С., Ахатов Р. Х.** Анализ технологичности изделия авиационной техники на основе информационного образа изделия // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13. № 6—1. С. 285—292.
7. **Говорков А. С., Жиляев А. С.** Практическое применение "Системы анализа технологичности" при проведении техноло-

- гического контроля изделия авиационной техники // *Труды МАИ*. 2014. № 74. С. 21.
8. **Hoque A. P. M., Szecsi T.** Designing using manufacturing feature library // *Journal of Materials Processing Technology*. 2008. Vol. 201, Iss.s 1—3. P. 204—208.
9. **Массель Л. В.** Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. 2010. № 2. С. 34—43.
10. **Массель А. Г.** Методологический подход к организации интеллектуальной поддержки исследований проблемы энергетической безопасности // *Информационные технологии*. 2010. № 9. С. 32—36.

Methods of Transition from a 3D Model to an Ontological Presentation of the Products of Aircraft Technologies

L. V. Massel, massel@isem.sei.irk.ru, A. S. Zhilyaev, anton@el.istu.edu✉,

A. P. Govorkov, govorkov_as@istu.edu,

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russian Federation

Corresponding author: **Zhilyaev Anton S.**, Postgraduate Student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russian Federation, e-mail: anton@el.istu.edu

Received on May 26, 2015

Accepted on August 03, 2015

Modern aircraft industry focuses, among other things, on reduction of the production costs in accordance with the market demands. Cost reduction can be achieved due to design for manufacturability (DFM) process. DFM practices are aimed to develop products of the same quality, but more cost efficient. This process requires additional knowledge and sufficient experience in selection of the appropriate equipment and technologies for the parts' production. Given the complexity of a modern airplane design (3 million parts for Boeing 767), it's hard to develop the right technology for each part, and, as a consequence, the design engineers often utilize the patterns, which have not changed for decades. The problem is that common practice does not exploit fully the potential of the modern equipment. One of the reasons behind the low automation level in the DFM process is a poor formalization of the DFM process. The authors of this paper did some work for formalization of the DFM process, which resulted in development of an information model, a method of the DFM process and their implementation in DSS, "DFM analysis system". This paper proposes a method for transition from a 3D model to its ontological presentation and describes its usage in the aircraft design process. The problems of the design for manufacturability and design automation are also discussed. The proposed method is aimed to ease the process of the data exchange between important aircraft design phases, namely engineering and design control. The method is also intended to increase the speed of designing and 3D model customizability. The author's plug-in for Siemens NX is based on the method of transition from a 3D model to its ontological presentation and focuses on simplification of the work of the design engineers and technologists.

Keywords: ontological modeling, design for manufacturability, intelligent systems

Acknowledgements: The work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 15-07-01284 A.

For citation:

Massel L. V., Zhilyaev A. S., Govorkov A. S. Methods of Transition from a 3D Model to an Ontological Presentation of the Products of Aircraft Technologies, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 133—137.

DOI: 10.17587/mau/17.133-137

References

1. **Amirov U. D.** *Tekhnologichnost' konstruksii izdeliya* (Design for manufacturability for airplane parts), *Biblioteka Konstruktora*. M.: Mashinostroenie, 1990. 768 p. (in Russian).
2. **Kolganov I. M., Dubrovskij P. V., Arkhipov A. N.** *Tekhnologichnost' aviatsionnykh konstruksij* (How to increase design for manufacturability), Part 1, UI'yanovsk, Publishing house of UIGTU, 2003, 148 p. (in Russian).
3. **Subrahmanyam P., Wozny M.** An overview of automatic feature recognition techniques for computer-aided process planning, *Computers in industry*, 1995, Vol. 26, pp. 1—21.
4. **Emad P. Abouel Nasr, Ali K. Kamrani.** A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system, *Computers & Industrial Engineering*, 2006, vol. 51, p. 389—415.

5. **Cherepashkov A. A., Nosov N. V.** *Komp'yuternye tekhnologii, modelirovanie i avtomatizirovannye sistemy v mashinostroyeni* (Information technologies, modeling and automatic systems in mechanical engineering), Volgograd, Infolio, 2009, 650 p. (in Russian).
6. **Govorkov A. S., Akhatov R. Kh.** *Analiz tekhnologichnosti izdeliya aviatsionnoj tekhniki na osnove informatsionnogo obraza izdeliya* (Aircraft design for manufacturability based on the informational model), *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossijskoj Akademii Nauk*, 2011, vol. 13, no. 6—1, pp. 285—292. (in Russian).
7. **Govorkov A. S., Zhilyaev A. S.** *Prakticheskoe primeneniye "Sistemy analiza tekhnologichnosti" pri provedenii tekhnologicheskogo kontrolya izdeliya aviatsionnoj tekhniki* (Usage of "DFM analysis system" on practice), *Trudy MAI*, 2014, no. 74, pp. 21 (in Russian).
8. **Hoque A. P. M., Szecsi T.** Designing using manufacturing feature library, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, vol. 201, iss. 1—3, pp. 204—208.
9. **Massel' L. V.** *Primeneniye ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo modelirovaniya dlya analiza razvitiya i posledstviy chrezvychajnykh situatsij v ehnergetike* (Usage of ontological, cognitive and event-based modeling methods for energetic forecasting), *Problemy Bezopasnosti i Chrezvychajnykh Situatsij*, 2010, no. 2, pp. 34—43 (in Russian).
10. **Massel' A. G.** *Metodologicheskij podkhod k organizatsii intellektual'noj podderzhki issledovaniy problemy ehnergeticheskoy bezopasnosti* (The method of decision support on energetic safety research), *Informatsionnye Tekhnologii*, 2010, no. 9, pp. 32—36 (in Russian).