

**МЕТОДИКА НИСХОДЯЩЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

М. В. Лихачев

АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва»  
Российская Федерация, 662972, г. Железнодорожск Красноярского края, ул. Ленина, 52  
E-mail: max\_kzk@catiaforum.ru

*Технология нисходящего проектирования в сквозных системах 3D-моделирования и управления жизненным циклом изделия предоставляет значительные преимущества для аэрокосмических предприятий. Такой подход позволяет использовать параллельные бизнес-процессы и организовать эффективное управление изменениями в изделии. Он работоспособен не только для 3D-моделей на разных стадиях проектирования, но и для структур требований, а также функциональной и логической структур изделия. 3D-модель, разработанная с использованием принципов нисходящего проектирования, является неотъемлемой частью модели данных и процессов предприятия. Проанализированы существующие модели данных и процессов аэрокосмических предприятий и предложена новая модель, предполагающая полное использование возможностей современных PLM-систем и технологии нисходящего проектирования. Космический аппарат – достаточно специфичное изделие с точки зрения нисходящего подхода и схем геометрической параметризации. Рассматривается процесс 3D-моделирования КА как часть процесса управления структурой изделия. Процесс разработки 3D-модели изделия состоит из трех фаз. Функциональная схема изделия, связанная с логической или функциональной структурой изделия, описывает базовые размеры и компоновку КА. Проектный электронный макет изделия уточняет принципиальные компоновочные решения проекта КА. Конструкторский электронный макет изделия, связанный с проектным, предназначен для формирования структуры изделия и комплекта конструкторской документации. Успешное применение технологии нисходящего проектирования невозможно без наличия библиотек 3D-моделей, некоторые из которых обладают интеллектуальными свойствами. Технология управления знаниями – одна из ключевых технологий, на которых базируется нисходящий подход. Внедрение принципов нисходящего проектирования может потребовать реинжиниринга бизнес-процессов предприятия. Решением может стать проектный подход к организации разработки изделия либо методика «ворота качества».*

*Ключевые слова:* САПР, бизнес-процессы, нисходящее проектирование, управление жизненным циклом изделия, космический аппарат, конструирование, проектирование.

Vestnik SibGAU  
Vol. 16, No. 2, P. 423–429**TOP-DOWN APPROACH FOR SPACECRAFT DEVELOPMENT**

M. V. Lihachev

JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”  
52, Lenin Str., Jejeznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation  
E-mail: max\_kzk@catiaforum.ru

*Top-Down product development in integrated 3D-CAD/PLM systems is a source of the significant advantages for aerospace enterprises. This approach allows to parallelize the development process and to effectively manage product changes. This approach is effective not only for 3D models of different phases of development, but also for product systems breakdown at initial phase. The top-down 3D model is an integrated part of enterprise product development data and processes. The author analyzed the current data model and business processes of an aerospace enterprise and proposed a new model, based on extensive use of PLM technology and top-down design approach. Spacecraft is a very specific product from a point of view of top-down approach and geometrical parameterization. The author considers the product 3D modeling process to be a part of product structure management. There are three phases of 3D model development. Wireframe 3D Functional scheme, linked with a spacecraft functional or logical scheme describes basic spacecraft layout and dimensions. Project digital mockup precise the spacecraft primary layout decisions at project development phase. Design digital mockup parametrically linked with a project mockup allows to produce technical drawings and a product structure. Successful application of a top down technique demands a support of system libraries, some of those containing intellectual 3D models. Knowledgeware is one of the keystone technologies incorporated*

into top-down design process. Implementation of top-down approach may demand an enterprise business process reengineering. A project-oriented business model or a quality gate methodology may be a solution for this problem.

Keywords: CAD, PLM, business processes, top-down design, spacecraft, design, development.

**Введение.** Конкуренция среди разработчиков космических аппаратов (КА) накладывает все возрастающие требования к срокам разработки изделий. Одним из эффективных способов сокращения длительности этапов жизненного цикла изделия является внедрение методик параллельной разработки изделия с использованием современных САПР. Такие методики позволяют организовать параллельную работу коллектива разработчиков в трехмерной виртуальной среде, эффективное управление изменениями и повторным использованием данных.

На сегодняшний день на большинстве предприятий аэрокосмического комплекса проекты разработки КА выполняются в разрозненных САПР, без использования сквозных бизнес-процессов, ориентированных на реализацию преимуществ единого информационного пространства (ЕИП).

Соответственно, разработка и использование методики параллельного нисходящего проектирования космических аппаратов становится одной из наиболее актуальных задач развития служб конструкторско-технологической подготовки предприятия.

Цель данного исследования состоит в системном обосновании и разработке методики параллельного нисходящего проектирования космического аппарата.

В исследовании решаются следующие задачи:

- идентификация места методики нисходящего проектирования в модели данных и бизнес-процессов аэрокосмического предприятия;
- характеристика особенностей КА как объекта разработки;

- описание требований к методике;
- описание методики создания функциональной схемы КА;
- описание особенностей разработки проектного электронного макета изделия (ЭМИ);
- описание разработки конструкторского ЭМИ;
- разработка предложений по организации работ при реализации методики.

**Место методики нисходящего проектирования в модели данных и бизнес-процессов аэрокосмического предприятия.** Бизнес-процессы разработки КА являются частью бизнес-процессов предприятия и не могут быть рассмотрены в отрыве от других процессов, таких как процесс управления проектами, процесс технологической подготовки производства и др. Исходными данными для процесса проектирования являются требования к КА, сформулированные в виде технического задания. Процесс управления требованиями является частью процесса управления конфигурацией изделия и также может быть автоматизирован. Выходными документами процесса проектирования и входными для процесса конструирования являются теоретический чертеж КА, лимитная сводка масс, лимитная сводка энергопотребления, схема прохождения, схема деления изделия на составные части и пояснительная записка к проекту. Выходными данными процесса конструирования является комплект КД и конструкторских спецификаций на изделие.

На рис. 1 укрупненно представлена типичная модель бизнес-процесса разработки КА.

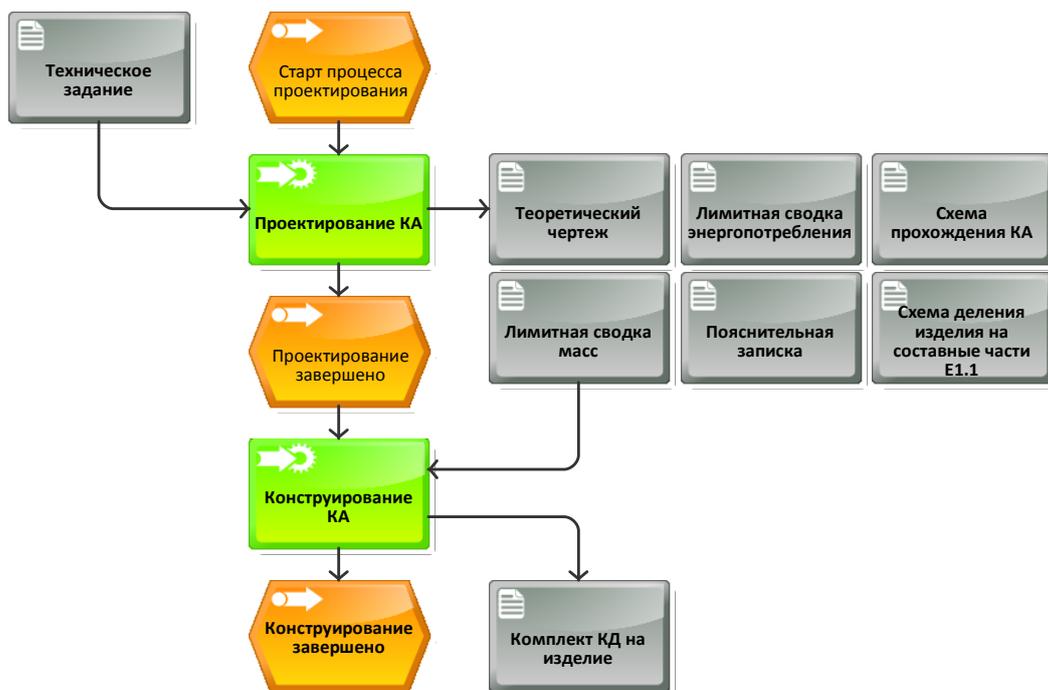


Рис. 1. Типичная модель бизнес-процесса разработки КА в нотации ARIS

Рассмотрим входы и выходы перечисленных процессов с точки зрения методологии PLM. Техническое задание в виде документа может быть заменено древовидной структурой требований в PLM-системе. [1]. Данный подход позволит обеспечить отслеживаемость требований для процессов сертификации изделия. Комплект конструкторской документации может существовать как в виде комплекта бумажных документов, так и в виде комплекта аннотированных 3D-моделей, полученных с использованием конструкторского ЭМИ и электронной структуры изделия (ЭСИ).

Схема деления изделия на составные части является по своей сути ЭСИ верхнего уровня. Лимитные сводки масс и энергопотребления – формы хранимого отчета по функциональной структуре изделия [2; 3] отчета. Схема прохождения является представлением технологического процесса сборки верхнего уровня, который можно сформировать на основе проектного ЭМИ в системе технологической подготовки производства класса DELMIA [4]. Наконец, теоретический чертеж – форма представления проектного ЭМИ. Необходимо отметить, что наибольшее ускорение процессов разработки, как и любых других, получается при полном отказе от бумажных документов и работе пользователей с 3D-моделями и метаданными. Однако несовершенство отечественного законодательства и консервативность ряда служб предприятия и заказчика могут препятствовать полному переходу к безбумажным процессам разработки [5]. В этой связи целью начального этапа внедрения PLM-системы может быть не полный отказ от бумажных документов, а их исключение из процессов обмена информацией между пользователями системы. Бумажный документ в качестве итогового отчета может формироваться автоматически и не замедляет существенно процессы разработки.

Таким образом, исходными данными для процесса проектирования будет являться иерархическая структура требований, а выходными – проектный ЭМИ, ЭСИ верхнего уровня и схема прохождения в виде техпроцесса DELMIA. Выходными данными процесса конструирования будут являться полный ЭМИ и полная ЭСИ.

Общепринятым подходом для формирования архитектуры систем и подсистем является методология системного инжиниринга. Для организации данных и процессов в PLM-системе предприятия в соответствии с данной методологией применяется модель данных RFLP (Requirement-Functional-Logical-Physical) [6], созданная с использованием принципов системной инженерии [7]. Современные системы управления жизненным циклом изделия, в частности платформа 3D-experience компании Dassault Systèmes, позволяют объединить структуру данных RFLP и элементы проектного ЭМИ в рамках единой модели. Такая модель может служить единой информационной средой разработки изделия для инженеров-системотехников и инженеров-механиков. Также появляется возможность подключения модели к встроенной или внешней системе оптимизации. Модель, объединяющая функциональную и физическую структуру изделия, называется функциональным цифровым макетом (FDMU) [8].

Предложенная автором модель данных и процессов PLM-системы показана на рис. 2.

**Особенности КА как объекта разработки, требования к методике.** Рассмотрим подробнее вопрос о структуре моделей, параметрических связей и процессов ЭМИ космического аппарата. Общие принципы построения параметрических моделей при нисходящем проектировании рассмотрены в статье [9].

С точки зрения моделирования в САПР в большинстве случаев компоновка изделия может быть сведена к плоскому эскизу или к их набору. Однако в силу высокой плотности компоновки космический аппарат не может быть представлен таким образом, и для выполнения компоновки необходимо оперировать трехмерными моделями приборов и механизмов.

Космические аппараты, даже относящиеся к одной платформе, отличаются большим разнообразием компоновок. Это затрудняет формализацию и повторное использование данных ЭМИ.

Система электрических соединений занимает существенный объем на изделии, и ее также желательно моделировать на этапе компоновки изделия.

Космический аппарат функционирует в двух состояниях: выведение и работа на орбите, что требует создания двух вариантов ЭМИ.

С учетом перечисленных требований и возможностей САПР CATIA V5/V6 предлагается трехступенчатая схема разработки ЭМИ: «функциональная схема – проектный ЭМИ – конструкторский ЭМИ».

**Методика создания функциональной схемы КА.** Функциональная схема изделия (ФСИ) – это набор геометрических элементов, моделирующих основные компоненты изделия. ФСИ предназначена для отработки базовых компоновочных решений КА. С точки зрения САПР ФСИ представляет собой деталь. При создании ФСИ целесообразно применение линейных и поверхностных геометрических элементов и нецелесообразно применение твердотельной геометрии. ФСИ полностью параметризована, причем параметрическая цепочка ФСИ должна начинаться от рабочих органов изделия. Для КА основными элементами функциональной схемы могут быть антенны с зонами обзора и другие компоненты КА, для функционирования которых критично пространственное положение и углы обзора. ФСИ также должна включать поверхность, описывающую максимальные габариты изделия (пространство под головным обтекателем). При создании ФСИ целесообразно широкое применение технологии Knowledge Based Engineering [10; 11].

Исходными данными для разработки ФСИ является функциональная структура КА.

Первым шагом разработки геометрической модели является создание главного скелетона КА. Главный скелетон содержит основные оси и габаритные размеры КА.

Каждому функциональному элементу КА может быть сопоставлен специальный объект CATIA типа User Defined Feature, представляющий собой набор геометрических элементов, связанных между собой параметрическими связями, а также набор правил и проверок CATIA Knowledge Advisor, определяющих внутреннюю логику поведения функционального элемента. Условимся называть такой объект интеллектуальным функциональным элементом (ИФЭ).

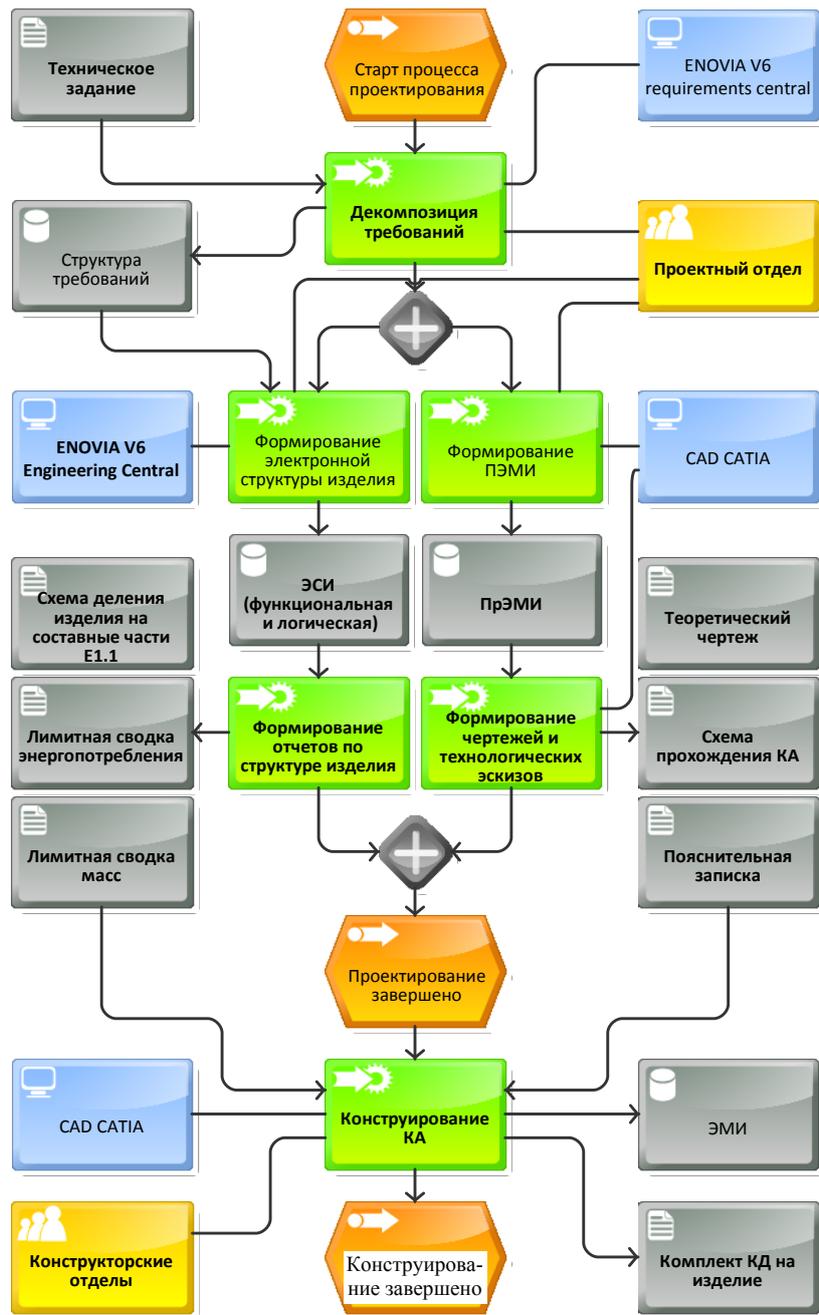


Рис. 2. Предложенная автором модель бизнес-процесса разработки КА в нотации ARIS

Геометрически ИФЭ привязываются к скелетону и друг к другу. Взаимодействие функциональных элементов между собой и с главным скелетоном КА задается геометрической параметризацией, а также правилами и проверками САТІА Knowledge Advisor или Knowledge Expert.

Как главный скелетон КА, так и шаблоны ИФЭ могут быть типизованы и занесены в библиотеку. Таким образом, создание ФСИ сводится к выбору из библиотеки или созданию главного скелетона КА и вставке из библиотек или созданию ИФЭ для функциональных элементов (рис. 3, 4).

В предложенной схеме ФСИ позволяет разработчикам за короткое время проработать большое количество вариантов компоновки КА.

**Разработка проектного ЭМИ.** Разработка ЭМИ регламентируется стандартом [12]. Проектный ЭМИ (ПрЭМИ) разрабатывается на втором этапе компоновки КА на основе ФСИ. В отличие от ФСИ ПрЭМИ содержит элементы твердотельной геометрии. Эти элементы могут как вставляться из библиотек, так и создаваться вручную.

С точки зрения САПР ПрЭМИ является сборкой, включающей в себя ФСИ и набор деталей, описывающих твердотельные элементы КА. При этом новые детали создаются в контексте сборки, с привязкой к ФСИ, а заимствованные и библиотечные – позиционируются в сборке геометрическими ограничениями по отношению к ФСИ. Структура ФСИ одноуровневая. Все элементы ПрЭМИ, за исключением заимствованных,

разрабатываются в общей системе координат КА. ФСИ и ПрЭМИ разрабатываются, как правило, одним сотрудником. На рис. 4 показан проектный ЭМИ для малого КА.

ПрЭМИ является трехмерным аналогом теоретического чертежа КА. Также на основе ПрЭМИ разрабатывается схема прохождения и схема деления КА на составные части. Необходимо отметить, что провести грань между процессами разработки ФСИ и ПрЭМИ достаточно сложно, поскольку не все компоновочные решения могут приниматься только на основе ФСИ.

Таким образом, в терминах исследования [9] ПрЭМИ выполняет функции сборки скелетона и обеспечивает

передачу изменений от ФСИ к КЭМИ и распараллеливание работ.

**Разработка конструкторского ЭМИ.** Основное назначение конструкторского ЭМИ (КЭМИ) – разработка конструкции и получение чертежей. Структура КЭМИ соответствует структуре «Схемы деления КА на составные части». Каждый элемент структуры КЭМИ (конструкторская сборка (КС)) может разрабатываться отдельным конструктором параллельно. Исходными данными для каждой конструкторской сборки является соответствующая деталь ПрЭМИ. В КС деталь ПрЭМИ выполняет функцию скелетона, и все детали и сборочные единицы КС создаются с привязкой к ней, в контексте сборки КС, что наглядно представлено на рис. 5.

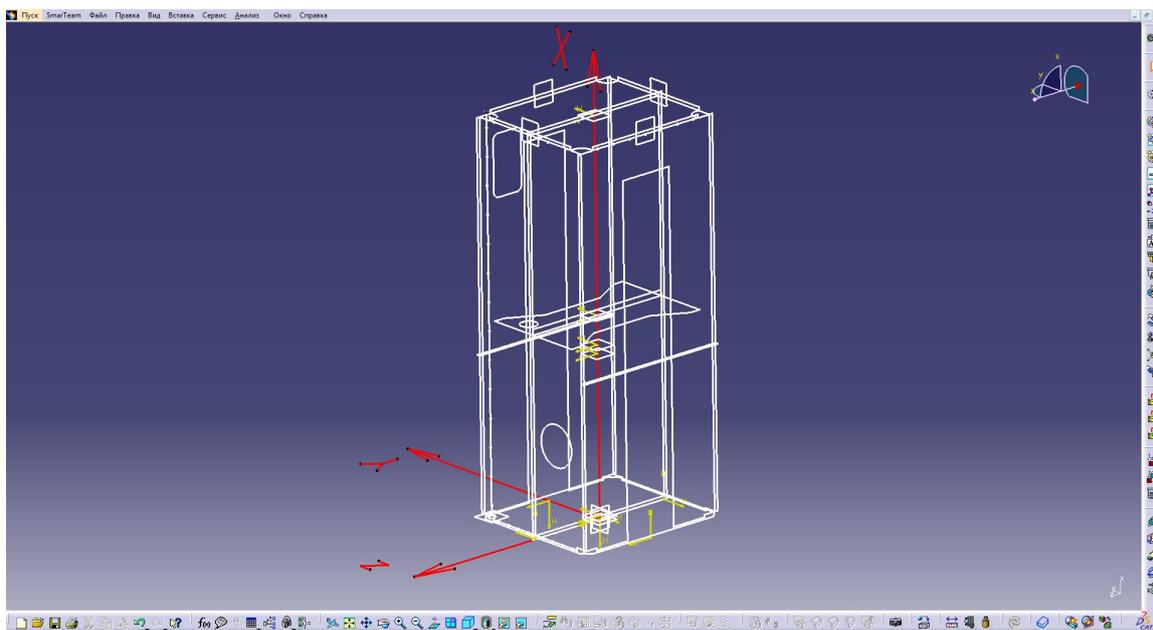


Рис. 3. Пример ФСИ для малого КА



Рис. 4. Пример ПрЭМИ для малого КА

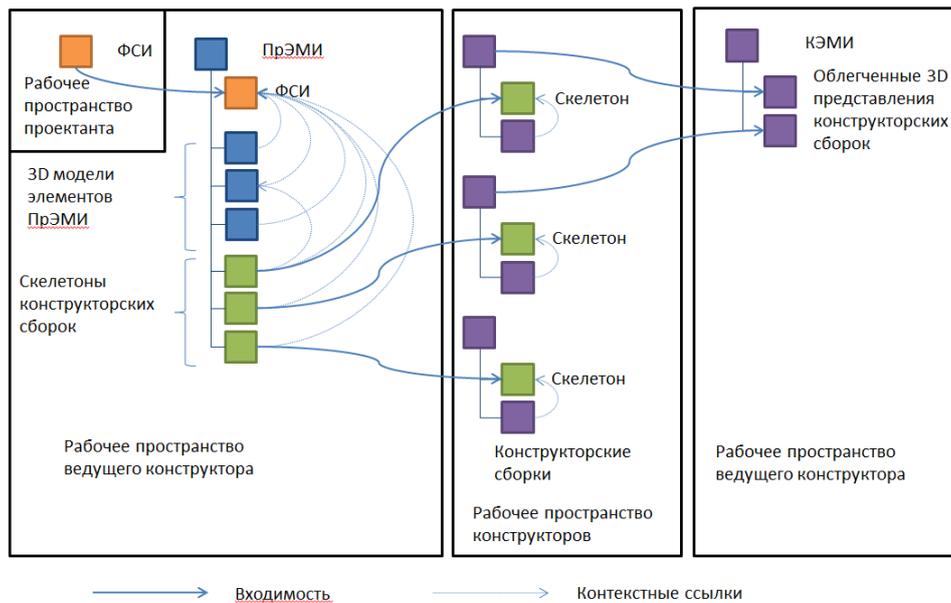


Рис. 5. Схема сквозной параметризации ФСИ–ПрЭМИ–КЭМИ

Структура КЭМИ по возможности максимально соответствует структуре изделия.

**Этапы разработки ЭМИ. Предложения по организации работ при реализации методики.** Предложенная модель данных и процессов обладает целым рядом преимуществ, однако ее использование в рамках традиционной, функциональной, структуры предприятия актуализирует некоторые противоречия.

Поскольку методика обеспечивает полную нисходящую параметризацию по цепочке ФСИ–ПрЭМИ–КЭМИ, возникают вопросы о регламентации внесения изменений в данные объекты. Технически, современные САПР позволяют заблокировать передачу изменений по параметрическим связям на определенных этапах жизненного цикла. Однако практика показывает, что необходимость в проведении изменений по всей цепочке может возникать на любом из этапов.

Традиционно ФСИ и ПрЭМИ разрабатываются в проектном подразделении, а КЭМИ – в конструкторском. Поскольку ПрЭМИ и КЭМИ могут разрабатываться параллельно, при отсутствии четких критериев перехода от фазы проектирования к фазе конструирования возможен конфликт интересов между данными функциональными подразделениями.

Наилучшим решением возникших противоречий был бы переход к проектной структуре организации работ либо к структуре типа «легкая матрица» [13]. Однако на практике это не всегда возможно.

Другим решением может стать переход к управлению разработкой по принципу «ворот качества» [14; 15] со стандартизованными требованиями к прохождению «ворот».

**Заключение.** Таким образом, основными преимуществами предложенной методики параллельного нисходящего проектирования КА модели данных и процессов являются:

- сквозная параметризация моделей и чертежей;
- возможность групповой работы конструкторов в среде электронного макета изделия;

- возможность широкого повторного использования данных;
- возможность перекрытия стадий жизненного цикла изделия.

Для практического внедрения данной модели может потребоваться дифференцированный по глубине реинжиниринг бизнес-процессов предприятия.

#### Библиографические ссылки

1. Лихачев М. В. Методика управления требованиями как часть управления структурой изделия // Решетневские чтения : материалы XVI Междунар. науч. конф. (7–9 нояб. 2012, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012. С. 76–77.
2. Лихачев М. В. Управление структурой изделия в PLM-системах // Решетневские чтения : материалы XVIII Междунар. науч. конф. (11–14 нояб. 2014, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. С. 262–264.
3. ГОСТ 2.053–2006. ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения. [Электронный ресурс]. URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-2.053-2006> (дата обращения: 19.09.2014).
4. Голдовский А., Голдовский П., Федотов О. Система DELMIA как решение для моделирования производственной деятельности [Электронный ресурс] // CAD/CAM/CAE Observer. 2005. № 1(19). URL: [http://www.cadcamcae.lv/hot/delmia\\_n19\\_p13.htm](http://www.cadcamcae.lv/hot/delmia_n19_p13.htm) (дата обращения: 07.10.2014).
5. Пичев С. В., Судов Е. В. От бумажных конструкторских документов – к электронным. А дальше? [Электронный ресурс] // Технологии PLM и ИПП. Вып. 3. URL: [http://cals.ru/sites/default/files/downloads/emagazine/emag\\_3\\_sudov\\_pitchev.pdf](http://cals.ru/sites/default/files/downloads/emagazine/emag_3_sudov_pitchev.pdf) (дата обращения: 18.08.2014).
6. Крысенков Д. В. RFLP – современный подход к проектированию высокотехнологичных продуктов [Электронный ресурс] // CAD/CAM/CAE Observer.

2010. № 5 (57). URL: [http://www.cadcamcae.lv/hot/DS\\_RFLP\\_n57\\_p29.pdf](http://www.cadcamcae.lv/hot/DS_RFLP_n57_p29.pdf) (дата обращения: 07.10.2014).

7. Холл А. Опыт методологии для системотехники. М. : Советское радио, 1975. 449 с.

8. Лихачев М. В., Шангина Е. А. Применение технологии функционального цифрового макета изделия на этапе предконтрактного проектирования космического аппарата // Решетневские чтения : материалы XVII Междунар. науч. конф. (12–14 нояб. 2013, г. Красноярск) : в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013. С. 24–26.

9. Лихачев М. В. Некоторые вопросы технологии трехмерного нисходящего проектирования сложных изделий машиностроения // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2013. № 2 (150). С. 22–27.

10. Ушаков Д. Интеллектуализация программных решений в области PLM: стратегия компании «Ледас» // Preprint. 2004. 12. Новосибирск : Ledas LTD. 36 с.

11. Голдовский П., Бубнов А. Knowledgeware: как задействовать самые ценные корпоративные архивы [Электронный ресурс] // САПР и графика. 2001. № 4. URL: [http://www.hetnet.ru/wcmfiles/article\\_101.pdf](http://www.hetnet.ru/wcmfiles/article_101.pdf) (дата обращения: 07.10.2014).

12. ГОСТ 2.052–2006. ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения [Электронный ресурс]. URL: <http://vsegost.com/Catalog/78/784.shtml> (дата обращения: 19.09.2014).

13. Зильбербург Л. И., Молочник В. И., Яблочников Е. И. Информационные технологии в проектировании и производстве. СПб. : Политехника, 2008. 304 с.

14. Лихачев М. В., Шангина Е. А. Применение технологии управления проектами в системах управления жизненным циклом изделий // Решетневские чтения : материалы XVI Междунар. науч. конф. (7–9 нояб. 2012, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012. С. 793–794.

15. Зильбербург Л. И., Яблочников Е. И., Молочник В. И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. СПб. : Политехника, 2004. 150 с.

## References

1. Likhachev M. V. [Requirement Management Technique as a part of product structure management]. *Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Reshetnevskie chteniya"* [Mat. XVIth Int. Scientific Conf. "Reshetnev readings"], Krasnoyarsk, 2012, P. 76–77 (In Russ.).

2. Likhachev M. V. [Product structure management in PLM Systems]. *Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Reshetnevskie chteniya"* [Mat. XVIIIth Int. Scientific Conf. "Reshetnev readings"], Krasnoyarsk, 2014, P. 262–264 (In Russ.).

3. GOST 2.053–2006. ESKD. *Elektronnaya struktura izdeliya. Obshchie polozheniya*. [State Standard 2.053–2006. Unified system for design documentation. Product electronic structure. General.] Available at: <http://gostexpert.ru/gost/gost-2.053-2006> (accessed 19.09.2014).

4. Goldovskiy A., Goldovskiy P., Fedotov O. [DELMIA system – solution for manufacturing modeling]. *CAD/CAM/CAE Observer*, 2005, No. 1 (19). Available at: [http://www.cadcamcae.lv/hot/delmia\\_n19\\_p13.htm](http://www.cadcamcae.lv/hot/delmia_n19_p13.htm) (accessed 07.10.2014).

5. Pichev S. V., Sudov E. V. [From paper engineering documents to electronic and beyond]. *Tekhnologii PLM i ILP*. Vol. 3. (In Russ.). Available at: [http://cals.ru/sites/default/files/downloads/emagazine/ema\\_g\\_3\\_sudov\\_pichev.pdf](http://cals.ru/sites/default/files/downloads/emagazine/ema_g_3_sudov_pichev.pdf) (accessed 18.08.2014).

6. Krysenkov D. V. [RFLP – modern approach to hi-tech product development]. *CAD/CAM/CAE Observer*, 2010, No. 5 (57). Available at: [http://www.cadcamcae.lv/hot/DS\\_RFLP\\_n57\\_p29.pdf](http://www.cadcamcae.lv/hot/DS_RFLP_n57_p29.pdf) (accessed 07.10.2014).

7. Holl A. *Opyt metodologii dlya sistemotekhniki* [A methodology for systems engineering]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1975, 449 p.

8. Likhachev M. V., Shangina E. A. [Functional digital mockup technology application for spacecraft precontractual development]. *Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Reshetnevskie chteniya"* [Mat. XVIIth Int. Scientific Conf. "Reshetnev readings"], Krasnoyarsk, 2013, Part 2, P. 24–26 (In Russ.).

9. Likhachev M. V. [Some issues of top-down 3D-CAD design approach for complex mechanical products]. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovani i proizvodstve*. 2013, Vol. 150, No. 2, P. 22–27 (In Russ.).

10. Ushakov D. *Intellektualizatsiya programmnykh resheniy v oblasti PLM: Strategiya kompanii Ledas. Novosibirsk* [Adding intelligence to software solutions for PLM: New LEDAS approach]. Novosibirsk, Preprint 12 Publ., 2004, 36 p.

11. Goldovskiy P., Bubnov A. [Knowledgeware: How to set in motion the enterprise knowledge]. *SAPR i grafika*, 2001, No. 4. Available at: [http://www.hetnet.ru/wcmfiles/article\\_101.pdf](http://www.hetnet.ru/wcmfiles/article_101.pdf) (accessed 07.10.2014).

12. GOST 2.052–2006. ESKD. *Elektronnaya model' izdeliya. Obshchie polozheniya*. [State Standard 2.052–2006. Unified system for design documentation. Electronic model of product. General principles.] Available at: <http://vsegost.com/Catalog/78/784.shtml> (accessed 19.09.2014).

13. Zilberburg L. I., Molochnik V. I., Yablochnikov E. I. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovani i proizvodstve*. [Information technologies of product development and production]. St.Petersburg, Politekhnik Publ., 2008, 304 p.

14. Lihachev M. V., Shangina E. A. [Project management methodology implementation in product data management systems]. *Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Reshetnevskie chteniya"* [Mat. XVIth Int. Scientific Conf. "Reshetnev readings"], Krasnoyarsk, 2012, P. 793–794 (In Russ.).

15. Zilberburg L. I., Molochnik V. I., Yablochnikov E. I. *Reinzhiniring i avtomatizatsiya tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva v mashinostroenii* [Product development automatization and reengineering]. St.Petersburg, Politekhnik Publ., 2004, 150 p.