

УДК 002.53; 002.53:004.65; 002.53:004.62/.63

Э. С. Аметова, А. А. Вичугова, В. Н. Вичугов, Ю. А. Суханова, С. Г. Цапко

**ПРОЕКТ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА  
ДЛЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ОАО «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ»  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М. Ф. РЕШЕТНЕВА»\***

*Рассмотрено понятие единого информационного пространства и приведены этапы его построения для процессов создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева».*

*Ключевые слова: бизнес-процессы, интеграция информационных систем.*

В Федеральной космической программе на 2006–2015 гг. (ФКП-2015) в качестве основного направления развития космической техники рассматривается широкое использование информационных и компьютерных технологий [1]. В рамках ФКП-2015 в 2010 г. между Томским политехническим университетом (ТПУ) и ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (ОАО «ИСС») был заключен договор на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по разработке и внедрению методов, моделей и алгоритмов организации единого информационного пространства (ЕИП) создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) космического аппарата (КА).

**Единое информационное пространство.** Единое информационное пространство – это программно-аппаратная интегрированная среда, объединяющая все информационные ресурсы организации: неструктурированную информацию и формализованные статические, а также динамически изменяемые данные о текущих процессах, ресурсах, продуктах и контрагентах предприятия [2]. Таким образом, ЕИП обеспечивает комплексное, всестороннее информационное сопровождение продукции на каждом этапе ее жизненного цикла (ЖЦ), от разработки концепции до утилизации, через стадии маркетинговых исследований, проектирования, изготовления, реализации и эксплуатационной поддержки. Каждый этап ЖЦ продукции сопровождается соответствующей документацией.

Технически ЕИП реализуется посредством специальных информационных средств управления данными о продукции – PDM-систем (от англ. Product Data Management), поддерживающих интеграцию с другими информационными системами (ИС), которые обеспечивают поддержку ЖЦ продукции, например

ERP, SCADA, CAD/CAM/CAE-системами, системами автоматизированного проектирования (САПР) и т. д. (рис. 1).

Для технической реализации задач взаимного сопряжения программных компонентов ЕИП необходимо наличие соответствующей телекоммуникационной среды, обеспечивающей непрерывный обмен данными.

Кроме того, все ИС в составе ЕИП должны поддерживать универсальные форматы представления информации (например, такие как STEP, MANDATE, PLIB) и технологии расширения их стандартного функционала (API, внутренние среды разработки и т. д.).

**Особенности ЕИП для процессов проектирования БРЭА КА.** Проектирование и производство высокотехнологичной продукции, к которой, в частности, относится БРЭА КА, связано с использованием большого количества информации в виде проектных данных, электронных моделей изделия и конструкторской документации, с которой работает множество специалистов различного профиля, что неизбежно приводит к возрастанию временных затрат в случае отсутствия четко регламентированных процедур информационного обмена и оперативного поиска необходимых данных.

В настоящее время для решения этих задач применяются технологии информационной поддержки ЖЦ изделий, в том числе PDM-системы и САПР, объединенные в единый программно-аппаратный комплекс ЕИП.

Непосредственно сама идея организации ЕИП исследуется на протяжении практически 10 лет российскими и зарубежными учеными, однако авторами статьи до сих пор не обнаружено универсальных методик построения ЕИП применительно к особенностям космического приборостроения.

\*Работа выполнена в рамках реализации Постановления № 218 Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» и договора № 13.G25.31.0017 от 7 сентября 2010 г. между ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» и Министерством образования и науки РФ.

Разработка	Маркетинговые исследования	CRM Customer Relationship Management System - система управления взаимодействием с клиентами		
	Проектирование	CAD Computer Aided Design-система автоматизированного проектирования		
		CAE Computer Aided Engineering - автоматизированный инженерный анализ		
	Подготовка к производству	CAM Computer Aided Manufacturing - система автоматизированного производства		
		SCM Supply Chain Management - система управления цепочками поставок		
	Производство	CNC Computer Numerical Control - компьютерное числовое программное управление	SCADA Supervisory Control and Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных	MES Manufacturing Execution Systems - производственная исполнительная система
	Реализация (сбыт)	ERP Enterprise Resource Planning - система планирования и управления ресурсами предприятия		
	Эксплуатация	IETM Interactive Electronic Technical Manuals - интерактивные электронные технические руководства		
Утилизация				

Рис. 1. Процессы ЖЦ продукции и поддерживающие их виды информационных систем

Среди этих особенностей можно выделить следующие:

- проектирование БРЭА включает в себя, как минимум, два взаимосвязанных аспекта: электрическое проектирование, которое обеспечивает выполнение определенных функций в условиях воздействия различных факторов, и механическое проектирование, цель которого состоит в размещении определенных радиоэлектронных средств согласно требованиям к массогабаритным характеристикам прибора. Это обуславливает высокий уровень сопряжения различных САПР в рамках ЕИП;

- в связи с тем что ракетно-космическая техника относится к сфере оборонной промышленности, комплектующие для проектирования БРЭА КА должны входить в перечень средств, разрешенных к применению специальным регламентирующим документом Министерства обороны. Это ограничение вызывает необходимость интеграции САПР с ИС управления ресурсами, в которых хранится и обрабатывается информация маркетингового характера о комплектующих;

- функциональная сложность БРЭА КА определяет длительность и итеративность процессов проектирования и испытаний, при этом в рамках разработки одного изделия ведется параллельное проектирование нескольких его версий со всей сопутствующей документацией. Необходимо отслеживать все множественные связи между сущностями, задействованными в этой деятельности.

Таким образом, задачи построения ЕИП и настройки его программных компонентов примерительно к специфике приборного производства имеют высокую практическую значимость.

**Этапы построения ЕИП.** Сложный состав и масштаб ЕИП обуславливают трудности его создания и внедрения, поскольку оно охватывает всю структуру предприятия: от производства до управления. Построение ЕИП является длительным и дорогостоящим процессом, однако в дальнейшем оно позволит сократить расходы на производство наукоемкой продукции, повысить эффективность работы предприятия и вывести его на современный уровень функционирования.

На основе изучения мирового и российского опыта использования новых информационных технологий в приборостроительной промышленности [2] авторами был разработан алгоритм построения ЕИП в рамках отделения проектирования и испытаний БРЭА в ОАО «ИСС» (табл. 1, рис. 2).

За период реализации проекта построения ЕИП для процессов создания БРЭА КА (с октября 2010 г. по настоящее время) завершены этапы 1–3. В ноябре 2011 г. выполнена тестовая эксплуатация прототипа ЕИП на примере пилотного проекта по проектированию прибора в отделении проектирования и испытаний БРЭА ОАО «ИСС». По итогам тестовой эксплуатации будет составлен протокол испытаний и выполнена доработка прототипа ЕИП. Запуск предлагаемых методов, моделей и алгоритмов в промышленную эксплуатацию планируется на декабрь 2012 г.

Этапы построения ЕИП создания БРЭА КА в ОАО «ИСС»

№ этапа	Название	Результат
1	Описание процессов создания БРЭА КА на основе анкетирования сотрудников и анализа нормативной документации	Модели бизнес-процессов создания БРЭА КА «как есть». Информационные потоки и перечень документов, циркулирующих между бизнес-процессами. Перечень структурных подразделений – участников процессов создания БРЭА КА и характер их взаимодействия
2	Анализ программно-аппаратной среды процессов создания БРЭА КА в ОАО «ИСС»	Перечень программных средств, используемых в процессах создания БРЭА. Описание и анализ компьютеров и коммутационного оборудования структурных подразделений – участников процессов создания БРЭА КА. Анализ PLM-решений, используемых на российских и зарубежных предприятиях, обоснование выбора PDM-системы
3	Разработка типовых моделей процессов создания БРЭА КА «как должно быть»	Рекомендации по оптимизации процессов и структуры отделения проектирования и испытаний БРЭА. Модели бизнес-процессов проектирования и испытаний БРЭА КА «как должно быть». Перечень информационных систем, рекомендуемых к использованию в рамках ЕИП для процессов создания БРЭА КА
4	Разработка прототипа ЕИП для проектирования БРЭА на базе информационных систем, рекомендуемых к использованию	Модель данных PDM-системы (классы, их методы и атрибуты). Диаграммы потоков работ для автоматизации деятельности по созданию БРЭА КА. Экранные формы пользовательских интерфейсов PDM-системы. Настройка PDM-системы под специфику приборостроительной отрасли на программном уровне (разработка скриптов). Методы, модели и алгоритмы интеграции программных компонентов ЕИП: PDM-системы и САПР для процессов создания БРЭА КА. Документирование разработанного прототипа ЕИП в виде руководств и пользовательских инструкций
5	Отработка и испытание прототипа ЕИП	Обучение пользователей правилам работы в ЕИП согласно разработанным методикам, моделям и алгоритмам. Тестирование, отладка и внедрение разработанного прототипа ЕИП в отделении проектирования и испытаний БРЭА ОАО «ИСС» в соответствии с ГОСТ 34.601–90 «Автоматизированные системы. Стадии создания»

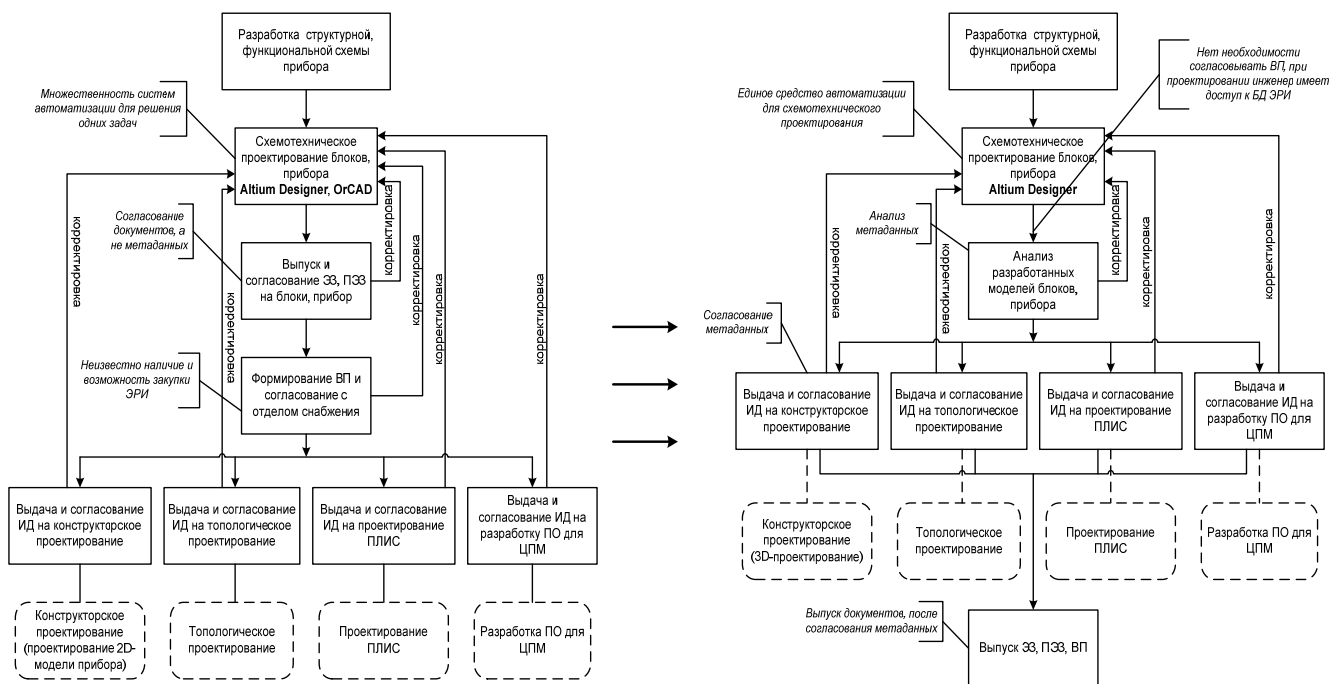


Рис. 2. Схематехническое проектирование БРЭА КА согласно разработанным моделям «как есть» и «как должно быть»

**Структура информационных сущностей при проектировании БРЭА КА.** С точки зрения проектирования БРЭА КА, проектирование изделия включает в себя описание в различных САПР электронной структуры, а также электронной и информационной моделей изделия.

Электронная структура изделия (ЭСИ) – это конструкторский документ, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и иерархические отношения (связи) между его составными частями и другие данные в зависимости от его назначения (ГОСТ 34.601–90 «Автоматизированные системы. Стадии создания»).

Информационная модель изделия (ИМИ) – это совокупность данных и отношений между ними, описывающая различные свойства реального изделия, интересующие разработчика модели и потенциального или реального пользователя (ГОСТ 2.053–2006 «ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения»). В свою очередь электронная модель изделия (ЭМИ) – это электронный конструкторский документ, содержащий электронную геометрическую модель детали или сборочной единицы, соответствующие электронные геометрические модели составных частей, свойства, характеристики и другие данные, необходимые для сборки (изготовления) и контроля (ГОСТ 2.052–2006 «ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения»).

Таким образом, ЭМИ является частным случаем ИМИ, поскольку именно ИМИ отражает данные о проектируемой сущности с той или иной точки зрения, например ИМИ электрического или конструкторского проектирования, теплового моделирования и т. д. А в целом ЭСИ и ИМИ являются первичными документами для получения различных конструкторских документов (КД), входящих в основной и полный комплекты КД согласно ГОСТ 2.102–68 «ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов». Изменение этих информационных сущностей влечет изменение остальной КД. Этот факт должен являться базисом для разработки правил управления данными об изделии в рамках ЕИП.

**Программные компоненты ЕИП для проектирования БРЭА КА в ОАО «ИСС».** На основе анализа текущей деятельности отделения проектирования и испытаний БРЭА КА в ОАО «ИСС» был составлен перечень ИС, рекомендуемых к использованию в рамках ЕИП (табл. 2).

Перед авторами была поставлена задача программной интеграции САПР Altium Designer, которая используется в ОАО «ИСС» для электрического проектирования, с PDM-системой Enovia SmartTeam V5.

**Требования к интеграции САПР с PDM-системой в рамках ЕИП.** Начальным этапом формирования требований к сопряжению различных ИС в рамках ЕИП является выделение требований согласно специфике области внедрения.

Разработка БРЭА КА включает в себя как электрическое, так и механическое проектирование, которые выполняются с использованием различных САПР. Концепция ЕИП предполагает сопряжение разных САПР и системы управления данными для обеспечения целостности информации об изделии. Выделим следующие основные требования к интеграции информационных систем в рамках ЕИП:

- единое представление изделия, общее для нескольких ИС, т. е. при передаче данных из одной ИС в другую все характеристики изделия должны передаваться автоматически;

- адаптация единого представления изделия для каждой ИС, т. е. одно и то же изделие может быть построено на разных элементных базах в зависимости от специфики ИС;

- исключение дублирования данных;

- автоматическая синхронизация данных в различных ИС в рамках ЕИП;

- автоматическое формирование конструкторских документов;

- накопление данных и опыта, возможность использования данных предыдущих проектов.

В настоящее время под термином «информационная система» подразумевают базу данных (БД) и интерфейс работы с ней [3]. Согласно ГОСТ 34.321–96 «Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными» различают понятия схемы и базы данных: схема – это описания содержания, структуры и ограничения целостности, используемые для создания БД – набора постоянных данных, определенных с помощью этой схемы.

Основным отличием систем управления данными от систем электронного документооборота является их направленность на проектную специфику деятельности. На этом основана схема данных PDM-системы, которая определяет уникальные для конкретной области применения правила хранения информации в ИС [4]. Разработка изделия выполняется в рамках проекта, который является хранилищем всех связанных с изделием информационных сущностей (ЭСИ, ИМИ, КД).

В терминологии Enovia SmartTeam схема данных называется моделью данных и включает в себя такие понятия, как механизмы, классы и их атрибуты. Таким образом, модель данных Enovia SmartTeam является объектной моделью этой ИС, которая описывает структуру объектов, составляющих систему, их атрибуты, операции, взаимосвязи с другими объектами. Представление информационных сущностей в модели данных PDM-системы с точки зрения объектно-ориентированного подхода лежит в основе интеграции ИС в рамках ЕИП. Это означает, что разработанная в САПР информационная сущность (ИМИ, ЭСИ) должна без потерь экспортироваться в систему управления данными, что обеспечивается наличием в PDM соответствующих контейнеров (классов с необходимым набором атрибутов) (рис. 3, 4).

Предлагаемые варианты ИС для поддержки процессов создания БРЭА КА

ИС	Функция
Ansys	Расчет механической жесткости и прочности конструкции изделия
See Electrical или E3.Cable	Проектирование 3D-модели кабеля. Монтаж кабелей. Формирование КД на кабели
SolidWorks	Проектирование 3D-модели. Формирование КД на изделие
Altium Designer	Разработка ЭЗ, ПЭЗ. Разработка топологии ПП. Формирование файла *.grb, *.drl. Проведение специальных расчетов, анализов, моделирование. Формирование КД на изделие
PDM-система Enovia SmarTeam V5	Структурированное хранение данных об изделии (ЭСИ, ИМИ, КД), интеграция с вышеперечисленными САПР

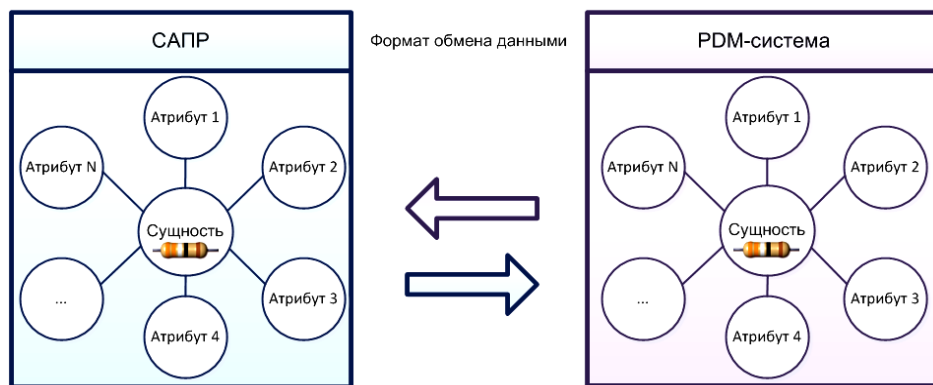


Рис. 3. Схема программной интеграции САПР и PDM-системы в рамках ЕИП

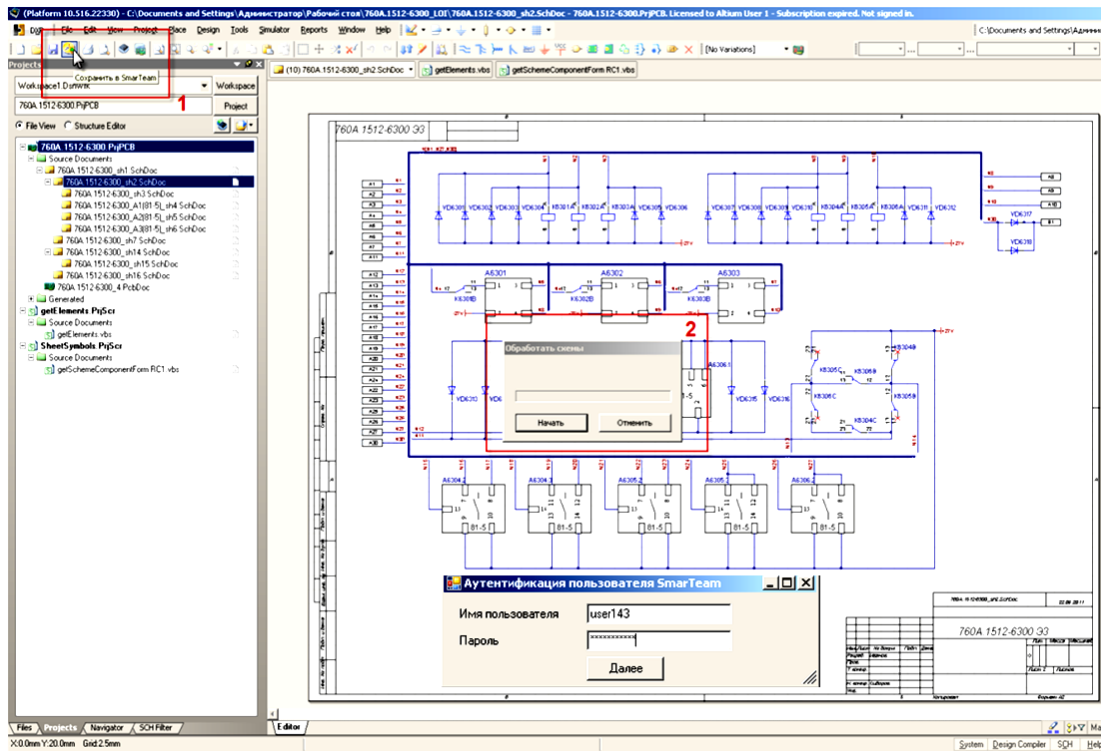


Рис. 4. Экспорт данных (ИМИ, ЭСИ) из САПР Altium Designer в PDM-систему Enovia SmarTeam

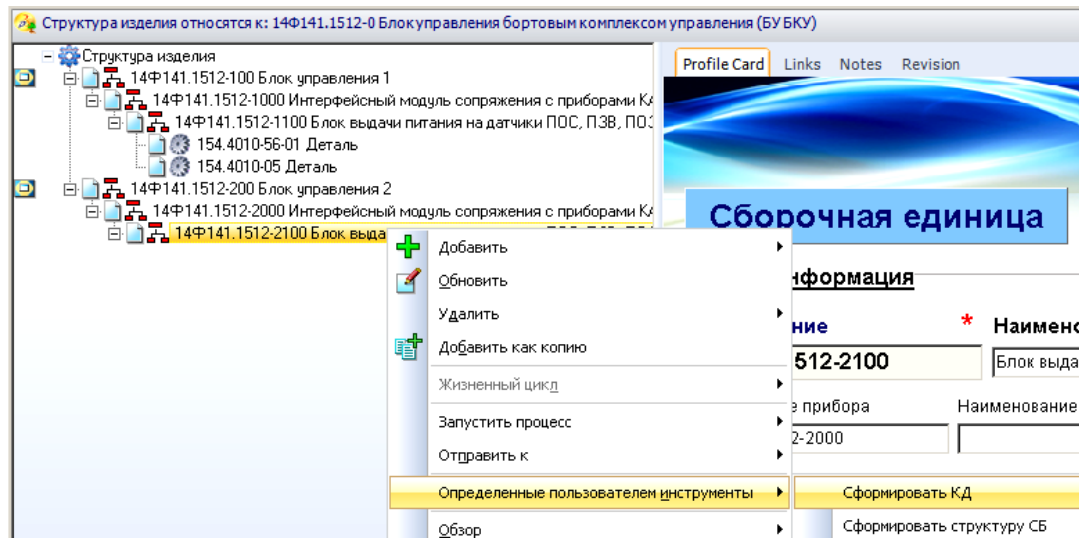


Рис. 5. Команды формирования КД и ЭСИ в PDM-системе Enovia SmarTeam на основе данных, экспортированных из САПР Altium Designer

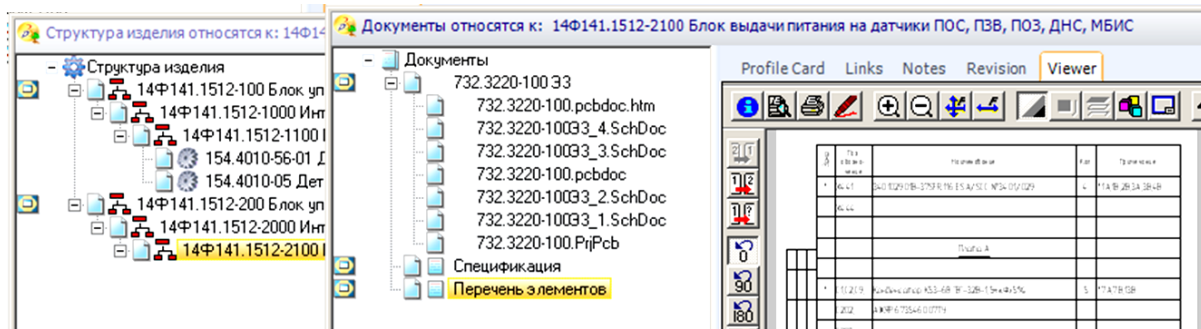


Рис. 6. Отображение во встроенном просмотрщике PDM-системы Enovia SmarTeam конструкторского документа «Перечень элементов», сформированного на основе данных, экспортированных из САПР Altium Designer

**Пример разработанной программной интеграции Altium Designer и Enovia SmarTeam.** На основе положений, сформулированных в рамках проведенных авторами исследований, была разработана программная система интеграции САПР Altium Designer и PDM Enovia SmarTeam, которая состоит из нескольких модулей и реализует следующие функции:

- чтение данных об электронном изделии из проекта Altium Designer, сохранение этих данных в файл в универсальном простом формате обмена данными JSON (рис. 4);
- проведение аутентификации пользователя, выбор пользователем проекта PDM-системы Enovia SmarTeam и сборочной единицы (рис. 4);
- создание в PDM-системе Enovia SmarTeam объектов классов «Проект Altium» и «Файл Altium» в соответствии с данными, полученными из проекта САПР Altium Designer;
- по запросу пользователя формирование конструкторского документа «Перечень элементов» в формате \*.pdf (рис. 5, 6) и структуры выбранной сборочной единицы на основе ИМИ и ЭСИ, разработанных в

САПР Altium Designer и экспортированных в PDM-систему Enovia SmarTeam.

Тестирование разработанного прототипа ЕИП проектирования БРЭА КА в ОАО «ИСС» доказало возможность настройки и интеграции различных ИС согласно моделям «как должно быть». Кроме того, результаты выполнения пилотного проекта позволяют выявить направления дальнейшей интеграции программных компонентов ЕИП, например получение различных конфигураций (исполнений) электронного устройства из САПР Altium Designer и их сохранение в файл в формате JSON, автоматический запуск САПР Altium Designer при выгрузке объекта «Проект Altium» из PDM-системы Enovia SmarTeam и т. д.

Однако проект создания ЕИП в отделении проектирования и испытаний БРЭА КА в ОАО «ИСС» не исчерпывается двусторонней интеграцией САПР и PDM. На дальнейших этапах выполнения ОКР необходимо решить задачи организации структурированного хранения различных справочных данных и правил доступа к ним, а также другие задачи, связанные с организацией ЕИП.

**Библиографические ссылки**

1. Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.federspace.ru/main.php?id=24>.  
 2. Ершова Т. Б. Организационные аспекты создания единого информационного пространства предприятия // Трансп. дело России. 2009. № 2. С. 62–65.

3. Информационные технологии : учеб. пособие / А. А. Вичугова, В. Н. Вичугов, Е. А. Дмитриева, Г. П. Цапко ; Том. политехн. ун-т. Томск, 2011.  
 4. Вичугова А. А., Вичугов В. Н., Дмитриева Е. А. Жизненный цикл документа в информационных системах управления данными // Вестн. науки Сибири. 2011. № 1. С. 328–334.

A. S. Ametova, A. A. Vichugova, V. N. Vichugov, Yu. A. Sukhanova, S. G. Tsapko

**PROJECT OF DEVELOPMENT OF UNITED INFORMATION SPACE FOR THE PROCESSES OF GENERATION OF ONBOARD ELECTRONIC EQUIPMENT OF SPACECRAFTS AT JSC «ISS» NAMED AFTER ACADEMICIAN M. F. RESHETNEV»**

*The authors consider a concept of united information space and describe the stages of its development for the processes of generation of onboard electronic equipment of a spacecraft at JSC «ISS» named after academician M. F. Reshetnev».*

*Keywords: business processes, integration of information systems.*

© Аметова Э. С., Вичугова А. А., Вичугов В. Н., Суханова Ю. А., Цапко С. Г., 2012

УДК 539.374

В. И. Бурмак

**ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДАЛГЕБР И ИНВАРИАНТНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

*Найдены оптимальные системы подалгебр размерности 1, 2 алгебры Ли, допускаемые уравнениями пластичности плоского напряженного состояния в случае медленных нестационарных течений.*

*Ключевые слова: пластичность, плоское напряженное состояние.*

Рассмотрим уравнения, описывающие плоское напряженное состояние в случае медленных нестационарных течений. Уравнения имеют вид

$$\frac{\partial}{\partial t} u = \left( \sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi - \cos \omega \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} + \sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \frac{\partial \omega}{\partial y} - 2 \sin \omega \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} v = \sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \frac{\partial \omega}{\partial x} - \left( \sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi + \cos \omega \right) \frac{\partial \omega}{\partial y} + 2 \sin \omega \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = k\lambda \left( \sqrt{3} \cos \omega + 3 \sin \omega \cos 2\varphi \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = k\lambda \left( \sqrt{3} \cos \omega - 3 \sin \omega \cos 2\varphi \right), \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 6k\lambda \sin \omega \sin 2\varphi. \quad (5)$$

Здесь  $\lambda$  – некоторая положительная функция;  $\varphi$  – угол между первым главным направлением тензора

напряжения и осью  $Ox$ ;  $\omega$  – угол, связанный со значением среднего давления  $\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2)$ ,  $\cos \omega = \frac{\sqrt{3}\sigma}{2k}$ ;  $k$  – постоянная пластичности;  $u, v$  – компоненты вектора скорости; все функции зависят от  $x, y, t$ .

Точечные симметрии системы (1)–(5) с использованием методики Ли [1] были найдены ранее [2].

Базис алгебры Ли  $L_9$ , порождающей группу непрерывных преобразований, которая допускается системой уравнений (1)–(5), имеет вид

$$\begin{aligned} X_1 &= -y\partial_x + x\partial_y - v\partial_u + u\partial_v + \partial_\varphi, \\ X_2 &= t\partial_t + x\partial_x + y\partial_y - \lambda\partial_\lambda, \\ X_3 &= t\partial_t + u\partial_u + v\partial_v + \lambda\partial_\lambda, \\ X_4 &= -y\partial_u + x\partial_v, \quad X_5 = \partial_y, \quad X_6 = \partial_x, \\ X_7 &= \partial_v, \quad X_8 = \partial_u, \quad X_9 = \partial_t. \end{aligned} \quad (6)$$

Таблица коммутаторов алгебры Ли  $L_9$  будет следующей (табл. 1).