

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

**РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ  
АППАРАТОВ**

Э.С. Аметова, А.А. Вичугова, Ю.А. Суханова,  
С.Г. Цапко

Томский политехнический университет  
E-mail: [serg@aics.ru](mailto:serg@aics.ru)

Рассмотрены основные подходы реализации единого информационного пространства предприятия, обеспечивающие экономию материальных и людских ресурсов, а также повышение качества изделий и сроков выпуска новой продукции. Предложен алгоритм реализации информационной среды приборостроительного предприятия. Рассмотрены вопросы реализации безбумажного электронного документооборота, предложены стадии жизненного цикла документа, разработана ролевая политика утверждения документов.

**Ключевые слова:**

Приборостроение, космический аппарат, информационная система, жизненный цикл.

**Введение**

В настоящее время проектирование и производство сложных изделий невозможно без информационных технологий и систем, а также современных методов управления. Для поиска новых точек зрения использования информационных технологий (ИТ) в наукоемком производстве, которым является создание бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) космических аппаратов (КА), следует также обратить внимание на практики применения ИТ в других отраслях промышленности. Информационные системы (ИС) категории САПР успешно используются для проекти-

рования новых изделий уже на протяжении нескольких десятков лет. Для проектирования БРЭА КА используются следующие категории ИС:

- EDA (от англ. Electronic Design Automation – автоматизация проектирования электронных приборов);
- CAD/CAE – общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач на этапе проектирования;
- CAM на этапе технологической подготовки к производству;
- ERP – система планирования ресурсов предприятия на этапе закупки комплектующих. Это программное обеспечение (ПО) позволяет определить наличие комплектующих для производства прибора и возможность их использования в соответствии с перечнем

**Аметова Эвелина Серверовна**, магистрант, программист научно-образовательного центра подготовки элитных специалистов по CALS-технологиям кафедры автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ.

E-mail: [zlatco@mail200.ru](mailto:zlatco@mail200.ru)

Область научных интересов: автоматизация жизненного цикла конструкторских документов.

**Вичугова Анна Александровна**, аспирант, ассистент кафедры автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ.

E-mail: [anya@aics.ru](mailto:anya@aics.ru)

Область научных интересов: консалтинг, программирование, информационные технологии в космической промышленности.

**Суханова Юлия Алексеевна**, аспирант, ассистент кафедры автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ.

E-mail: [syua@aics.ru](mailto:syua@aics.ru)

Область научных интересов: реинжиниринг бизнес-процессов, информационные технологии в космической промышленности.

**Цапко Сергей Геннадьевич**, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедры автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ.

E-mail: [serg@aics.ru](mailto:serg@aics.ru)

Область научных интересов: информационная поддержка жизненного цикла изделий и услуг.

электрорадиоизделий (ЭРИ), разрешенных к применению.

В настоящее время рынок ПО предлагает множество отечественных и зарубежных ИС специального отраслевого назначения, в том числе, для проектирования БРЭА КА. Следует отметить, что, в связи с увеличением сложности проектируемых изделий, к основному функционалу САПР добавляются возможности одновременной многопользовательской работы, проведения дополнительных проверок и анализов разрабатываемых моделей и т. п. Современные САПР включают в себя развитые средства накопления и использования знаний, проектирования в контексте, параллельного проектирования, разделения по стадиям, подсистемам и ролям и т. д. Соблюдение методологий проектирования частично осуществляется стандартной функциональностью систем за счет реализации организационных мер, позволяющих не только поддерживать новые функции, но и методологические решения в целом [1, 2].

Таким образом, можно выделить следующие необходимые функциональные возможности информационных систем проектирования БРЭА КА:

- работа с иерархической вложенностью элементов проектируемого изделия – поддержка механизма сборки;
- анализ проектируемой цифровой модели, например, на непротиворечивость и прочность конструкции и т. д.;
- совместное проектирование (параллельный инжиниринг) – возможность одновременной многопользовательской работы с сохранением целостности данных;
- существование нескольких версий одного объекта, поддержка механизма версионности;
- соответствие RGD-методологии;
- поддержка CALS-стандартов;
- сквозное проектирование: автоматическая конвертация данных различных инженерных форматов для выполнения работ разного профиля, например, разработка электрической схемы и разводка печатной платы в рамках одного программного продукта и т. д.

Однако, несмотря на расширенные возможности современных САПР и других ИС, автоматизирующих и поддерживающих остальные этапы жизненного цикла (ЖЦ) изделия, возникает потребность в средстве, которое будет интегрировать все данные о продукции на каждом этапе ее ЖЦ. Для этого предназначены информационные технологии и системы управления данными, называемые PDM.

### Управление данными об изделии

Под технологией управления данными понимают комплекс методов, понятий, информационных моделей, правил использования, интерфейсов доступа к данным, необходимых и достаточных для работы с информацией при решении различных задач на всех этапах ЖЦ изделия. При этом представление информации отвечает требованиям CALS-стандартов (ISO 10303-11 Express, ISO 8879 SGML и т. д.).

На сегодняшний день наиболее эффективным способом информационной интеграции является применение PDM-технологий, обеспечивающих управление всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия. Это предполагает повышение доступности данных для всех участников ЖЦ изделия, что требует интеграции всех данных об изделии в логически единую информационную модель.

При организации совместной работы различных служб предприятий, использующих разные системы автоматизации, встает вопрос об их информационной совместимости. Для его решения PDM-технологии должны поддерживать нейтральную модель данных, пригодную для представления разнообразных данных об изделии. В качестве такой модели в настоящее время выступает международный CALS-стандарт: ISO 10303 – STEP (ГОСТ Р ИСО 10303). Стандарт регламентирует логическую структуру БД, номенклатуру информационных объектов, хранимых в БД, их атрибуты и связи. Стандарт предусматривает способы взаимодействия с БД – с помощью текстового обменного файла STEP (ISO 10303-21) и через интерфейс SDAI (ISO 10303-22). Работу с текстовым обменным файлом STEP поддерживает большинство современных CAD/CAM-систем [3, 4].

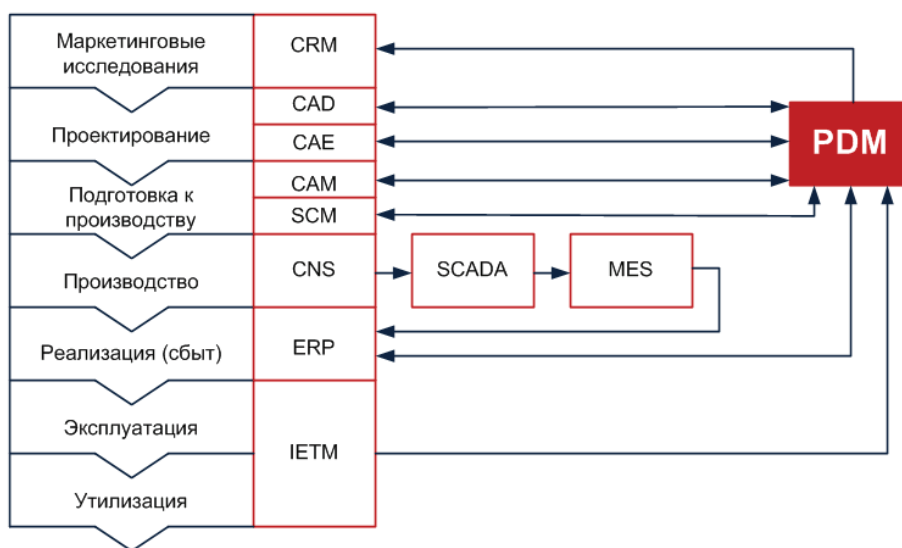
Таким образом, назначение PDM-технологий состоит в следующем:

- они являются основой при построении ЕИП для всех участников ЖЦ изделия;
- с их помощью можно автоматизировать управление конфигурацией промышленных изделий;
- возможности PDM-технологий отслеживать и моделировать выполняемые процессы делают их средством поддержки проведения анализа при реструктуризации бизнеса;
- способность PDM-технологий задавать рабочие процедуры и контролировать их выполнение в автоматизированном режиме при построении и сертификации системы менеджмента качества на предприятии;
- создание электронного хранилища чертежей и иной технической документации.

Для реализации PDM-технологий существуют специализированные программные средства, называемые ИС управления данными об изделии, PDM-системы. Они представляют собой новое поколение компьютерных средств управления всеми связанными с изделием данными и информационными процессами ЖЦ.

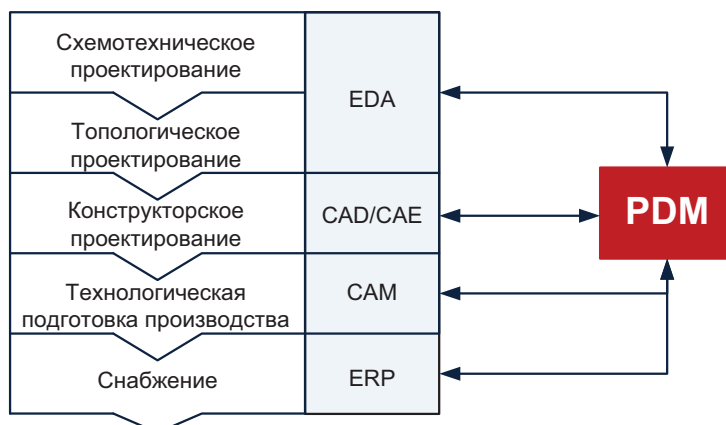
PDM-система контролирует все связанные с изделием информационные процессы (в первую очередь, проектирование изделия) и всю информацию об изделии, включая состав и структуру изделия, геометрические данные, чертежи, планы проектирования и производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, корреспонденцию, данные о партиях изделия и отдельных экземплярах изделия и многие другие данные.

При создании ЕИП для всех участников ЖЦ изделия PDM-система выступает в качестве средства интеграции всего множества используемых прикладных компьютерных систем путем аккумулирования поступающих от них данных в логически единую модель на основе стандартных интерфейсов взаимодействия. Таким образом, в соответствии с концепцией CALS-технологий, PDM-системы являются центральным ядром ЕИП (рис. 1).



**Рис. 1.** Роль PDM-систем в информационном сопровождении этапов ЖЦ наукоемких изделий

С точки зрения применимости PDM-системы к особенностям создания БРЭА КА, необходима ее интеграция со специальными системами автоматизированного проектирования, САПР (CAD/CAE/CAM), используемыми в процессах проектирования и испытаний, а также с комплектом эксплуатационной документации (рис. 2).



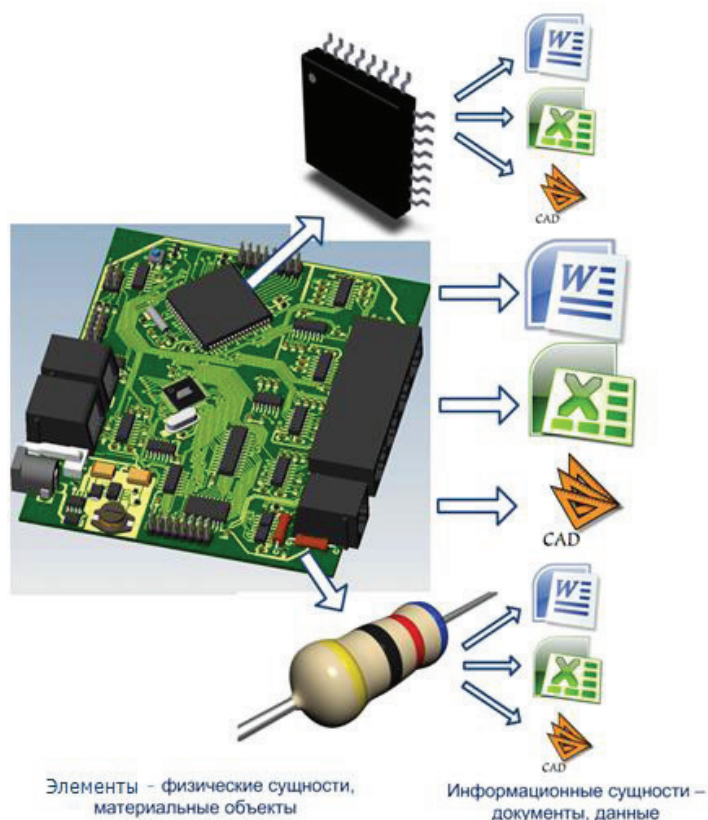
**Рис. 2.** Роль PDM-систем в информационном сопровождении этапов ЖЦ БРЭА КА

### Особенности управления инженерными данными в терминах PDM-системы

Важной особенностью PDM-систем является их ориентация на проектные работы, что обуславливает их широкое применение на предприятиях, организующих свою деятельность подобным образом. В случае создания БРЭА КА процессы выполняются в рамках проекта с уникальными характеристиками (состав изделия, сроки выполнения, назначение и другие условия), при этом возникает необходимость использования данных из предыдущих наработок, наряду с новыми исследованиями. С помощью PDM-системы можно управлять входными и выходными данными при проектировании и разработке изделий, обеспечивать процессы анализа, верификации и валидации проекта, а также осуществлять обратную связь с потребителями продукции.

Управление данными в PDM-системе реализуется в соответствии с иерархическим принципом проектирования сложных изделий – структурированная вложенность компонентов. Это обуславливает принципиальное отличие PDM от систем электронного документооборота: первичной является физическая сущность – элемент изделия, который сопровождается вторичной информационной сущностью – документом (рис. 3).

Характерной чертой процессов проектирования сложных изделий, к которым, в частности, относится БРЭА КА, является наличие нескольких версий документов. Поэтому для актуализации последней редакции данных в PDM-системы включен механизм поддержки версионности. Если в объект нужно внести изменения, то на основе его предыдущей версии создается новая, в которую вносятся изменения. Исходный вариант объекта при этом сохраняется в прежнем виде. Одна версия каждого объекта является текущей или активной версией. Если имеется несколько версий объекта, то текущей является та, которая последней подвергалась изменениям. Целостность данных поддерживается также тем, что нельзя одновременно вносить изменения в один и тот же объект разным разработчикам, каждый из них должен работать со своей рабочей версией. Это обеспечивается соответствующим распределением прав доступа к данным между разными участниками процесса проектирования.



**Рис. 3.** Отношения материальных и информационных объектов в PDM-системе

Вышеописанный механизм версии реализован в понятии ЖЦ объекта PDM-системы как материального (элемент изделия, физическая сущность), так и информационного (документ, информационная сущность). Этапы ЖЦ можно изменять или создавать свои согласно организационно-технологическим регламентам отрасли или предприятия. Каждый этап ЖЦ характеризуется:

- действиями, которые могут быть выполнены над объектом;
- регламентом прав доступа;
- местом физического нахождения файла содержательной информации;
- идентификатором автора, передавшего информацию на текущий этап;
- датой начала этапа.

В табл. 1, 2 показаны стадии ЖЦ компонента и документа в терминах PDM-системы.

**Таблица 1.** Стадии ЖЦ Элемента

Стадия ЖЦ	Описание
Неактивный	Элемент не находится в состоянии разработки или изготовления/производства
Временный	Введение элемента в систему, например, ожидается подтверждение элемента в ERP-системе
Разработка	Этап разработки (по умолчанию, новый элемент создается в этом состоянии)
Прототип	Создание прототипа, конфигурация разработки
Готов к производству	Выпуск элемента, планирование изготовления
Производство	Этап изготовления/производства



Таблица 2. Стадии ЖЦ документа и операции по их изменению

Операции ЖЦ	Стадия ЖЦ	Описание
Добавить	Новый	Объект создан пользователем и находится в рабочей директории, недоступен другим пользователям
Выпустить	Выпущенный (опубликованный)	Файл объекта помещается в общее защищенное хранилище, становится доступным для просмотра авторизованным пользователям. Для внесения изменений объект следует взять на корректировку
Корректировать	На изменении	Файл объекта перемещается в рабочую директорию пользователя для внесения изменений. Никакой другой пользователь не может в настоящий момент изменять файл, а только просматривать файл родительской версии.
Новая версия		Создает новую версию исходного утвержденного объекта
Согласовать	Согласован	Файл объекта помещается в защищенное хранилище согласованных файлов и не подлежит изменениям, возможны только новые версии на его основе
Поместить в архив	Устаревший	Файл объекта помещается в защищенное хранилище неактивных файлов, доступен для просмотра, но не для изменения.

Подробная иллюстрация состояний ЖЦ документа и операций по изменению его статуса приведена на рис. 4.

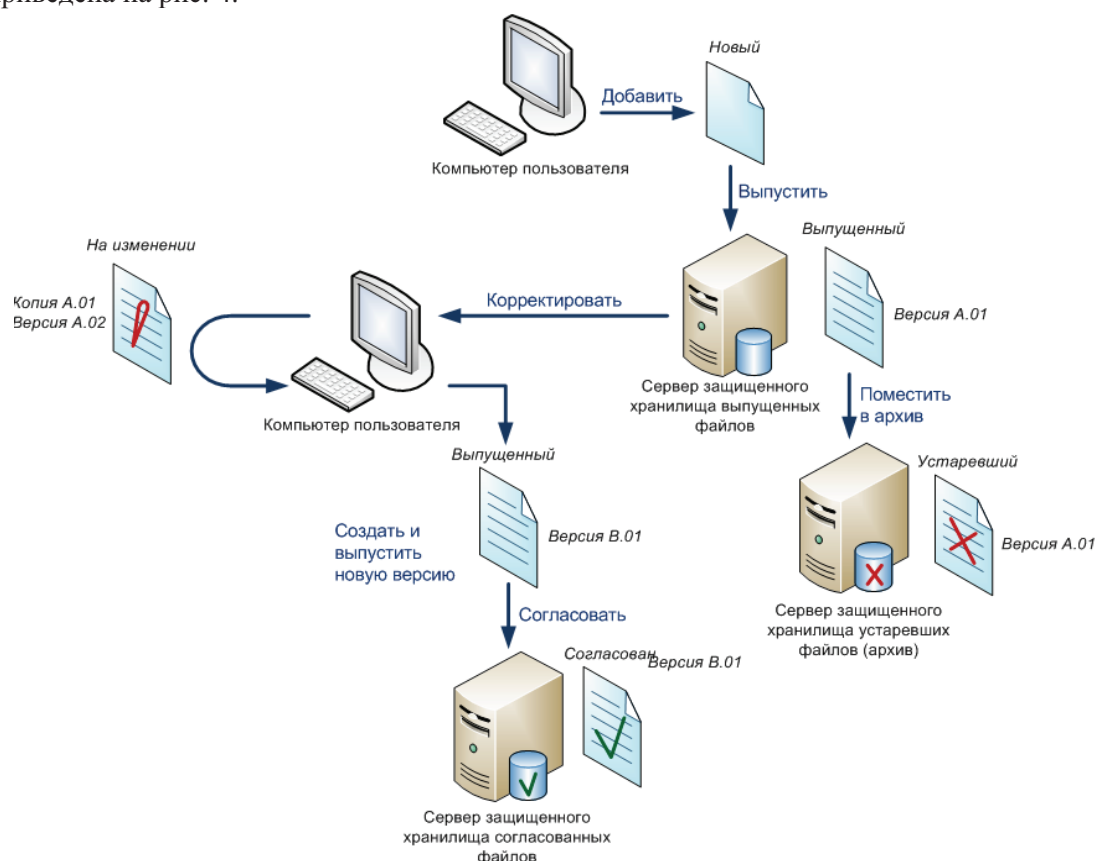


Рис. 4. ЖЦ документа в PDM-системе

Вышеуказанные операции по изменению ЖЦ объекта в PDM-системе выполняются пользователем в зависимости от его полномочий, которые определяются его функциями как

участника бизнес-процесса. Как правило, политика управления правами доступа к информации в PDM реализуется через выделение пользовательских категорий:

- **пользователи** – индивидуальные участники бизнес-процессов, члены команды проекта или группы таковых лиц;
- **группы** – участники бизнес-процессов, которые работают над совместным проектом или делят общий набор умений;
- **роли** – операционный уровень взаимодействия между членами команды проекта, обозначение или закрепление части работ по проекту, за выполнение которых несет ответственность определенное лицо. Фактически роль – это способ распределения полномочий участников проекта. Пользователи в группе могут обладать различными ролями.

Роли и группы могут быть использованы как дополняющие друг друга концепции. Главная функция всех этих объектов администрирования – позволить контролировать как отображение информации для каждой из групп, так и действия, которые данный пользователь или группа пользователей смогут выполнять. Для обеспечения максимальной гибкости доступа роли и группы пользователей объединяют в общую модель. В этом случае роли могут назначаться группам, что уменьшает объем администрирования. Права могут назначаться как группам, так и отдельным пользователям. На рис. 5, 6 показана структура назначения прав пользователю по групповой и ролевой идентификации.



Рис. 5. Структура распределения прав при использовании групп пользователей

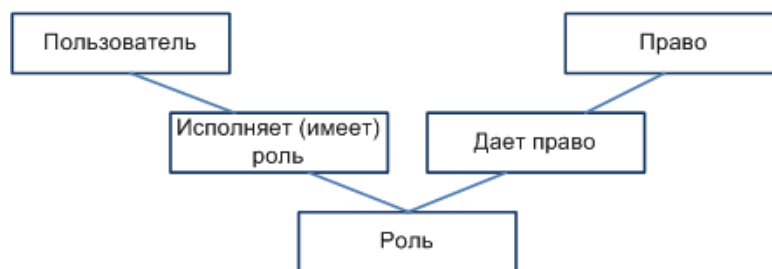


Рис. 6. Структура распределения прав пользователей при использовании ролей

Согласно процессной концепции CALS-технологий, действия в ходе выполнения проекта рассматриваются в качестве бизнес-процессов, порядок следования и технология выполнения которых соответствует заранее определенным формальным схемам (моделям). PDM-система не только аккумулирует всю информацию об изделии на протяжении его ЖЦ, но и позволяет управлять производственными процессами посредством методологии потоков работ, называемой Workflow (от англ. Work – работа, flow-поток). Workflow – это упорядоченное во времени множество заданий, получаемых и обрабатываемых сотрудниками с помощью средств механизации/автоматизации или вручную, согласно последовательности и правилам, заранее определенным для данного бизнес-процесса. Таким образом, деятельность представляется в виде элементов работы, передаваемых по определенному маршруту между исполнителями в соответствии с заданными правилами.

Как правило, Workflow реализуется в PDM-системах посредством следующих модулей:

- графический редактор для создания визуальной схемы маршрутов работ, называемых сценариями;
- «почтовый ящик» пользователя, оповещающий его о новом, адресованном ему, задании и позволяющий изменять стадию выполнения задания: отметить как выполненное или не выполненное, делегировать задачу другому исполнителю, т. е. перейти к следующему шагу исполнения сценария;
- приложение для визуального представления выполнения сценария, которое позволяет контролировать деятельность: проследить ход исполнения маршрута работ в схематичном и табличном видах, проанализировать и выявить причины задержек и прочих последствий неоптимального планирования и исполнения деятельности.

Как уже было отмечено ранее, PDM-система также выполняет роль электронного архива, причем работа с информацией осуществляется в интерактивном режиме: возможен просмотр и правка данных об изделии непосредственно в PDM. Это реализуется посредством интеграции PDM с другими ИС, которые обеспечивают специфическую поддержку этапов ЖЦ изделия: например, EDA, CAD/CAE, CAM, ERP и т. д.

Интерактивное автоматическое обновление информации между всеми компонентами CALS обеспечивается при соответствии программных средств и форматов определенным CALS-стандартам, в частности, ISO 10303 (STEP).

Еще одной важной функцией PDM-системы является возможность автоматической генерации документов по шаблонам, принятым в отрасли или на предприятии. Это реализуется посредством исполнения специальных программ – скриптов, в которых осуществляется программный доступ к информации, хранящейся в PDM-системе. Разнообразие типов инженерных данных поддерживается их классификацией и соответствующим выделением групп с характерными множествами атрибутов – описания изделий с различных точек зрения. Для БРЭА КА такими описаниями являются свойства компонентов и сборок, модели и их документальное выражение (схемы, чертежи, 2D и 3D модели, расчеты, текстовые описания и т. д.), а также структура изделия, отражающая взаимосвязи между ее компонентами. Таким образом, для эффективного использования PDM-системы в производственных процессах предприятия, необходимо наличие гибкого инструмента ее администрирования и настройки, в том числе возможность подключения собственных программных компонентов для интеграции с другими ИС и генерации шаблонов документов.

### Выводы

Подводя итог применению ИТ в процессах создания БРЭА КА, можно сделать вывод, что программные компоненты CALS для поддержки данной деятельности должны обладать следующей функциональностью:

- возможность взаимной интеграции;
- ориентация на осуществление деятельности проектным образом;
- автоматизация управления работами в соответствии с Workflow-методологией, возможность составления логически сложных сценариев;
- возможность совместной многопользовательской работы и гибкая политика управления правами пользователей на операции с данными с помощью групповой и ролевой идентификации;
- поддержка механизма версионности;
- приоритет компонента изделия (физической сущности) над документом (информационным объектом);
- генерация документов по заданному шаблону.

Вышеуказанные задачи управления информацией, возникающей в процессах создания БРЭА КА, позволит разработать PLM-решение для данной области деятельности, разработанное в соответствии с принципами CALS-технологий и реализованное в рамках интегрированной информационной среды предприятия.



Предлагаемые научно-технические решения позволяют сократить срок согласования конструкторской документации до 30 %, время поиска необходимой информации в процессе проектирования до 25 %, обеспечивают повышение согласованности взаимодействия подразделений, участвующих в процессах проектирования и испытаний БРЭА КА, тем самым значительно сокращая стоимость изготовления новых образцов ракетно-космической техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М., Никифоров А.Д. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ИПИ: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 304 с.
2. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. – М.: Научно-исследовательский центр CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. – 28 с.
3. Ершова Т.Б. Организационные аспекты создания единого информационного пространства предприятия // Транспортное дело России. – 2009. – № 2. – С. 62–65.
4. Залого В.А., Дядюра К.А., Соболев С.Н. Синергетический подход к организации процессов жизненного цикла изделий машиностроения // Вестник Сумского государственного университета. – 2008. – № 1. – С. 89–93.

Поступила 09.04.2012 г.