

## **СОЗДАНИЕ ЕДИНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТА КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «СОЮЗ-2»: ЭТАПЫ, КОНЦЕПЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ, МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЯ**

### **Охтилев Михаил Юрьевич,**

д.т.н., профессор, временный генеральный директор открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр интеллектуальных технологий «Петрокомета» Государственной корпорации "Ростех", Санкт-Петербург, Россия, oxt@mail.ru

### **Гамов Владислав Юрьевич,**

к.в.н., директор департамента испытаний и эксплуатации открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр интеллектуальных технологий «Петрокомета» Государственной корпорации "Ростех", Санкт-Петербург, Россия, gamov@petrocometa.ru

### **Черников Андрей Дмитриевич,**

начальник отдела открытого акционерного общества «Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр интеллектуальных технологий «Петрокомета» Государственной корпорации "Ростех", Санкт-Петербург, Россия, chernikov@petrocometa.ru

### **АННОТАЦИЯ**

Проведено описание этапов создания единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2». Представлены цели и функциональные задачи, итоги проектирования и разработки. Проведено описание макета программного обеспечения единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2» по заявлению о соответствии ракеты-носителя требованиям тактико-техническому заданию. Представлена концепция и принципы построения, основные принципы создания, развёртывания и использования единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2». Электронное описание изделия представлено единой интегрированной моделью, содержащей всю информацию об изделии, требуемую на любом из этапов его жизненного цикла изделия, а при формировании каждого фрагмента модели - используются единые средства и методы построения. При этом подразумевается также обеспечение целостности всей модели, описывающей изделие. Электронная структура изделия представлена моделью в виде «древовидной» структуры, содержащей детали, сборочные единицы, комплекты и комплексы, образующие состав изделия, а также ассоциированные с каждой такой составной частью информационные ресурсы единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2» - электронные данные, соответствующие стадиям жизненного цикла изделия. При этом электронные данные содержат всю необходимую информацию, характеризующую этапы производства, испытания, обслуживания, эксплуатации изделия и представляют собой электронные документы различных форматов, графические (2D и 3D) объекты, файлы с результатами измерений. Показано, что электронная структура изделия является обобщающим документом, консолидирующим все технические данные об изделии, и предназначена для организации информационного взаимодействия между автоматизированными системами. Рассмотрены две основные разновидности электронной структуры изделия: конструктивная и функциональная.

**Ключевые слова:** единый виртуальный электронный паспорт; ракета носитель «Союз-2»; модель; электронное описание изделия; электронная структура изделия.

В настоящее время перед организациями и предприятиями, разрабатывающими и эксплуатирующими космические комплексы (КК), все чаще встает проблема обеспечения эффективного управления системой информации о техническом состоянии и надежности КК. Существующие на предприятиях и организациях автоматизированные информационные системы в большинстве случаев созданы в разное время, на различных программно-аппаратных платформах и практически не интегрированы между собой и, кроме того, используют различные подходы и технологии электронного описания изделий и их составных частей. Это создает объективные трудности в информационном взаимодействии между предприятиями и организациями при совместной разработке, производстве и эксплуатации изделий. Одной из основных проблем оперативного получения и доведения до всех пользователей объективной и достоверной информации о техническом состоянии и надежности КК является отсутствие автоматизированных комплексов контроля технического состояния и надежности систем и агрегатов КК с едиными, автоматизированными базами данных и знаний, использующих технологическую и измерительную информацию получаемую при проведении всех видов испытаний, штатной эксплуатации, а также всю имеющуюся на момент испытаний структурированную информацию об объекте контроля.

В 2006-2013 годах руководителем предприятия и сотрудниками ОАО «НИО ЦИТ «Петрокомета» совместно с Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации Российской академии наук и ЗАО «С КБ Орион» была разработана и предложена технология построения системы информации о техническом состоянии сложных организационно-технических объектов и процессов (СОТОП), к которым также можно было отнести КК [1, 2, 3]. Эта технология была признана в управляющей компании ГК «Ростех» и АО «Росэлектроника» как прорывная и вошла в список приоритетных.

Технология была построена на основе единых баз данных и знаний в составе распределенной вычислительной сети предприятий и организаций, участвующих в системе информации о техническом состоянии и надежности СОТОП с использованием аппаратно-программных комплексов контроля/мониторинга технического состояния и надежности систем и агрегатов в реальном масштабе времени. Такие информационные вычислительные сети (ИВС) разрабатываются на основе интеллектуальных информационных технологий (ИИТ).

В 2013 году для применения ИИТ в космической отрасли для конкретной космической ракеты-носителя «Союз-2» было предложено создать единый виртуальный электронный паспорт, обеспечивающий совершенствование системы информации о техническом состоянии космической ракеты-носителя «Союз-2» и входящих в её состав изделий на всех этапах их жизненного цикла.

Это предложение получило одобрение и поддержку в АО «РКЦ «Прогресс», где ещё 30 лет назад над такой проблемой задумывались. Основоположником идеи создания ИВС для КК стал в то время доктор технических наук, профессор, заместитель генерального конструктора по испытаниям и эксплуатации РН типа «Союз» Капитонов Валерий Алексеевич. Идея была подхвачена доктором технических наук, профессором, генеральным директором ОАО «НИО ЦИТ «Петрокомета» Охтилевым Михаилом Юрьевичем и получила поддержку у доктора технических наук, профессора, первого заместителя генерального директора – генерального конструктора – начальника ЦСКБ Ахметова Рафиля Нургалиевича.

Кроме того, ЕВЭП получил широкую поддержку командования КВ, ЦНИИ ВВКО МО РФ, ВКА имени А.Ф. Можайского. После чего авторами статьи были разработаны предложения по созданию единого виртуального электронного паспорта (ЕВЭП) космической ракеты-носителя «Союз-2».

В 2014 году были назначены и руководители этого большого объёмного проекта. Как сказали руководители от АО «РКЦ «Прогресс»: «ЕВЭП – это изделие длиной в жизнь». От АО «РКЦ «Прогресс» - заместитель генерального директора по качеству – начальник службы качества Корнилов Валерий Александрович. А от ОАО «НИО ЦИТ «Петрокомета» - кандидат военных наук, директор департамента испытаний и эксплуатации Гамов Владислав Юрьевич. Действительно на технологии ЕВЭП можно строить ИВС для любых изделий, предприятий, отраслей производств и эксплуатации. В этом же году было утверждено техническое задание на разработку ЕВЭП космической ракеты-носителя «Союз-2» и, начиная с 2015 года началось создание единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2».

В соответствии с Техническим заданием на СЧ ОКР «Разработка единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2», ЕВЭП предназначен для своевременного обеспечения предприятий и организаций, участвующих в проектировании, производстве, испытаниях и эксплуатации РН «Союз-2», актуальной информацией, необходимой для выполнения работ по поддержанию требуемого уровня технического состояния и надежности РН и входящих в её состав изделий на всех этапах их жизненного цикла в соответствии с «Положением по системе информации о техническом состоянии и надежности РН «Союз-2». ЕВЭП должен представлять собой совокупность средств и методов сбора, обработки, обмена, хранения, поиска и представления информации, функционирующих на единых принципах и по общим правилам.

Поэтому к 2017 году после всех согласований и утверждений эскизного проекта, разработки РКД единый виртуальный электронный паспорт космической ракеты-носителя «Союз-2 стал представлять собой автоматизированную территориально-распределенную информационную систему, типовые сегменты которой установлены на предприятиях и организациях кооперации и соединены между собой каналами связи. Такая информационная система как ЕВЭП учитывает всю информацию и особенности проектирования, создания, испытаний и эксплуатации, а также сбор, обработку, хранение и представление обобщенной информации о техническом состоянии и надежности космической ракеты-носителя «Союз-2» и входящих в неё составных частей на всех этапах их жизненного цикла.

В настоящее время выполнены следующие этапы работы:

1 этап (2015г.): «Разработка эскизного проекта единого виртуального электронного паспорта космической ракеты-носителя «Союз-2». Разработка, изготовление и испытания макета ЕВЭП»;

2 этап (2016г.): «Сбор, подготовка и согласование ИД по электронной структуре изделия. Разработка конструкторской документации на опытный образец типового сегмента (ТС) ЕВЭП. Разработка программной платформы. Разработка макета ПО ЕВЭП в части формирования заявления по соответствию космической ракеты-носителя «Союз-2» требованиям ТТЗ». Спроектирован и разработан опытный образец ТС ЕВЭП, включающий два полнофункциональных ТС в виде аппаратно-программного комплекса (АПК) 1-го уровня, размещаемых в АО «РКЦ «Прогресс» и 1 ГИК МО РФ, и два полнофункциональных АПК 2-го уровня, размещаемых в ЦНИИ ВВКО МО РФ и ВКА им. А.Ф.Можайского). Разработано РКД, ЭД в согласованном объеме.

Целью дальнейших работ является изготовление и испытания единого виртуального электронного паспорта на базе двух типовых сегментов первого уровня и двух типовых сегментов второго уровня. Что будет обеспечивать:

- надежное и достоверное хранение информации;
- разграниченный доступ к хранящейся территориально распределенной информации;
- совершенствование системы информации о техническом состоянии и надежности космической ракеты-носителя «Союз-2» и входящих в её состав изделий на всех этапах их жизненного цикла.

ЕВЭП устанавливается в следующих местах расположения:

ТС первого уровня:

- АО «РКЦ «Прогресс»;
- космодром «Плесецк».

ТС второго уровня:

- ЦНИИ ВВКО Министерства обороны Российской Федерации;
- ВКА имени А.Ф.Можайского.

ТС ЕВЭП первого и второго уровня технически состоят из аппаратно-программных комплексов (АПК) первого и второго уровней.

АПК первого уровня состоит из:

- комплекта сервера первого уровня;
- комплекта администрирования первого уровня;
- комплекта оцифровки/ комплектования первого уровня;
- комплекта доступа первого уровня.

АПК второго уровня состоит из:

- сервера второго уровня;
- комплекта администрирования второго уровня;
- комплекта оцифровки/ комплектования второго уровня;
- комплекта доступа второго уровня.

Опытный образец ЕВЭП состоит из ТС первого и второго уровня.

В 2017-18 годах на основании утверждаемого Дополнения 6 к ТТЗ на ОКР «Русь» будут изготавливаться два ТС первого уровня и два ТС второго уровня. Испытания будут также проводиться с двумя ТС первого уровня и двумя ТС второго уровня.

ТС ЕВЭП выполняет следующие функции:

- организация информационного взаимодействия поставщиков и потребителей электронных данных о космической ракете-носителя «Союз-2» в рамках единого информационного пространства ЕВЭП;
- сбор, обработка организационно-технической, технологической и измерительной информации;
- организация накопления, комплектования и гарантированного хранения электронных данных о космической ракете-носителе «Союз-2»;
- предоставление пользователям доступа к информационным ресурсам посредством документно-ориентированного, объектно-ориентированного, 2D и 3D интерфейсов;
- долговременное архивное хранение массивов данных об изделии на всех стадиях жизненного цикла;
- импорт/экспорт пакетов электронных документов, технологической и измерительной информации в форматах, согласованных с Заказчиком на этапе разработки РКД;
- организация поиска по содержимому электронных данных о космической ракете-носителе «Союз-2»;
- формирование обобщённых оценок и генерации отчётных документов;
- управление процессами и сервисами сбора, хранения и доступа к электронным данным о космической ракете-носителе «Союз-2»;
- управление базами данных, файловыми хранилищами (развёртывание, обслуживание, резервирование, восстановление);
- контроль и управление доступом пользователей к электронным данным о космической ракете-носителе «Союз-2» в соответствии с установленными ролями и полномочиями;
- диагностика состояния технических и программных средств.

АПК первого уровня является основным элементом построения единого информационного пространства ЕВЭП и предназначен для организации эффективного, безопасного и гарантированного хранения информации, управления электронными данными о космической ракете-носителе «Союз-2», оперативного обеспечения потребителей актуальной информацией, необходимой для выполнения работ по поддержанию требуемого уровня технического состояния и надёжности космической ракеты-носителя «Союз-2» и входящих в его состав изделий на всех этапах их жизненного цикла.

АПК второго уровня предназначен для решения задач интеграции электронных данных о космической ракете-носителе «Союз-2» в рамках информационной среды предприятия (организации), подготовки информационного контента и загрузки его в систему хранения данных АПК первого уровня, а также для доступа к электронным данным о космической ракете-носителе «Союз-2».

В части решения задач формирования заявления о соответствии оборонной продукции космической ракеты-носителя «Союз-2» поставляемой по государственному оборонному заказу, требованиям государственного заказчика (далее – заявление), разработан макет программного обеспечения (ПО) ЕВЭП. Данное новшество органично вошло в процесс создания ЕВЭП по предложению Корнилова Валерия Александровича и поддержано 5 ВП МО.

Макет ПО ЕВЭП по заявлению о соответствии продемонстрировал выполнение следующих функций:

- формирование (ввод) пакета электронных документов для заявления с использованием технологии экранных шаблонных форм;

- сбор, обработку, хранение и доступ к набору электронных документов заявления;
- организация информационного взаимодействия потребителей и поставщиков данных и электронных документов о заявлении в рамках ЕВЭП;
- предоставление пользователям доступа к электронным данным заявления с использованием интерфейсов электронной структуры космической ракеты-носителя «Союз-2»;
- организация поиска по содержимому электронных данных о заявлении;
- аналитическая обработка электронных данных о заявлении с генерацией отчётных документов.

Концепция построения ЕВЭП включает следующие основные положения, являющиеся базовыми [4]:

- создание единого информационного пространства предприятий и организаций, участвующих в проектировании, производстве, испытаниях и эксплуатации космической ракеты-носителя «Союз-2»;
- обеспечение информационного взаимодействия и доступа потребителей к соответствующим территориально-распределенным системам обработки и хранения данных;
- создание единой структуры управления процессами информатизации и автоматизации на основе общих принципов подходов, единой технологической политики;
- обеспечение единого нормативного, методического и организационного обеспечения процессов информатизации;
- использование единых подходов, организационно-технических решений, технологий к построению систем защиты информации и обеспечению безопасности информационных ресурсов;
- постепенный переход к интеллектуализации технологий поддержки принятия решений, ориентированных на цепочку «моделирование – прогнозирование – принятие решения».

Основные принципы создания, развёртывания и использования ЕВЭП [4]:

- в основе ЕВЭП лежит поэтапный переход к безбумажным технологиям ведения всех сфер деятельности (организационно-управленческой, проектно-конструкторской, производственно-технологической и эксплуатационно-технической);
- основными структурными элементами ЕВЭП являются базы данных и знаний о созданных и создаваемых изделиях, результатах их испытаний и эксплуатации;
- базы данных и знаний рассматриваются как основа для долгосрочной стратегии, нацеленной на повышение эффективности ЕВЭП на всех стадиях ЖЦ изделия;
- в рамках информационных ресурсов, ЕВЭП обеспечиваются хранение и доступ к разнородной информации (структурированной и слабо структурированной);
- обеспечено структурное представление хранимых данных в виде, позволяющем конечному пользователю осуществлять доступ к ним без привлечения программистов, а также хранение метаданных и других атрибутивных признаков, необходимых для сохранения материалов и обеспечения долговременного доступа к ним;
- предусмотрена возможность информационного взаимодействия с автоматизированными (информационными) системами (подсистемами) организаций и предприятий кооперации на основе единых подходов;
- обеспечена возможность работы в условиях существенного роста (объема) информационных ресурсов, количества вновь подключаемых источников информации без существенного изменения прикладного программного обеспечения (масштабируемость);
- вся загруженная в ЕВЭП информация о космической ракете-носителе «Союз-2» формируется в виде единого информационного объекта – электронного описания изделия (ЭОИ), а также привязываться к элементам электронной структуры изделия (ЭСИ) и стадиям его жизненного цикла;
- при работе с данными и знаниями соблюдаются принципы комплексности и системности, заключающиеся в возможности обработки и оценки всей необходимой совокупности данных в различных разрезах, с учётом внутренних структур и связей;

- создание и развитие ЕВЭП базируется на использовании единой корпоративной сети передачи данных, единых механизмах обмена данными;
- формируемая коммуникационная инфраструктура обеспечивает безотказное и оперативное доведение информации для всех участников кооперации, обеспечивая полноту и своевременность предоставления данных, необходимых для принятия управленческих решений;
- в рамках ЕВЭП обеспечивается защита и безопасность информационных ресурсов, а также разграничение прав доступа к данным в соответствии с полномочиями и установленными регламентами;
- при разработке основных принципов и технологий в рамках ЕВЭП предусмотрен учёт (анализ) зарубежного опыта и ранее накопленного опыта в ведущих предприятиях ракетно-космической отрасли;
- применяемые средства информатизации поддерживают международные стандарты представления и обмена информацией в электронном виде;
- в рамках ЕВЭП используются единые системотехнические решения для ведения и поддержания системы классификации и кодирования, комплектования, каталогизации, информационного поиска и доставки документов, а также унифицированной системы видов и форм документов;
- создание ЕВЭП осуществляется с использованием унифицированных программно-аппаратных платформ на основе базовых информационных защищенных компьютерных технологий (БИЗКТ);
- используется общесистемное и прикладное программное обеспечение отечественной разработки, функционирующее в среде БИЗКТ;
- архитектура ЕВЭП обеспечивает возможность поэтапной разработки и внедрения. Это позволит обеспечить расширение функциональных характеристик без принципиальных доработок (замены) аппаратно-программных и платформенных решений;
- обеспечивается принцип невмешательства (в соответствии с разработанными при внедрении регламентами) в налаженную, отработанную и закреплённую соответствующими нормативными документами информационную технологию проектирования, производства и испытаний, существующую в территориально-разнесенных организациях, подключенных к ЕВЭП.

Наиболее важными и определяющими при построении инфраструктуры ЕВЭП являются следующие принципы:

- формирование единого информационного пространства;
- взаимодействие с информационными системами;
- построение электронного описания изделия;
- применение унифицированных программных платформ.

Одной из основных задач ЕВЭП является возможность предоставления всем участникам информационного взаимодействия (с учетом их полномочий) актуальных и достоверных данных в любое время и в любом месте (в рамках единого информационного пространства ЕВЭП) вне зависимости от того, где, когда и кем эти данные были сформированы.

В рамках ЕВЭП единым источником информации о космической ракете-носителе «Союз-2» является ЭОИ, которое по сути своей является его моделью.

Один из основных принципов построения ЕВЭП гласит, что вся загруженная в ЕВЭП информация по конкретному изделию должна консолидироваться в едином информационном объекте – экземпляре электронного описания изделия, и привязываться к элементам электронной структуры изделия и стадиям его жизненного цикла.

Пользователи получают информационную поддержку своей деятельности, а также любую требуемую информацию об изделии, его тактико-технических данных, конструкции, контроле производства, особенностях его обслуживания и эксплуатации, опираясь на единое ЭОИ. Это обеспечивает возможность перехода на более высокий уровень интеграции данных об изделии — подняться с уровня конкретных конструкторских документов на уровень совокупности конструкторских документов и данных.

Под понятием ЭОИ подразумевается единая интегрированная модель, содержащая всю информацию об изделии, требуемую на любом из этапов его ЖЦИ, а при формировании каждого фрагмента модели - используются единые средства и методы построения. При этом подразумевается также обеспечение целостности всей модели, описывающей изделие.

Электронное описание изделия превращает всю совокупность информации о космической ракете-носителе «Союз-2» в важнейший информационный ресурс и позволяет решать следующие задачи:

- обеспечивать информационную совместимость различных автоматизированных систем на этапах проектирования, производства, эксплуатации;
- обеспечивать обмен электронными документами (конструкторскими, эксплуатационными и пр.), а также результатами всех видов испытаний, данными объективного контроля;
- проводить общую оценку уровня надёжности изделия, всех его составных частей, а также готовности к выполнению целевой задачи.

ЭОИ имеет большой объем и включает в себя данные, относящиеся к различным стадиям жизненного цикла. Вследствие этого, процесс создания интегрированной модели является также дискретным (с точки зрения ЖЦИ): отдельные наборы электронных данных формируются и включаются в ЭОИ на разных стадиях ЖЦИ.

ЭОИ отражает состав изделия с точки зрения иерархической совокупности его составных частей, которую принято называть электронной структурой изделия.

При использовании ЕВЭП для организации процессов интеграции, хранения и обмена актуальной информацией между всеми участниками системы информации о космической ракете-носителе «Союз-2», основным объектом, предоставляющим интерфейс доступа к консолидированным данным об изделии на всех стадиях ЖЦ, является его ЭСИ.

ЭСИ представляет собой «древовидную» структуру, содержащую детали, сборочные единицы, комплекты и комплексы, образующие состав изделия, а также ассоциированные с каждой такой составной частью информационные ресурсы ЕВЭП - электронные данные, соответствующие стадиям ЖЦИ.

Электронные данные содержат всю необходимую информацию, характеризующую этапы производства, испытания, обслуживания, эксплуатации изделия и представляют собой электронные документы различных форматов, графические (2D и 3D) объекты, файлы с результатами измерений.

ЭСИ – конструкторский документ, выполняемый только в электронной форме и предназначенный для использования в компьютерной среде.

ЭСИ является обобщающим документом, консолидирующим все технические данные об изделии, и предназначена для организации информационного взаимодействия между автоматизированными системами.

Информационная интеграция в рамках ЕВЭП, как основной процесс формирования ЕИП, заключается в том, что все автоматизированные системы, применяемые на различных стадиях ЖЦИ, оперируют не традиционными документами и файлами, а формализованными информационными моделями.

Эти модели в электронной форме, в виде информационных объектов (ИО) создают и поддерживают в актуальном состоянии единое электронное описание изделия. Системы, которые используют те или иные информационные объекты, извлекают их из систем хранения данных ЕВЭП, обрабатывают, создавая новые объекты, и помещают в централизованное хранилище. Эти процессы непосредственно контролируются и управляются посредством интерфейсов ЭСИ, поскольку каждый информационный объект или группа ИО на всех этапах своего жизненного цикла связаны с соответствующим элементом электронной структуры изделия, образуя содержательный контекст ЭОИ.

Информационный объект представляет совокупность данных, обладающих атрибутами (свойствами) и методами, позволяющими определённым образом обрабатывать данные.

Контекст – организационная совокупность элементов данных и связей между ними, созданная в рамках информационной модели для группирования и представления (в т.ч. визуального отображения) необходимого состава информации с определённой целью.

ЭСИ используется для [5]:

- представления информации о составе изделия и об иерархии основных составных частей;
- представления интегрированной разнотипной информации о свойствах (характеристиках) изделия и его частей;
- представления информации о правилах применяемости и заменяемости (в том числе и взаимозаменяемости) частей;
- классификации и формирования обозначений изделия и его составных частей;
- управления разработкой изделия;
- документирования изменений в конструкцию изделия и его частей;
- получения текстовых документов на изделие и его части (детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты) в электронной и/или бумажной формах.

ЭСИ, как модель изделия, проходила проверку при проведении компьютерных экспериментов по формированию заявления о соответствии оборонной продукции космической ракеты-носителя «Союз-2» поставляемой по государственному оборонному заказу, требованиям государственного заказчика. Компьютерный эксперимент с имитационной моделью (заявление) обладал преимуществами перед натурным экспериментом и представлял собой процесс использования модели с целью получения и анализа интересующей информации о свойствах моделируемой системы [6, 7, 8].

Использование ЭСИ является одним из основных технологических вопросов от решения которого зависит удобство работы с системой ее функциональная привлекательность, «дружественность» по отношению к пользователям информационных ресурсов ЕВЭП.

Формирование ЭСИ по конструкторским документам, выполненным с помощью САПР или PDM – систем, является одной из функций этих систем и используется при создании электронной структуры изделия. Так в АО «ПКЦ «Прогресс» разработаны методики построения ЭСИ с использованием стандартных средств PDM Windchill [9, 10, 11]:

- ЭСИ создаётся конструктором ручным способом;
- ЭСИ создаётся конструктором в автоматизированном режиме из электронной модели сборки, разработанной в системе Creo Elements/Pro(Pro/ENGINEER).

ЭСИ является основной единицей хранения данных об изделии и создаётся на основе трех объектов PDM Windchill – «Документ», «CAD-Документ» и «Деталь» – имеющая два представления. Конструктивное представление (Design) содержит состав и документацию на изделие, разработанную сотрудниками тематического и конструкторского подразделения. Другое представление – технологическое (Manufacturing) формируется на основе первого представления и содержит данные об изделии, разработанные сотрудниками технологического подразделения предприятия. Следует отметить, что они могут изменяться независимо друг от друга, сохраняя при этом информационную связь между собой.

На основе ЭСИ в PLM Windchill формируются объекты «Конфигурация изделия» и «Экземпляр изделия».

Многообразие электронных документов, моделей сборок в составе которых зачастую определены не все части, входящие в конструкторские спецификации, а также сложность или отсутствие механизмов координации процесса формирования единой (интегрированной) ЭСИ в процессе проектирования ЭСИ составных частей изделия группой разработчиков, вынуждает искать новые (более простые и технологичные) подходы к построению консолидированной электронной структуры изделия (конструктивной и функциональной).

При этом основной целью таких разработок является необходимость создания унифицированного описания (внутреннего стандарта) ЭСИ для использования прикладными сервисами ЕВЭП, поддержания процедур версионирования ЭСИ и синхронизации между программными компонентами ЕВЭП [12, 13].



Кроме того, формируемые промышленными автоматизированными системами ЭСИ доступны только программным модулям, разработанным конкретным производителем, и в целях интеграции их в АС других производителей, потребуются серьезные доработки [14, 15, 16, 17, 18, 19].

В рамках ЕВЭП рассматриваются две основные разновидности ЭСИ: конструктивная и функциональная.

Конструктивная ЭСИ предназначена для отображения конкретных технических решений, определяющих конструкцию комплексов, сборочных единиц и комплектов.

Функциональная ЭСИ предназначена для определения назначения изделия и его составных частей.

Поскольку ЭСИ предусматривает активное взаимодействие с интерфейсами, предоставляемыми 3D моделями изделия, на этапе создания ЭСИ должны использоваться описания и спецификации 3D моделей (их степень детализации, связь с конструкторскими спецификациями, структуры, иерархия, состав 3D примитивов, среды разработки, поддерживаемые 3D движки, предоставляемые интерфейсы и пр.). Предусмотрено формирование 3D модели изделия в формате 3ds.

Исходными данными для формирования ЭСИ различного назначения является состав изделия, приведенный в конструкторских спецификациях, а также правила классификации и кодирования составных частей изделия и документации.

Технология формирования конструктивной ЭСИ основывается на использовании промежуточных файлов состава изделия, сформированных на основе конструкторской документации, с указанием уровня вхождения (иерархии) составных частей и включает следующие этапы:

- формирование электронного описания ЭСИ с использованием пакета LibreOffice (ods файлы). Электронный документ представляет совокупность служебных данных и информации о структуре и иерархии составных частей электронной структуры изделия, оформленные в виде набора страниц. Первая страница документа (служебная) содержит перечень определений, базовых элементов кодификации составных частей и функциональных модулей изделия, а также ссылки на соответствующие XML файлы ЭСИ. Вторая (информационная) - формализует структуру и иерархию СЧ ЭСИ космической ракеты-носителя «Союз-2».

- насыщение (дополнение, корректировка) конструктивной ЭСИ контекстом, связанным с конструкторской документацией. Представление информации о ЭСИ предполагает формирование следующих данных по каждой функциональной системе и составной части изделия: код уровня иерархии ЭСИ; код ЭСИ; обозначение составной части или системы; наименование составной части или системы;

- расширенный формат предполагает дополнительный информационный контент по составным частям ЭСИ – атрибуту соответствующей конструкторской и эксплуатационной документации: наименование конструкторского документа; обозначение конструкторского документа; тип формата документа; наименование и размещение соответствующего файла;

- выполнение процедуры автоматической кодификации составных частей изделия с использованием макроса кодогенерации и в соответствии с шаблоном: «Индекс изделия. Код функционального модуля. Код конструктивного элемента. Иерархия...»

- верификация и преобразование сформированных данных в формат XML с использованием разработанных программы-конвертера и мета-схемы (XSD схемы);

- построение единого контекста ЭСИ, с включением созданных модулей описания основных составных частей изделия.

Сформированный сводный контекст ЭСИ (обменный Xml файл) предназначен для загрузки электронной структуры изделия «Союз-2» в комплекс программных компонент электронного архива долговременного хранения данных ЕВЭП и используется как элемент навигации, комплектования и доступа к информации ЕВЭП для всех организаций и подразделений кооперации.

Таким образом, сформирована модель ЭСИ, на основе которой представляются данные в ЕВЭП космической ракеты-носителя «Союз-2».

## Литература

1. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
2. *Майданович О.В.* Новая интеллектуальная информационная технология мониторинга состояния и управления космическими средствами в реальном масштабе времени // Сборник трудов XXVII Межведомственной научно-технической конференции космодрома Плесецк «Научно-технические аспекты совершенствования эксплуатации существующих и испытаний перспективных образцов ракетно-космической техники в современных условиях» (Космодром «Плесецк». 2010 г.). Плесецк, 2010. С. 39-44.
3. *Охтилев М. Ю., Чуприков А. Ю., Ничипорович О. П., и др.* Унифицированная информационная технология мониторинга динамически изменяющихся состояний космических средств и средств НКУ на основе измерительной информации и представления его результатов на индивидуальных и коллективных средствах отображения // *Авиакосмическое приборостроение*. 2007. № 5. С. 20-24.
4. Эскизный проект ЕВЭП КРН «Союз-2». Пояснительная записка. Кн. 1 «Назначение, принципы построения, технические характеристики, электронная структура изделия», БКМТ.466452.001ПЗ1. 280 с.
5. *Гамов В.Ю.* Единый виртуальный электронный паспорт РН «Союз-2» как элемент АСУ космическими комплексами. Научная сессия ГУАП: Сборник докладов, СПб, 5-6 апр., 2016. Ч. 2. Технические науки. С. 66-68.
6. *Гамов В.Ю.* Компьютерное моделирование: метод, указания. СПб.: РИЦ:ГУАП, 2014. 46 с.
7. *Гамов В.Ю.* Автоматизированные системы научных исследований. СПб.: РИЦ:ГУАП, 2015. 126 с.
8. *Гамов В.Ю., Кириллов И.С.* Исследование закономерностей автоматизации научных экспериментов с использованием модели объекта при проведении испытаний и мониторинга состояния ракеты космического назначения «Союз-2» // *Авиакосмическое приборостроение*. 2017. №8. С. 11-17.
9. *Черников А.Д., Охтилев М.Ю., Чуприков А.Ю.* Единый виртуальный электронный паспорт РН «Союз-2» как средство доступа к консолидированным данным по изделю на всех этапах жизненного цикла // Сборник трудов XXXI Межведомственной научно-технической конференции космодрома Плесецк «Развитие научно-технических аспектов методологии испытаний и эксплуатации с целью повышения эффективности применения существующих средств и систем экспериментально-испытательной базы». Космодром «Плесецк». 2015. С. 23-29.
10. *Ахметов Р.Н., Васильев И.Е., Капитонов В.А., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В.* Автоматизированная система управления подготовкой и пуском космодрома // *Авиакосмическое приборостроение*. 2015. №4. С. 3-54.
11. *Филатов А.Н., Никашина И.В., Комаров В.А.* Электронный технический документооборот конструкторской документации как основа единого информационного пространства предприятия аэрокосмической отрасли. Самара: ЦСКБ Прогресс, 2013.
12. *Васильев И.Е., Мигалин В.Н., Миняева М.В.* Автоматизированная система управления заданиями проекта «Единый виртуальный электронный паспорт рн «Союз-2» // Сборник трудов XXXII Межведомственной научно-технической конференции космодрома Плесецк «Развитие научно-технических аспектов методологии испытаний и эксплуатации с целью повышения эффективности применения существующих средств и систем экспериментально-испытательной базы» (Космодром «Плесецк»). 2016 г.). Плесецк, 2016. С. 27-30.
13. *Пеньков М.М., Петров Г.Д., Птушкин А.И.* Новые принципы построения системы эксплуатации космодромов // *Авиакосмическое приборостроение*. 2015. №4. С. 55-64.
14. *Sokolov B. V., Yusupov R.M., Okhtilev M.Yu., Maidanovich O.V.* Influence Analesis of Information Tehnologies on Progress in Control Systems for Complex OBJECTS // *Nev Trends in Information Tehnologies. Proceedings of International Conference Information-Interactijn-Intellect (iii2010)*. Varna, Bulgaria, June 23-27, Pp. 78-91.
15. *Sokolov B. V., Yusupov R.M.* Influence of Computer Science and Information Tehnologies on Progress in Theory and Control Systems for Complex Plants // *Keynote Papers of the 13<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*. Moscow, Russia, June 3-5, 2009. Pp. 54-69/
16. *Ivanov D., Sokolov B.* *Adaptive Supply Chan Management*. London: Springer, 2010. 269 p.
17. *Ivanov D., Sokolov B., Pavlov A.* Optimal distribution (re)planning in a centralized multi-stage supply network in the presence of the ripple effect // *European Journal of Operational Research*. 2014. Vol. 237. Iss. 2. Pp. 758-770.
18. *Information Tehnologies and Tools for Spac-Ground Monitoring of Natural and Tehnological Objects*. Riga Technical University, 2014. Editors: Y. Merkuryeva, B.Sokolov, V/Zelentsov. 110 p.
19. *Chaplicki J.M.* Terotechnology versus exploitation theory – some remarks // *Scientific problems of machines operation and maintenace*. 2008. № 2. Pp 45-59.

## ESTABLISHING A SINGLE VIRTUAL ELECTRONIC PASSPORT OF A SPACE-SOCKET-MOUNTER "SOYUZ-2": STAGES, CONCEPT AND PRINCIPLES OF CONSTRUCTION, MODEL OF THE ELECTRONIC STRUCTURE OF THE PRODUCT

**Mihail Yu. Okhtilev,**

St. Petersburg, Russian Federation  
oxt@mail.ru

**Vladislav Yu. Gamov,**

St. Petersburg, Russian Federation  
gamov@petrocometa.ru

**Andrei D. Chernikov,**

St. Petersburg, Russian Federation  
chernikov@petrocometa.ru

### ANNOTATION

The stages of creating a single virtual electronic passport of the «Soyuz-2» space launch vehicle are described. The goals and functional tasks, the results of design and development are presented. The model of the software of a single virtual electronic passport of the «Soyuz-2» space launch vehicle is described on the basis of a statement on the carrier's compliance with the requirements of a tactical and technical assignment. The concept and principles of construction, the basic principles of creating, deploying and using a single virtual electronic passport of the «Soyuz-2» space launch vehicle are presented. The electronic description of the product is represented by a single integrated model containing all the information about the product required at any stage of its product life cycle, and in the formation of each fragment of the model, unified means and methods of construction are used. It also implies the integrity of the entire model describing the product. The electronic structure of the product is represented by a model in the form of a "tree-like" structure containing parts, assembly units, kits and complexes that form the product composition, as well as information resources associated with each such component information resources of the single virtual electronic passport of the «Soyuz-2» space launch vehicle - Electronic data corresponding to the stages of the life cycle of the product. At the same time, electronic data contains all the necessary information characterizing the stages of production, testing, maintenance, operation of the product and are electronic documents of various formats, graphic (2D and 3D) objects, files with measurement results. It is shown that the electronic structure of the product is a general document consolidating all the technical data on the product and is intended for organizing information interaction between automated systems. Two main types of the electronic structure of the product are considered: constructive and functional.

**Keywords:** a single virtual electronic passport; Carrier rocket «Soyuz-2»; model; Electronic product description; Electronic structure of the product.

### Reference

1. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nye tehnologii monitoringa i upravleniya strukturnoj dinamikoj slozhnyh tehniceskikh ob'ektov* [Intellectual technologies for monitoring and managing the structural dynamics of complex technical objects]. Moscow: Science, 2006. 410 p. (In Russian)
2. Maidanovich O.V. Novaya intellektual'naya informacionnaya tehnologiya monitoringa sostoyaniya i upravleniya kosmicheskimi sredstvami v real'nom masshtabe vremeni [New Intelligent Information Technology for Monitoring the Status and Control of Space Facilities in Real Time]. *Sbornik trudov XXVII Mezhdzvedomstvennoj nauchno-tehnicheskoy konferencii kosmodroma Plesetsk «Nauchno-tehnicheskie aspekty sovershenstvovaniya `ekspluatacii suschestvuyuschih i ispytanij perspektivnyh obrazcov raketno-kosmicheskoy tehniki v sovremennyh usloviyah»* [Proceedings of the XXVII Interdepartmental Scientific and Technical Conference of the Plesetsk Cosmodrome "Scientific and technical aspects of improving the operation of existing and testing advanced rocket and space equipment in modern conditions", Cosmodrome Plesetsk, 2010]. Plesetsk, 2010. Pp. 39-44. (In Russian)
3. Okhtilev M.Yu., Chuprikov A.Yu., Nichiporovich O.P. and other. Unificirovannaya informacionnaya tehnologiya monitoringa dinamicheski izmenyayuschihsysa sostoyanij kosmicheskikh sredstv i sredstv NKU na

osnove izmeritel'noj informacii i predstavleniya ego rezultatov na individual'nyh i kollektivnyh sredstvakh otobrazheniya [Unified information technology for monitoring dynamically changing states of space vehicles and means of NKU on the basis of measurement information and presentation of its results on individual and collective display facilities]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation]. 2007.

No. 5. Pp. 20-24. (In Russian)

4. Draft design of the EEEP of the Soyuz-2 KRN. Explanatory note. Book. 1 "Purpose, principles of construction, technical characteristics, electronic structure of the product", BKMT.466452.001PZ1. 280 p.

5. Gamov V.Yu. Edinyj virtual'nyj `elektronnyj pasport RN «Soyuz-2» kak `element ASU kosmicheskimi kompleksami. Nauchnaya sessiya GUAP: [A universal virtual electronic passport of the Soyuz-2 LV as an element of the ASU by space complexes]. *Nauchnaya sessiya GUAP: Sbornik dokladov* [Scientific session of the SUGA: Reports, Saint-Petersburg, 5-6 April, 2016]. Saint-Petersburg, 2016. Pt. 2. Technical sciences. Pp. 66-68. (In Russian)

6. Gamov V.Yu. *Komp'yuternoe modelirovanie: metod. ukazaniya* [Computer modeling: method. Instructions]. Saint-Petersburg: RIC: GUAP, 2014. 46 p. (In Russian)

7. Gamov V.Yu. *Avtomatizirovannye sistemy nauchnyh issledovanij* [Automated systems of scientific research. Saint-Petersburg: RIC: GUAP, 2015. 126 p. (In Russian)

8. Gamov V.Yu., Kirillov I.S. Issledovanie zakonomernostej avtomatizacii nauchnyh `eksperimentov s ispol'zovaniem modeli ob`ekta pri provedenii ispytanij i monitoringa sostoyaniya rakety kosmicheskogo naznacheniya «Soyuz-2» [Investigation of the laws of automation of scientific experiments using the object model during testing and monitoring the state of the Soyuz-2 rocket]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace instrumentation]. 2017. No. 8. Pp. 11-17. (In Russian)

9. Chernikov A.D., Okhtilev M.Yu., Chuprikov A.Yu. Edinyj virtual'nyj `elektronnyj pasport RN «Soyuz-2» kak sredstvo dostupa k konsolidirovannym dannym po izdeliyu na vseh `etapah zhiznennogo cikla [A single virtual electronic passport of Soyuz-2 as a means of access to consolidated data on the product at all stages of the life cycle]. *Sbornik trudov XXXI Mezhvedomstvennoj nauchno-tehnicheskoy konferencii kosmodroma Plesetsk «Razvitie nauchno-tehnicheskikh aspektov metodologii ispytanij i `ekspluatacii s cel'yu povysheniya `effektivnosti primeneniya suschestvuyuschih sredstv i sistem `eksperimental'no-ispytatel'noj bazy»* [Proceedings of the XXXI Interdepartmental Scientific and Technical Conference of the Plesetsk Cosmodrome "Development of scientific and technical aspects of the testing and operation methodology with the aim of increasing the effectiveness of the application Existing facilities and experimental-test base systems ". Cosmodrome Plesetsk, 2015]. Plesetsk, 2015. 276 p. Pp. 23-29. (In Russian)

10. Akhmetov R.N., Vasiliev I.E., Kapitonov V.A., Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya podgotovkoj i puskom kosmodroma [Automated control system for the preparation and launch of the cosmodrome]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrumentation]. No. 4. 2015. (In Russian)

11. Filatov A.N., Nikashina I.V., Komarov V.A. *Elektronnyj tehniceskij dokumentooborot konstruktorskoj dokumentacii kak osnova edinogo informacionnogo prostranstva predpriyatiya a`erokosmicheskoy otrasli* [Electronic technical document flow of design documentation as the basis of a single information space of an aerospace industry]. Samara: TsSKB\_Progress, 2013. (In Russian)

12. Vasiliev IE, Migalin VN, Minyaeva MV Avtomatizirovannaya sistema upravleniya zadaniyami proekta «Edinyj virtual'nyj `elektronnyj pasport rn «Soyuz-2» [Automated project management system for the project "Single virtual electronic passport rn" Soyuz-2]. *Sbornik trudov XXXII Mezhvedomstvennoj nauchno-tehnicheskoy konferencii kosmodroma Plesetsk «Razvitie nauchno-tehnicheskikh aspektov metodologii ispytanij i `ekspluatacii s cel'yu povysheniya `effektivnosti primeneniya suschestvuyuschih sredstv i sistem `eksperimental'no-ispytatel'noj bazy»* [Proceedings of the XXXII Interdepartmental Scientific and Technical Conference of the Plesetsk Cosmodrome "Development of scientific and technical aspects of the testing and operation methodology in order to improve the efficiency of the use of existing facilities and systems of experimental and test Base ". Cosmodrome Plesetsk, 2016]. Plesetsk, 2016. Pp. 27-30. (In Russian)

13. Penkov MM, Petrov GD, Ptushkin AI New principles for building a system for the operation of cosmodromes // *Aerospace Instrumentation*. 2015. No. 4. Pp. 55-64. (In Russian)

14. Sokolov B. V., Yusupov R.M., Okhtilev M.Yu., Maidanovich O.V. Analiz vliyaniya informacionnyh tehnologij na razvitie sistem upravleniya slozhnymi ob`ektami [Influence Analasis of Information Tehnologies on Progress in Control Systems for Complex OBJECTS]. *Nev Trends in Information Tehnologies. Proceedings of International Conference Information-Interactijn-Imtellect (iii2010)*. Varna, Bulgaria, June 23-27. Pp. 78-91. (In Russian)

15. Sokolov B. V., Yusupov R.M. Vliyanie informatiki i informacionnyh tehnologij na razvitie teorii i sistem upravleniya slozhnymi ustanovkami [Influence of Computer Science and Information Tehnologies on Pro-

gress in Theory and Control Systems for Complex Plants] *Osnovnye doklady 13-go simpoziuma IFAK po problemam informacionnogo upravleniya v proizvodstve* [Keynote Papers of the 13<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Moscow, June 3-5, 2009]. Moscow, 2009. Pp. 54-69. (In Russian)

16. Ivanov D., Sokolov B. *Adaptivnoe Upravlenie Cepochkami Postavok* [Adaptive Supply Chain Management]. London: Springer, 2010. 269p. (In Russian)

17. Ivanov D., Sokolov B., Pavlov A. Optimal'noe pereplanirovanie raspredeleniya v centralizovannoj mnogostupenchatoj seti pitaniya pri nalichii volnovogo `effekta [Optimal distribution (re)planning in a centralized multi-stage supply network in the presence of the ripple effect]. *Evropejskij zhurnal operativnyh issledovanij* [European Journal of Operational Research]. 2014. Vol. 237. Iss. 2. Pp. 758-770. (In Russian)

18. Merkuryeva Y., Sokolov B., Zelentsov V. (Ed.) *Informacionnye tehnologii i sredstva nazemno-kosmicheskogo monitoringa prirodnyh i tehnologicheskikh ob`ektov* [Information Technologies and Tools for Space-Ground Monitoring of Natural and Technological Objects]. Riga Technical University, 2014. 110p. (In Russian)

19. Chaplicki J.M. Teoriya Terotechnology protiv `ekspluatacii - nekotorye zamechaniya [Terotechnology versus exploitation theory – some remarks] *Nauchnye problemy `ekspluatacii i tehničeskogo obsluzhivaniya mashin* [Scientific problems of machines operation and maintenance]. 2008. No. 2. Pp. 45-59. (In Russian)

#### Information about authors:

Okhtilev M.Yu., PhD, professor, interim general director Open Joint-Stock Company "Research and Experimental Center of Intellectual Technologies "Petrocometa " State Corporation "Rostekh",  
Gamov V.Yu., PhD, Director of the Department of Testing and Operation Open Joint-Stock Company "Research and Experimental Center of Intellectual Technologies" Petrocometa " State Corporation "Rostekh",  
Chernikov A.D., Chief of department Open Joint-Stock Company "Research and Experimental Center of Intellectual Technologies" Petrocometa " (OJSC NIO CIT Petrocometa) State Corporation "Rostekh".