

Использование подходов «непрерывного инжиниринга» при адаптации приемных комплексов РК-СМ-МКА для размещения на борту КА «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2

А. А. Романов¹, А. А. Романов², Н. Н. Булгаков, А. Н. Ершов, А. С. Колобаев

^{1,2}д. т. н., профессор

АО «Российские космические системы»

e-mail: Romanov@spacecorp.ru, Romanov_AIAI@risde.ru

Аннотация. В работе приводятся результаты применения подходов «системного инжиниринга», а точнее, его относительно нового направления — «непрерывный инжиниринг» при организации проведения работ по адаптации комплекса поиска и спасения на борту космического аппарата типа «Метеор-М». Предлагается описание методики управления проектом адаптации аппаратуры комплекса поиска и спасения (изделие РК-СМ-МКА) для ее размещения на борту КА «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2, а также обсуждаются результаты ее применения.

Показано, что создание отдельного блока преобразования интерфейсов позволило разместить бортовой радиотехнический комплекс аппаратуры в максимально короткие сроки, тем самым обеспечив директивные сроки запуска космического аппарата.

Ключевые слова: системный инжиниринг, управление проектами, V-диаграмма, фазы жизненного цикла, непрерывная верификация, непрерывный инжиниринг

Continuous Engineering Approaches in RK-SM-MKA Adaptation for Meteor-M No. 2-1 and 2-2 Spacecrafts

A. A. Romanov¹, A. A. Romanov², N. N. Bulgakov, A. N. Ershov, A. S. Kolobaev

^{1,2}doctor of engineering science, professor

Joint Stock Company “Russian Space Systems”

e-mail: Romanov@spacecorp.ru, Romanov_AIAI@risde.ru

Abstract. The paper gives the results of using the system engineering methods, more precisely, its relatively new trend — continuous engineering when performing adjustment of the search and rescue payload of the Meteor-M type. The article offers the description of the method for project management aimed at adaptation of the search and rescue complex (item RK-SM-MKA) for installation on board of the Meteor-M No. 2-1 and No. 2-2 spacecraft. The results of its application are also discussed.

It is shown, that building of a separate unit for interfaces transformation made it possible to install the onboard radio engineering complex of the equipment as soon as possible, thus having provided the scheduled time for the spacecraft launch.

Keywords: system engineering, project management, V-diagram, life cycle phases, continuous verification, continuous engineering

Введение

На сегодняшний день можно констатировать, что закон Мура все еще выполняется, то есть количество транзисторов в процессорах возрастает в 2 раза в течение двух лет. Естественным следствием этого закона является постоянное усложнение изделий различного назначения, использующее возрастающие возможности электронной компонентной базы.

В настоящее время сложность изделий космической техники также серьезно возросла. Кроме того, постоянно ужесточаются требования к изделиям с точки зрения надежности, сроков активного существования и т.д. За рубежом примерно с 70-х гг. прошлого века при проектировании изделий различного назначения начали формироваться подходы системного инжиниринга [1] (которые в настоящее время постепенно внедряются в России), жестко регламентирующие фазы жизненного цикла создания изделия в комплексе с процедурами контроля каждого из этапов, а также верификации и валидации выходных продуктов. Формируются специальные визуальные программные среды и языки объектного программирования [2], которые позволяют упростить процесс системного проектирования изделий или создания сложных систем.

На основе указанного базиса уже в настоящее время формируется множество дополнительных подходов, позволяющих повысить эффективность решения задач, возникающих при проектировании новых изделий. В рамках настоящей работы предлагается рассмотреть вопросы применения подходов «непрерывного инжиниринга» [3,4] при решении задачи адаптации комплекса поиска и спасания (изделие РК-СМ-МКА) для его установки на борт космических аппаратов серии «Метеор-М».

Непрерывный инжиниринг (НИ) предлагает методики развития предприятий для успешной разработки инновационных продуктов с постоянно растущей сложностью и связностью с учетом актуальных (или постоянно меняющихся) требований потребителя и рынка. НИ не является общей заменой подходов системного инжиниринга или существующих методик управления проектами. В рамках методик НИ происходит пересмотр ключевых

подходов управления проектами путем внедрения таких мероприятий, как непрерывная верификация, разблокирование инженерных знаний и стратегическое повторное использование результатов уже проведенных разработок.

Комплекс РК-СМ-МКА предназначен для приема и обработки сигналов радиобуев системы КОСПАС-САРСАТ [5,6] и был первоначально разработан для размещения на КА «Стерх» и «Обзор-О», которые, в соответствии с международными обязательствами Российской Федерации в рамках Программы КОСПАС-САРСАТ [7], должны были быть запущены на орбиту, составив основу российского низкоорбитального сегмента. В 2015 г. из-за закрытия проектов «Стерх» и «Обзор-О» было принято решение установить РК-СМ-МКА на борт космических аппаратов «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2 при условии обеспечения запуска указанных аппаратов не позднее 2017–2018 гг.

С учетом того, что сроки адаптации комплекса для запуска космических аппаратов были крайне сжатыми, при планировании работ по этому проекту было предложено воспользоваться подходами «Continuous Engineering» — «непрерывного инжиниринга», позволяющими обеспечить своевременную поставку аппаратуры на головное предприятие.

Таким образом, в рамках настоящей работы предлагается описание методики управления проектом адаптации аппаратуры РК-СМ-МКА для ее размещения на борту КА «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2, а также обсуждаются результаты ее применения.

Непрерывный инжиниринг

В настоящее время широко используется системный подход к проектированию сложных изделий, получивший название «системный инжиниринг». В рамках подхода системного инжиниринга все аспекты разработки продукта рассмотрены с самого начала процесса проектирования и последовательно применяются для непрерывного улучшения создаваемого продукта [1].

Очевидно, что в случае адаптации изделия, изначально предназначенного для другого космического аппарата, с учетом требований новой плат-



Рис. 1. V-диаграмма в представлении НИ [3]

формы КА необходимо начать проектирование с самой начальной точки — пересмотреть и изменить (при необходимости) базовые требования к изделию. Однако в таком случае становится понятным, что, возможно, будет необходимо осуществить полный цикл переработки комплекса, что потребует значительного времени и финансовых ресурсов.

Известный физик современности Стивен Хокинг сказал: «Интеллект — это способность адаптироваться к изменениям». Соответственно необходимо найти такой подход к процессу разработки продукции, который бы по крайней мере не отвергал изменения на различных стадиях проектирования продукта [3].

Подобный подход под названием «непрерывный инжиниринг» представила IBM в 2014 г. Он виделся специалистам корпорации как способность предприятия развивать сложные электронные продукты, создаваемые в интересах функционирования и развития подходов концепции интернета вещей (IoT) [4]. «Непрерывный инжиниринг» создавался на основе более чем 25-летнего опыта IBM, которая предлагала решения в рамках концепции системного инжиниринга и разработки встроенного программного обеспечения для различных производителей, включая производителей из аэрокосмической промышленности [8].

НИ представляет логическое развитие подходов системного инжиниринга. Он сохраняет фоку-

сирование на систему, уровни абстракции и основные процессы, которые формируют базис системного инжиниринга, но добавляет новый взгляд на то, как действия соединяются между собой [3].

В рамках непрерывного инжиниринга V-диаграмма процесса разработки продукта или системы (рис. 1) больше не представляет собой последовательную серию шагов, наоборот, она предполагает выполнение действий, которые осуществляются итеративно (и с большой вероятностью параллельно) через весь процесс разработки продукта, а также связывает действия и соединения между инжиниринговыми, операционными и маркетинговыми данными [3].

Основная идея НИ состоит в сокращении дистанции между текущими планами разработки и актуальными (или вновь возникшими) требованиями, предъявляемыми к продукту.

Как уже было сказано выше, принципиальным отличием подходов НИ от традиционных подходов к проектированию изделий является его направленность на учет постоянно меняющихся требований к продукту, поскольку коммерческий успех продукта существенно определяется требованиями рынка, которые подвержены серьезным вариациям. Применяемые в НИ методики, при условии возникновения расхождений между технической реализацией изделия и требованиями к нему в процессе непрерывного процесса верификационного

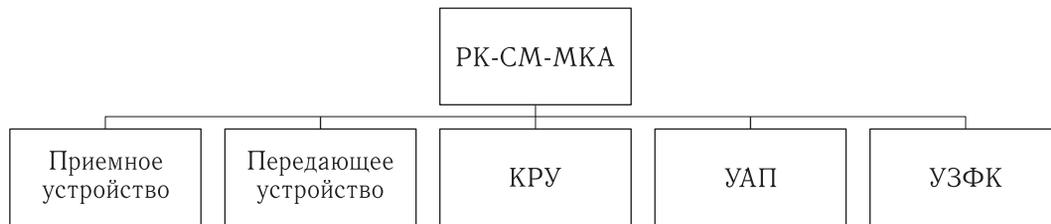


Рис. 2. Структурная схема комплекса РК-СМ-МКА

тестирования, можно будет своевременно изменить дизайн продукта непосредственно тогда, когда это необходимо.

Для того чтобы быть максимально готовым к постоянным изменениям требований, был предложен механизм (и его преимущество состоит в том, что он не выходит за рамки подходов системного инжиниринга) повторного использования разработанных продуктов или их составных частей. Более того, подобный подход может оказаться крайне эффективным для адаптации уже существующих продуктов или изделий к изменившимся условиям их использования.

Простой пример, который приведен в [3]. Если программный продукт в подсистеме продукта «Б» выполняет практически те же функции, что и в подсистеме продукта «А», может показаться, что необходимо просто скопировать программный код продукта «А» и модифицировать его для удовлетворения требований к подсистеме продукта «Б».

На первый взгляд, предложенный механизм выполнения задачи позволит ускорить процесс адаптации. Однако если код продукта «А» будет просто скопирован и изменен для использования в рамках продукта «Б», последний продукт становится собственником модифицированного кода и все верификационные тесты с этим ПО должны будут проводиться в рамках проверки продукта «Б». Нельзя просто принять, что результаты верификации кода продукта «А» применяются к продукту «Б», поскольку код продукта «А» был изменен. Более того, если найден дефект в коде продукта «А», будет сложно установить, устранен ли этот дефект в коде продукта «Б» или наоборот без проведения соответствующих работ для коррекции программного обеспечения каждого из продуктов. То есть в любом случае придется проводить работы по устранению этого дефекта дважды. Следова-

тельно, эффективность указанного решения явно невысока.

Именно с этой точки зрения более эффективно пойти путем заимствования ранее созданных продуктов. Если при разработке подсистемы продукта «А» известно, что подсистемы продукта «Б» требуют примерно аналогичной функциональности, можно создать технические или конструкторские решения таким образом, чтобы продукт «Б» использовал части дизайна продукта «А» системно, то есть включая требования, программы испытаний, программное обеспечение и прочие элементы — без модификаций. В этом случае определенные составные части продукта «А» просто внедряются в дизайн продукта «Б» и, как видно из изложенного выше, подобный подход повторного использования результатов предшествующих разработок будет существенно эффективнее.

В соответствии с НИ необходимо принципиально разделить понятия «создание инновационного продукта или изделия» и «разработка базовых элементов или технологий». Инновационный продукт должен производиться с максимальным заимствованием уже созданных технологий или элементов, которые обеспечат ему конкурентные преимущества на коммерческом рынке.

Процесс конструирования базовых технологий должен проходить независимо и в опережение создания потребительских продуктов, четко ориентируясь на нужды потребителей или рынка в целом.

Описание комплекса РК-СМ-МКА

Комплекс РК-СМ-МКА (рис. 2) представляет совокупность приборов различного назначения: приемное устройство, передающее устройство, командно-распределительное устройство (КРУ),

устройство антенный переключатель (УАП), а также устройство записи и формирования кадра (УЗФК), которое готовит информацию для передачи в передающее устройство комплекса.

Собственно, основная проблема при адаптации комплекса РК-СМ-МКА, возникающая при размещении его на борту КА типа «Метеор», — необходимость преобразования интерфейсов обмена телеметрической и командной информацией путем модификации или новой разработки прибора УЗФК из состава комплекса под новые требования с учетом изменившейся платформы космического аппарата. В любом случае, поскольку документация на комплекс была ранее полностью верифицирована и была получена литер «О», подобные изменения аппаратуры комплекса привели бы к необходимости повторного цикла наземной отработки изделия.

Описание предлагаемой методики

При установке изделий космического назначения на космические аппараты, изначально не предназначенные для размещения вышеупомянутых комплексов, как правило, возникает необходимость внесения существенных изменений в конструкцию уже готового изделия, в силу уникальности отдельно взятой космической платформы. Вопросы унификации являются крайне важным аспектом современного космического приборостроения, которому, наконец, начали уделять необходимое внимание [9], но они не предлагаются к подробному рассмотрению в рамках настоящей статьи.

Изменения конструкторской документации при адаптации комплексов вызываются в том числе потенциальными изменениями требований по компоновке, интерфейсам аппаратуры, а также стойкости к воздействию внешних воздействующих факторов космического пространства.

Следовательно, при планировании и осуществлении необходимых доработок, как правило, начинают с изменения существующей документации и проводят модернизацию составных частей комплекса под изменившиеся требования, что, как следствие, приводит к повторению всей процедуры наземной экспериментальной отработки не только модернизированных составных частей, но и ком-

плекса в целом. К сожалению, процессы отработки занимают очень значительное время и требуют значительных финансовых ресурсов.

В силу сложившейся практики при проектировании космического аппарата антенно-фидерный комплекс входит в радиотехнический комплекс функционально, поэтому разрабатывается и изготавливается производителем космической платформы. Именно поэтому в рамках этой работы не рассматриваются вопросы создания антенно-фидерного комплекса, а приведены только аспекты разработки бортовой аппаратуры.

При адаптации РК-СМ-МКА на борту КА типа «Метеор-М» возникла необходимость изменения конструкторской документации в части длин и структуры кабельной сети комплекса (в силу переконфигурации изделия для размещения на борту новой платформы), введения дополнительных защитных кожухов для некоторых приборов, удовлетворяющих более жестким требованиям по внешним воздействующим факторам (ВВФ) с учетом изменившейся высоты орбиты. Кроме того, самой серьезной проблемой при решении указанной задачи являлась необходимость существенной переработки интерфейса РК-СМ-МКА в целях взаимодействия со служебными подсистемами космического аппарата.

Наиболее очевидным решением в создавшейся ситуации стало осуществление доработки прибора УЗФК, осуществляющего информационный обмен при получении команд от космического аппарата и передачу целевой информации в радиолинию. Необходимо учитывать, что комплекс РК-СМ-МКА изготавливался по «литерной» документации в рамках серийного производства. При условии принятия решения о доработке прибора УЗФК, учитывая серьезность доработок не только приборов бортового комплекса, но и приборов контрольно-проверочной аппаратуры, с большой вероятностью пришлось бы повторить циклы наземной экспериментальной отработки для подтверждения коррекций «литерной» документации.

В соответствии с договорными документами на комплекс РК-СМ-МКА полный цикл испытаний и прочих необходимых работ составляет около 24 месяцев, что не удовлетворяло срокам поставки аппаратуры, требуемых изготовителем платформы,

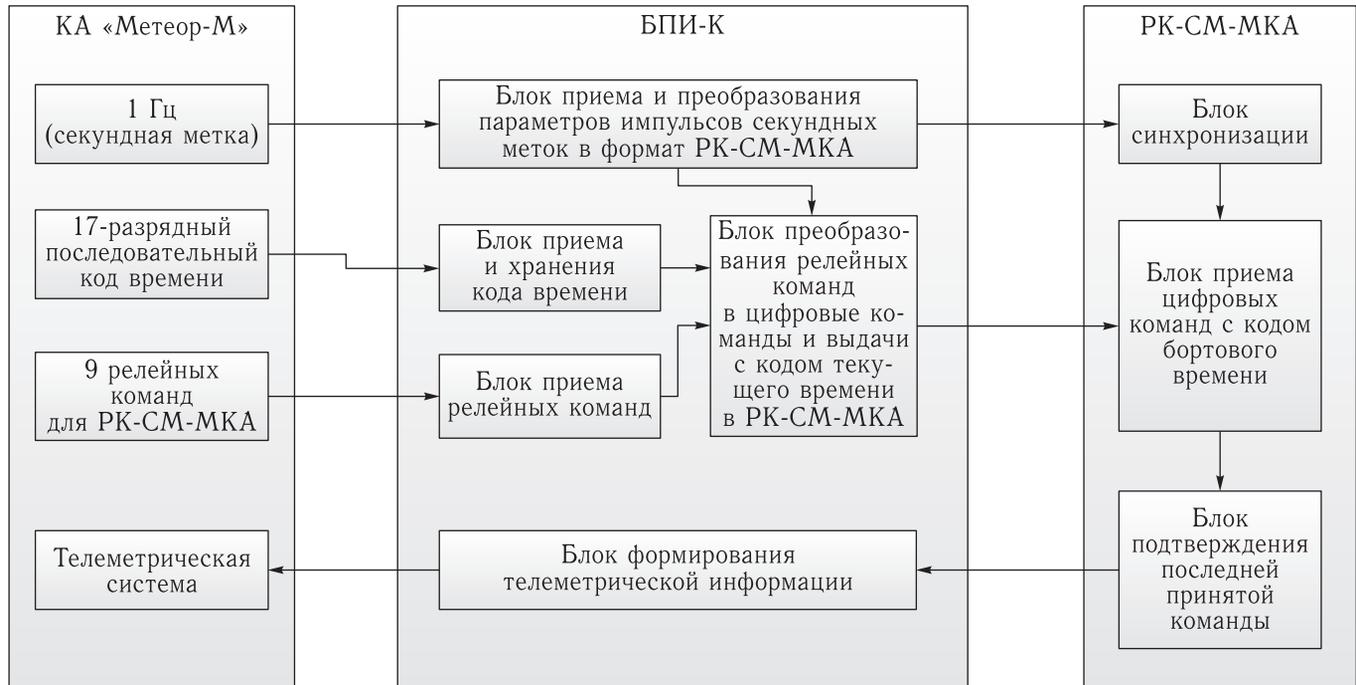


Рис. 3. Схема функционирования БПИ-К

с учетом сжатых сроков запуска космического аппарата.

Поэтому, в соответствии с подходами НИ, было принято решение не модифицировать комплекс РК-СМ-МКА в части изменения функциональности его приборов и поставлять РК-СМ-МКА в неизменном виде.

Для обеспечения адаптации комплекса была начата разработка специального и относительно простого прибора, выполняющего крайне узкую функцию преобразования интерфейсов, который бы обеспечил передачу команд на комплекс РК-СМ-МКА, а также вывод информации из комплекса в служебные системы платформы аппарата.

Описание блока преобразования интерфейсов

Блок преобразования интерфейсов (БПИ-К) представляет собой отдельный блок, в состав которого входят два независимых комплекта, основной и резервный, включенных по схеме ненагруженно (холодного) резервирования, что обеспечивает соответствующий требованиям уровень надежности.

БПИ-К осуществляет прием релейных команд последовательного 17-разрядного кода бортовой шкалы времени (БШВ) в формате бортового комплекса управления (БКУ) КА «Метеор-М» и преобразование в формат, обеспечивающий управление аппаратурой РК-СМ-МКА (рис. 3).

БПИ-К выполняет следующие функции:

- прием от БКУ КА «Метеор-М» секундной метки и передача ее с другими параметрами импульсов в РК-СМ-МКА;
- прием от БКУ КА «Метеор-М» раз в секунду последовательного 17-разрядного кода БШВ и сохранение его в буфере БПИ-К (при сохранении осуществляется перезапись предыдущего кода);
- прием от БКУ КА «Метеор-М» релейных команд и выдача в РК-СМ-МКА по интерфейсу RS232 информационного кадра (цифровой команды) с кодом принятой релейной команды и с кодом бортового времени, хранящегося в буфере БПИ-К;
- прием из РК-СМ-МКА квитанции о прохождении переданной команды;
- выдача в КА «Метеор-М» телеметрии о прохождении команды.

Результаты применения подходов НИ

Отказ от классической схемы выполнения работ в рамках подходов системного инжиниринга, готовность к гибкому изменению требований к системе или финальному продукту позволили существенно сократить сроки поставки аппаратуры. Так, срок изготовления блока преобразования интерфейсов (без учета сроков закупки комплектующих) составил не более 9 месяцев, включая циклы наземной экспериментальной отработки.

Принимая во внимание минимально необходимые доработки комплекса РК-СМ-МКА, аппаратуру поставили в сроки, обеспечивающие директивное время запуска космического аппарата. Предстоящий пуск КА «Метеор-М» № 2-1 очень важен, поскольку впервые за много лет на низкой околоземной орбите появится космический аппарат с полезной нагрузкой поиска и спасания, что позволит возобновить выполнение международных обязательств России перед программой КОСПАС–САРСАТ.

Кроме того, в рамках программы импортозамещения при проектировании аппаратуры блока преобразования интерфейсов были отработаны базовые технологии программирования и функционального использования электронной компонентной базы отечественного производства, которые в перспективе предполагается использовать в прочих разработках АО «Российские космические системы».

С учетом полученного опыта, разработанного программного обеспечения (как технологического, так и целевого), схемотехнических решений, методик испытаний ЭКБ и технологических оснасток применения отечественной электронной компонентной базы можно резюмировать, что был получен набор инженерных «артефактов», которые позволят повысить эффективность перспективных разработок приборов космического базирования, что особенно важно при применении отечественной ЭКБ.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что в сложившейся ситуации космическая отрасль как в Российской Федерации, так и в мире все более

теряет свои «драйверские» позиции по применению новейших технологий в приборостроении.

Учитывая бурное развитие рынков потребительской электроники, а также смену текущего технологического уклада и постоянное усложнение разрабатываемых изделий, становится понятным, что необходимо менять управленческие подходы к организации работ при проведении научных исследований и разработок по созданию космической техники, ориентируясь и адаптируя (бесспорно) опыт создания приборов для массового рынка.

Показано, что применение подходов «непрерывного инжиниринга», основанного на базовых принципах классического системного инжиниринга, может сократить время выполнения работ по адаптации аппаратуры РК-СМ-МКА для размещения на борту КА типа «Метеор-М».

Предложена методика управления проектом с использованием подхода стратегического повторного использования ранее выполненных разработок НИ. В соответствии с приведенной методикой было принято решение не модифицировать комплекс РК-СМ-МКА и осуществить поставку в соответствии с «литерной» документацией. Для осуществления необходимых изменений при адаптации изделия было предложено разработать относительно простой прибор, выполняющий существенно ограниченную функцию — преобразование интерфейсов.

В результате было обеспечено выполнение работ по адаптации комплекса поиска и спасания для его размещения на новом для него космическом аппарате в сроки, не превышающие 9 месяцев, с учетом необходимости принципиальной доработки интерфейсов взаимодействия со служебными подсистемами и полной перекомпоновки на борту космического аппарата.

Список литературы

1. Романов А. А. Прикладной системный инжиниринг. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 555 с.
2. Friedenthal S., Moore A., Steiner R. A Practical Guide to SysML. The system modeling language. Elsevier, 2008. 577 с.

3. *Shamieh C.* Continuous Engineering for Dummies. IBM Limited Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2014. 66 с.
4. Документ What is Continuous engineering // Электрон. дан. США, 2015. Заглавие с экрана. Режим доступа: <http://www.ibm.com>
5. *Урличич Ю.М., Макаров Ю.Ф., Селиванов А.С., Никушкин И.В., Рогальский В.И., Зурабов Ю.Г.* История создания и перспективы развития международной космической системы поиска и определения местоположения терпящих бедствие судов и самолетов КОСПАС–САРСАТ // Телекоммуникации и транспорт, 2012, № 4. С. 12–15.
6. *Урличич Ю.М., Макаров Ю.Ф., Селиванов А.С., Никушкин И.В., Рогальский В.И., Архангельский В.А., Зурабов Ю.Г.* Принцип действия и основные характеристики системы КОСПАС // Телекоммуникации и транспорт, 2012, № 4. С. 15–20.
7. Документ C/S P.001R // Электрон. дан. Канады, 1988. Заглавие с экрана. Режим доступа: <http://www.cospas-sarsat.int>
8. *Uckelmann D., Harrison M., Michahelles F.* An Architectural approach towards the future internet of things. Architecting the internet of things. Springer. IEEE World Forum, 2014. P. 89–93.
9. Космическое приборостроение России: объединение для прорыва // Электрон. дан. России, 2016. Заглавие с экрана. Режим доступа: <http://www.russianspacesystems.com/2016/10/04/kosmicheskoe-priborostroenie-rossii>