

Некоторые перспективные направления развития информационного обеспечения жизненного цикла сложных технических систем



В. Ю. Алексеева,
специалист по маркетингу
ОАО «Конструкторское
бюро специального
машиностроения»
_dk@bk.ru



Н. А. Пиликов,
генеральный директор
ООО «Инженерная компания
«Глосис-Сервис»
_dk@bk.ru



Д. К. Щеглов,
к. т. н., зам. начальника
расчетно-исследовательского
отделения – начальник
лаборатории информационных
технологий ОАО «Конструктор-
ское бюро специального
машиностроения»
_dk@bk.ru

Рассматриваются особенности применения методологии моделирования управления при построении системы информационного обеспечения жизненного цикла сложных технических систем нового поколения.

Ключевые слова: сложная техническая система, информационное обеспечение, жизненный цикл, моделирование, децентрализованное управление.

Обеспечение высокого качества и конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и мировом рынках требует от современных проектных организаций и промышленных предприятий создания принципиально *новых перспективных сложных технических систем* (СТС), способных быстро адаптироваться к изменяющимся внешним условиям [1]. Степень достижения этой цели зависит не только от эффективности применяемых проектно-конструкторских решений, технологий и материалов, но и в значительной степени от наличия системы оптимального управления *жизненным циклом* (ЖЦ) СТС, заложенной на стадии ее разработки. Необходимо отметить, что СТС всегда является ограниченным объектом в реальном физическом пространстве, то есть СТС имеет границы, и из всего множества объектов физического пространства выбирается только сознательно ограниченная часть, создающая требуемые свойства. Отсюда вытекает, что в физическом пространстве всегда есть внешние по отношению к СТС объекты.

Характерной особенностью систем управления СТС является наличие в ее составе таких важных компонентов как человек и расширяющий возможности человека компьютер, то есть, объекты, способные формировать внутри себя *виртуальные пространства* для отображения внешних объектов и управления их состоянием, как показано на рис. 1.

Человек является полноценным участником процесса создания СТС в разных ролях и, прежде всего,

обязательно в роли автора — субъекта, определяющего свойства СТС. Любая СТС создается им в реальном пространстве как инфраструктура связанных объектов под заданные целевые (необходимые) *свойства* и в соответствии с *системной моделью*. Системная модель определяет, как в инфраструктуре СТС реализуются целевые свойства, поставленные автором как основание для создания СТС. Сама системная модель является информационным объектом виртуального пространства и должна отслеживать состояние объектов СТС и вырабатывать команды воздействия на состояние объектов СТС в физическом пространстве R^h . Таким образом, свойства СТС, заложенные в ее модели, должны обязательно реализовываться «наружу» по отношению к внешним объектам глобального пространства или управляемым объектам.

Очевидно, что многие объекты пространства R^h взаимодействуют (в природе всегда что-то изменяется), но только определенная часть из всего множества объектов образует систему. В самом общем смысле *отличие системы от не системы заключается в создании человеком над некоторым подмножеством взаимодействующих объектов системной модели для этого множества*. Причем, человек создает модель сначала в своем ментальном пространстве H_m , только затем, при наличии возможности, перемещает созданную модель целиком или частями в информационное машинное пространство I_m .

Таким образом, системная модель является частью специального физического объекта в СТС — *системы*



Рис. 1. Типы пространств, образующих СТС

управления, которая должна быть оснащена информационным пространством для размещения объектов и процессором для их обработки. В пространстве системы управления СТС содержится системная модель, определяющая характер поведения СТС в глобальном пространстве. Системная модель может содержаться полностью в ментальном пространстве человека Hm (в случае полностью ручного управления), но может в процессе реализации свойств СТС подключать к себе в разной степени информационное машинное пространство Im , тем самым повышая *уровень автоматизации* в СТС, как, например, показано на рис. 2.

Принцип работы системной модели состоит в том, чтобы реализовать заложенный в ней *цикл управления*, представляющий собой процесс получения текущего состояния объектов управления, выработки решения на основе модели и далее выдачи управляющего воздействия («наружу») в вариативный исполнительный процесс. Очевидно, что исполнительный процесс нуждается в правильном указании: что и как исполнять, и виртуальное пространство с системной моделью необходимо как раз для случая, когда исполнительный процесс вариативен. Запуск этого процесса на исполнение в разных возможных режимах должен быть подчинен строгим правилам и ограничениям, которые обеспечивают реализацию цели. Отсюда понятно, что человек должен стремиться повышать качество системной модели или *интеллект модели* до уровня, когда все циклы управления перекладываются на автоматизированное



Рис. 3. Пример системы слежения по модели в режиме полной автоматизации

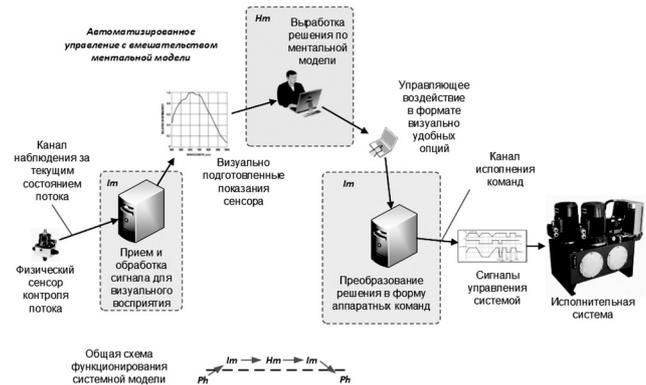


Рис. 2. Пример системы слежения за некоторым физическим потоком по модели, включающей человека как оператора

исполнение, и необходимость по человека, как оператора, в системе отпадет полностью (рис. 3).

Как видно из примера, приведенного на рис. 3, уровень автоматизации процесса слежения максимален — равен 100%, т. е. системная модель *неразрывна*. Случаи, когда человек обязан подключаться в процесс, приводят к разрыву процесса и разрывной системной модели, так как поток управления переходит из одного пространства в другое и обратно.

Следует подчеркнуть, что система управления реальными СТС гораздо сложнее, чем на схеме, представленной на рис. 3, но принципы ее создания не изменяются: есть объекты управления из пространства Ph , есть надстроенная часть с виртуальными пространствами в системе управления, содержащей системную модель, есть вариативный исполнительный процесс, запуск и мониторинг которого происходит по инструкциям, которые система управления вырабатывает на основе системной модели (рис. 4).

На рис. 4 показан пример единичного цикла управления, который сгенерировал инструкции в системной модели и вышел на их исполнение. Таких циклов в СТС может быть много, они могут исполняться оперативно, действовать последовательно и, таким образом, реализовывать модели управления в динамике, т. е. в формате *траекторий управления*.

Системная модель, состоящая полностью из информационных объектов, предполагает, что она может существовать только в составе информационной



Рис. 4. Пример СТС со схемой цикла управления и сложной системной моделью

системы (ИС), в структуре которой содержится самая ценная часть — некоторое, возможно сгенерированное эталонное состояние объекта управления. Иными словами, в системной модели заложены знания (на виртуальном уровне) о том, как надо направлять исполнительный процесс в каждом конкретном цикле управления на основе полученного состояния внешней среды. Соответственно, выдача управляющих воздействий наружу (на управляемые объекты) происходит на основе накопленного и сохраненного интеллекта модели. Таким образом, интеллект СТС заключается в ее способности вырабатывать правильную, с точки зрения автора СТС реакцию на состояние внешней среды.

Ценность СТС как создаваемого объекта для ее автора определяется обобщенным критерием, включающим целевую (необходимую автору) функциональность, то есть структуру, элементами которой являются требуемые заказчику СТС свойства и их ограничения. Именно эта целевая структура является основой для управления требованиями (УТ) к изделию, которое обычно оформляется как техническое задание (текстовый документ), по которому автор создает элементы СТС. Каждое свойство в структуре УТ представляет собой модель процесса, создающее полезное (необходимое, с точки зрения автора СТС) влияние на объекты окружения. Критерии должны также определять эксплуатационные факторы: насколько удобно и доступно для заказчика использование и эксплуатация СТС. Эталоны, используемые в пространстве системной модели СТС, являются основополагающими информационными объектами и формируют исключительно ценные ресурсы, для которых имеет смысл накопление знаний для их многократного использования в качестве *нормативных ресурсов* (НР). При этом НР представляют собой не только готовые статичные прототипы объектов-эталонов, но и правила их формирования (иногда это называют знаниями), то есть нормализованные объекты с динамикой, как правило реализуемые в программном обеспечении ИС.

В соответствии с современными методологиями системного анализа *ЖЦ СТС рассматривается как процесс создания, поддержки и развития целевых свойств СТС, исполняемых от момента выявления потребности в этих свойствах, создании и эксплуатации инфраструктуры обеспечения свойств до прекращения существования (утилизации последнего образца) СТС.* Под процессом ЖЦ СТС, в общем случае, будем понимать последовательность этапов, в ходе которых проектируются и создаются компоненты СТС, включая системную модель, оснащенную нормативными ресурсами, эксплуатацию СТС, реновационные циклы и утилизацию. Очевидно, что *реализация процесса ЖЦ СТС является свойством других обслуживающих систем — организационно-технических систем (ОТС)*, таких как научные и проектные организации, заводы, учебно-тренировочные учреждения и т. д., т. е. субъектами процесса, для которых этап ЖЦ клиентской СТС является предоставляемой услугой. Каждый субъект ОТС в роли исполнителя, в свою очередь, должен располагать соответствующими подсистемами для декомпозиции исполнения своей услуги до уровня

функции конкретного человека — специалиста или простого оператора.

Управление ЖЦ СТС со стороны каждого субъекта процесса можно представить в виде комплекса мероприятий (технических и бизнес-процессов), направленных на минимизацию времени и ресурсов, необходимых для эффективного функционирования СТС на каждом этапе ее ЖЦ. Объектами управления в рамках проводимых мероприятий могут являться подсистемы (или элементы) СТС и системы, обслуживающей эту СТС – ОТС, а также ключевые показатели технических и бизнес-процессов этих систем. При этом управляющие воздействия формируются в рамках соответствующих циклов управления СТС и ОТС (персоналом, цепочками поставок, техническим состоянием, запасами элементов замены оборудования и т. д.).

Циклы управления ЖЦ СТС объединяет единый цикл управления текущим состоянием СТС, который традиционно называют *системой информационного обеспечения ЖЦ изделия*, содержащей системную модель управления. Качество этой системы в значительной степени зависит от эффективности применяемых в ней систем мониторинга, информационных, коммуникационных технологий, но, главным образом, от интеллекта системной модели.

Современные технологии информационной поддержки ЖЦ наукоемких изделий (т. е. СТС), в том числе CALS-технологии [2], предъявляют к системам информационного обеспечения весьма жесткие требования (в части полноты, достоверности, своевременности и непрерывности потока информации). С другой стороны, решения в области информационной поддержки ЖЦ отечественной продукции традиционно регламентируются в форме бумажно ориентированных документов. Сохраняющаяся ориентированность на бумажные документы означает, что НР представлены в текстовой форме, рассчитанной на чтение человеком, а значит предусматривают ручной процесс управления или *разрывную системную модель* и представление эталонов в форме читаемых человеком документов.

При этом очевидно, что уже на начальных стадиях ЖЦ вновь разрабатываемых СТС инженеры работают с моделями в системах виртуального трехмерного параметрического моделирования не только деталей и узлов, но и элементов технологических процессов. Кроме этого, современные тенденции в проектировании и производстве характеризуются активным использованием в новых разработках унифицированных элементов конструкций — отработанных и проверенных конструкторско-технологических решений. Это все примеры элементов-эталонов системной модели. Унификация предполагает наличие в составе проектируемой СТС высокого процента стандартизованных прототипов, расчетов и технологий, нормализованных (стандартных) и серийно изготавливаемых деталей, конструктивных элементов. Налицо явное отставание системы стандартизации от требований *модельно-центричного проектирования и управления* на основе компонентов в формате виртуальных моделей-эталонов.

Таким образом, сокращение сроков создания новых и модернизации существующих СТС, повышение

их качества и надежности, снижение производственных затрат могут быть достигнуты за счет преодоления влияния традиционных бумажных, то есть документоцентричных технологий и внедрения более продуктивных технологий организации ЖЦ СТС на основе системных моделей, включающих стандартизованные компоненты-эталонные. Широкое внедрение моделей компонентов в формате виртуальных центров НР в глобальной сети является исключительно важным резервом повышения производительности и качества СТС.

Поддержка процесса эксплуатации является не менее важной в рамках рассматриваемого подхода процессом, чем процессы разработки и производства. Эффективная система информационного обеспечения эксплуатации СТС должна содержать в своем составе как функциональную модель изделия в реальной среде (как объект функционирует штатно, как обрабатывает нештатные ситуации), так и эксплуатационную модель (профилактика, ремонт, модернизация, утилизация). Поскольку объекты пространства Ph все в большей степени представлены в виртуальном пространстве, требуется поддержка практически всех видов процессов, выражающих свойства объектов эксплуатации. В них должны моделироваться все элементы 3D-пространства, в которых создаются и реализуются эксплуатационные процессы. Во все эти системные модели должны быть заложены все особенности физических процессов и явлений, необходимые для осуществления корректного процесса управления. Следует отметить, что необходимость моделирования физических процессов радикально повышает роль CAE-систем в части создания корректных системных моделей СТС.

Практическое применение компонентных технологий в форме доступных прямо из сети централизованных (отраслевых) НР требует, прежде всего, формирования методологии работы с *электронными прототипами изделий и цифровым производством*. В этом случае традиционные формы представления документов, даже в электронном виде, постепенно теряют свою актуальность, уступая место электронным структурам — системным моделям производственных объектов (изделий, производственной инфраструктуры, физических и информационных пространств и потоков). Все эти объекты можно представить электронными, удобно конфигурируемыми структурами и вывести на уровень цифровых прототипов, доступных из сети на уровне унифицированных сервисов. При этом документы могут не исчезать полностью как способ фиксации событий в процессе ЖЦ СТС, но будут уже играть второстепенную роль и зависеть от электронных структур и процессов.

Повышение эффективности процессов ЖЦ СТС в современных экономических условиях требует применения более действенных экономических отношений, как внутри отдельного предприятия, так и между различными предприятиями кооперации. Эта тенденция привела к образованию так называемых кластеров в рамках различных отраслей отечественной промышленности. С точки зрения создания результативной (эффективной) системы информационного обеспечения ЖЦ продукции, *кластер* должен пред-

ставлять собой группу организаций и предприятий, обеспечивающих реализацию процессов ЖЦ СТС, и связанных *единым информационным пространством* (ЕИП). Под ЕИП будем понимать совокупность *структурированных* информационных ресурсов, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим взаимодействие всех участников ЖЦ СТС в единой (интегрированной) информационной среде [3]. Архитектуру ЕИП целесообразно рассматривать на следующих основных уровнях [5, 8]:

- организационном;
- физическом (аппаратном);
- уровне операционных систем и системных приложений;
- уровне бизнес-приложений.

Наиболее сложной задачей при создании ЕИП является построение архитектуры уровня бизнес-приложений, содержащего совокупность автоматизированных систем (АС) исполнительного уровня, которые применяются для автоматизации деятельности предприятий и организаций участников кооперации, обеспечивающей реализацию ЖЦ СТС. Эти АС можно условно разделить на три группы [6]:

- первая — АС разработки изделий (CAE/CAD, PM и PDM), создающая виртуальные прототипы изделий на основе лучших эталонов, выраженных в формате центров НР или структур MDM (master data management);
- вторая — АС управления подготовки производства и производственной деятельностью предприятия (CAPP, CAM, ERP, MRP-2, SCADA, MES, OLAP и др.), работающие также с привлечением структур MDM;
- третья — АС управления бизнесом предприятия за его пределами (CRM, SCM, PLM).

Одной из наиболее актуальных научных проблем, возникающих при интеграции всех уровней архитектуры ЕИП, является организация информационного обмена между уровнем бизнес-приложений и физическим уровнем, включающим в себя *системы мониторинга* технического состояния СТС и его эксплуатационных процессов. Информация, предоставляемая системами мониторинга, должна корректно обрабатываться системами исполнительного уровня для формирования необходимых управляющих воздействий в соответствии с принятыми стратегиями управления СТС (в том числе: жесткое программное управление, в основе которого лежит календарный принцип; управление по фактическому состоянию; управление по фактическим и прогнозным оценкам состояния СТС [4]).

Современная методология построения архитектуры ЕИП требует, прежде всего, формирования и постоянного развития «глобальных» (в рамках решаемой задачи) формализованных информационных ресурсов, их унификации и развития сети «глобальных» центров фундаментальных нормативных ресурсов (ФНР). Контент ФНР должен служить объединяющей все системы технологией, а именно: определить типы продукции и

инфраструктуру организаций (заводы, органы управления, люди, оборудование, источники материалов, энергетические источники, типы операций, событий). Эти ресурсы, представленные в формате стандартизованных электронных структур, должны регулярно актуализироваться и иметь возможность доступа со стороны различных АС исполнительного уровня.

При создании ФНР технические требования, предъявляемые к СТС, должны формироваться в виде функциональных моделей объектов, в которых поддерживается виртуальный рабочий процесс, а эксплуатационные — на основе эксплуатационной модели, в которой предусмотрены все процессы обслуживания созданной структуры объекта (в том числе его диагностики, ремонта, транспортировки, консервации и т. д.). При этом активные производственные объекты должны являться носителями как виртуальных, так и физических операций субъектов деятельности (таких как персонал, рабочие места с CAD/CAM/CAE-системами, станки, технологические и контрольные установки, серверы и т. д.).

Очевидно, что широкая номенклатура СТС, создаваемых современными предприятиями, наукоемкость и сложность (наличие механических, электротехнических, электронных, строительных и других видов конструкций и компонентов) этих систем требуют применения достаточно широкого спектра АС для решения частных проектно-конструкторских, производственно-технологических, финансово-экономических и многих других задач. Поэтому все носители виртуальных операций должны замкнуться в унифицированную от особенностей применяемых АС оболочку (в том числе, от CAD/CAM/CAE-систем) — *электронный кабинет специалиста*, на выходе которого фигурируют только измененные файлы и структуры. На физическом уровне операции замыкаются в рабочий центр, на выходе которого формируются требуемые физические объекты и потоки, а также данные, предусмотренные в эксплуатационной модели рабочих центров.

Все АС должны быть направлены на поддержку процессов (т. е. цепочек функций, управляемых через рабочие центры), представленных *ролями*. Каждый субъект АС (конструктор, технолог, плановик, бухгалтер, оператор станка, контролер и т. д.) должен обладать необходимым набором функциональных возможностей, чтобы получить роль в процессе и задание на исполнение. Все бизнес-процессы, наряду с технологическими, эксплуатационными, контрольными процессами также должны быть представлены электронными структурами, которые декомпозируются на элементы, представляющие роли, соответствующие набору операций на оборудовании или функций в составе рабочих мест.

Электронные структуры производственных объектов и процессов должны быть охвачены единой системой классификации и конфигурироваться по атрибутам, типы и состав которых должны быть гармонизированы с международными системами классификации, стандартами и электронными техническими словарями — eOTD в соответствии с ISO 22745 и ISO 8000.

Все стандарты и нормативы, а также сформированные на их основе прототипы компонентов электронных

структур должны быть сконцентрированы в единый отраслевой центр нормативных ресурсов (ЦНР) [3] с распределенной инфраструктурой, представленной на каждом предприятии как локальный центр стандартизации. В рамках рассматриваемого подхода ЦНР должен стать не только основным источником объектов для внешних исполнительных систем, но и «сделает прозрачными» все процессы и позволит создать их финансовые модели, станет накопителем и источником отраслевых ноу-хау (в рамках ЦНР должна постепенно вырастать система унификации, накопления знаний и распространения лучшего опыта).

Таким образом, представляется, что ближайшие перспективы развития информационного обеспечения ЖЦ СТС нового поколения заключаются в широком применении и развитии компонентных технологий, поддерживаемых системой электронных кабинетов, объединяемых на физическом уровне в рабочие центры, а также в применении развитых эксплуатационных моделей, базирующихся на моделях физических явлений и процессов. Кроме того, перспективным становится формирование полнофункциональной модели построения и функционирования рабочих кабинетов, базирующейся на системе фундаментальных нормативных ресурсов, представленной в виде единых отраслевых ЦНР.

Список использованных источников

1. В. Г. Долбенков. Основные принципы создания перспективных ракетных комплексов как сложных технических систем // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Вып. 3. М., 2012.
2. А. И. Левин, Е. В. Судов. CALS: предпосылки и преимущества // Директор информационной службы. № 11. 2002.
3. Разработка предложений по второй редакции Концепции информатизации Роскосмоса // ИТО №122-65/12, НИР «Мероприятия», Гос. рег. № Ф40946. СПб.: ОАО «КБСМ», 2012.
4. А. Н. Перминов. Управление наземной космической инфраструктурой на основе мониторинга ее состояния: монография. СПб., 2005.
5. Д. К. Щеглов, Л. Г. Данилова, М. Н. Охочинский. Методология построения системы защиты данных в едином информационном пространстве корпорации // В сб. трудов XV Всероссийской НПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности» Технические средства противодействия терроризму. Т. 2. СПб., 2012.
6. Д. К. Щеглов. Методика выбора PDM-системы для предприятия ракетно-космической отрасли // Инновации, № 5, 2011.
7. M. Hammer, J. Champy. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. 1993, London: Nicholas Brealey Publishing.
8. М. Н. Охочинский. Конкурентный системный мониторинг и оценка достоверности информации // Инновации, №5, 2011.

Some promising development trends of informational support of life cycle of complicated technical systems

V. Y. Alekseeva, Marketing Specialist of «KB SM».

N. A. Pilikov, General Director of «Engineering company «Glosis-Service».

D. K. Shcheglov, PhD, Deputy Head of the settlement and Research Division – Head of Laboratory of Information Technologies «KB SM».

Features of application of methodology of centric model control, when an informational support system of lifecycle of complicated technical systems of a new generation is developing, are considered.

Keywords: complicated technical system, informational support, lifecycle, centric model control.