

УДК 621: 004.413

Д.В. ДУДКИН

ОБЗОР МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ И ПОДХОДА СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Дан обзор методов разработки интегрированных информационных систем, предназначенных для поддержки жизненного цикла. Рассмотрены подходы CALS-технологий и системной инженерии для составления типовых моделей, которые могут быть использованы для разработки типовых методик и составления общей базы для сравнения методик внедрения и работающих информационных систем.

Ключевые слова: интегрированные информационные системы, информационные системы, CALS, системная инженерия, методики разработки и внедрения, типовые модели, управление рисками.

Введение. Идея гибкого производства становится очень популярной. Особое значение гибкость производственных процессов имеет для малых и средних предприятий, являясь ключевым преимуществом, улучшающим конкурентоспособность фирмы. Гибкость позволяет уменьшить сроки вывода продукта на рынок. Для этого требуется сокращение продолжительности процессов разработки на каждом этапе производства, сокращение сроков полного цикла работ. Гибкому предприятию необходимо быстро переналаживать производственные процессы под другой вид исполнения или другой тип продукта.

Технологией, позволяющей обеспечить такую гибкость, является автоматизация производственных процессов на базе информационных систем (ИС). В то же время разработке, внедрению и поддержке такой ИС сопутствует набор рисков, из-за которых эффект от автоматизации может быть снижен. Необходима методика управления типичными рисками ИС. Существующие методики построены либо для внедряемого программного продукта, либо для внедряющей компании – системного интегратора. Они являются уникальными для конкретного программного продукта, проекта и компании. В результате такие методики, внедренные на базе этих методик решения ИС и эффективность этих решений трудно сравнивать между собой до начала внедрения, поскольку отсутствует общая база для сравнения.

Целью исследования является поиск такой базы для сравнения в виде типовой модели системы. Рассматриваются подходы CALS-технологий и системной инженерии, как подходы, основанные на модели жизненного цикла (ЖЦ). На базе модели ЖЦ и выбранного подхода можно построить типовую модель ИС. Такая модель строится для задачи, т.е. для задаваемого задачей автоматизации состава этапов ЖЦ и типовых автоматизируемых процессов. Риски ИС в такой модели тоже становятся типовыми.

Обзор проблемы. Основным видом деятельности машиностроительного предприятия является разработка и производство инновационного продукта – наукоемкого изделия: прибора или устройства. В отличие от крупных машиностроительных предприятий, выпускающих крупные партии изделий, малые и средние машиностроительные предприятия работают в основном по отдельным заказам меньшего объема, но более сложной структуры, большего количества видов исполнений изделий. Предприятию требуется повышенная гибкость для облегчения совместной разработки разных исполнений изделия одновременно, сокращения сроков переналадки оборудования для производства изделий нового вида, сокращения сроков разработки и трудоемкости сопровождения продукта и, следовательно, для сокращения конечных сроков вывода продукта на рынок.

Для сокращения сроков вывода продукта на рынок требуется сократить сроки выполнения каждого процесса разработки продукта от определения требований к продукту, проектирования конструкции, проектирования технологических процессов производства, процесса производства до процессов продажи готовой продукции и послепродажной (гарантийной) поддержки и обслу-

живания. Такая возможность для конкретной фирмы является существенным преимуществом, улучшающим конкурентоспособность этой фирмы.

Для реализации этой возможности необходимо внедрение ИС предприятия, обеспечивающей автоматизацию всего цикла работ основного процесса разработки, всех подпроцессов разработки продукта. Наибольший эффект от внедрения ИС может быть достигнут при автоматизации всего основного процесса разработки в целом.

В то же время внедрению ИС сопутствует множество рисков: неясности, неопределенности целей внедрения; нечетких критериев успешного внедрения и оценки экономического эффекта от внедрения; техническая сложность разработки ИС; организационная сложность самого процесса внедрения ИС в процессе ее опытной эксплуатации; техническая сложность последующей переналадки, доработки ИС при изменении основных бизнес-процессов предприятия; зависимость инфраструктуры предприятия от поставщика ИС (разработчика ИС) или системного интегратора (осуществляющего внедрение).

Для минимизации рисков требуется наличие процессов, управляющих различными рисками, возникающими на разных стадиях внедрения ИС. Задачами этих процессов являются: выработка целей внедрения ИС; плана разработки или методики внедрения; принятие определенных решений в ходе исполнения плана (таких, как самостоятельная разработка ИС или покупка готовой); оценка технических характеристик предлагаемых решений ИС; выбор архитектуры решения для упрощения дальнейшей доработки, переналадки ИС; контроль бюджета расходов на ИС и достигаемого за счет автоматизации экономического эффекта.

На данный момент на рынке программного обеспечения существует множество решений, представленных различными ИС. Компании-«системные интеграторы» предлагают полный цикл работ по внедрению и доработке готовых решений.

В то же время методики внедрения, процессы доработки и управления сопутствующими рисками ориентированы на конкретный программный продукт, автоматизируемый им набор процессов, и в равной мере на особенности методики работ по внедрению конкретного системного интегратора. В силу этого сложно сравнивать различные решения и различных исполнителей-интеграторов до начала внедрения. После внедрения сложно оценить трудоемкость доработки ИС и затраты на текущую поддержку ИС в случае меняющихся условий бизнеса.

В проведенном исследовании проанализированы технологии и наборы стандартов, позволяющие решить задачу автоматизации машиностроительных предприятий в виде выработки некоторых типовых моделей, составляющих общую базу для сравнения. Из этих типовых моделей может быть разработана типовая методика внедрения на базе управления рисками процессов разработки и внедрения ИС.

Управление жизненным циклом изделия и жизненным циклом системы. Любой проект автоматизации должен начинаться с описания автоматизируемой системы и процессов, области и целей автоматизации – для постановки корректной задачи по автоматизации и выработки плана или концепции по автоматизации, т.е. плана того, как этот проект будет выполняться. На машиностроительном предприятии основным процессом, приносящим прибыль, является производство конечного продукта или изделия – прибора или устройства. Под производством понимается полный цикл работ, включающий: определение требований к продукту; концепции изделия; проектирование конструкции; проектирование технологии производства; производство; тестирование; продажу; послепродажную (гарантийную) поддержку и сопровождение.

При отсутствии интегрированной информационной системы (ИИС) работы различных этапов могут быть автоматизированы различными программными продуктами – САПР конструктора, САПР технолога, АСУТП на этапе производства, CRM (Customer Relationship Management – управление взаимоотношением с клиентами) на этапе продажи и сопровождения.

Проблемой при таком подходе является отсутствие единого контура управления, так как необходимо средство для организации «программного конвейера», состоящего из отдельных рабочих мест в единую ИИС. Но для этого разнородные приложения должны работать с единой мо-

делью данных более сложной структуры, чем набор отдельных файлов – иерархической структуры изделия, передаваемой между различными участками программного конвейера (ЖЦ) автоматически. Такая структура может включать в себя, в том числе, описание следующего этапа работ программного конвейера и логику перехода между этапами (описание бизнес-логики: алгоритм работы или техпроцесса или схема бизнес-процесса данного этапа работ).

Подход CALS-технологий. Подход CALS-технологий (Continuous Acquisition Life-Cycle Support – непрерывная поддержка поставок в ходе ЖЦ продукта) для автоматизации процессов разработки изделия основан на определении типовых этапов ЖЦ изделия в процессе его разработки и выработке средств стандартизации инструментария, реализующего выполнение работ на каждом этапе. Для этого данные об изделии хранятся в PDM инструментарии (Product Data Management – управление данными об изделии); остальные средства инструментария позволяют инженерам-конструкторам, технологам и плановикам производства работать с PDM данными совместно, одновременно на различных фазах (этапах) ЖЦ. Стандарты CALS-технологий определяют: состав фаз ЖЦ изделия; набор типовых процессов на разных фазах; стандарты для взаимодействия различных программ инструментария с данными об изделии; стандарты форматов данных для обмена [1].

Процессы жизненного цикла изделия. Жизненный цикл изделия (продукта), как его определяет стандарт ISO 9004:2009, – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта.

В общем случае ЖЦ изделия может включать следующие этапы:

- проведение маркетинга;
- постановка задачи, планирование;
- концептуальное проектирование, анализ изделия;
- разработка рабочей конструкторской документации;
- конструкторско-технологическая подготовка производства;
- заказ и закупки материалов и комплектующих для изготовления изделия;
- производство изделия;
- испытания и контроль качества;
- упаковка и отгрузка;
- поставка и распространение;
- обслуживание и эксплуатация;
- утилизация и переработка.

В каждом конкретном случае строится своя модель ЖЦ изделия.

CALS-технология является концепцией и идеологией информационной поддержки ЖЦ продукции на всех его стадиях, основанной на использовании единого информационного пространства (ИИС), обеспечивающей единообразные способы информационного взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованная в форме международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными. Основная цель CALS-технологии – снижение себестоимости, временных затрат и повышение качества за счет интеграции информации и автоматизации процессов. В последнее время все чаще вместо термина CALS применяется термин PLM (Product Life-Cycle Management – управление ЖЦ изделия), учитывающее процессы, исполнителей, этапность производства: технология открытая для интеграции данных из других систем и других предприятий.

Основой для такой унификации является модель ЖЦ процесса проектирования, разработки и сопровождения высокотехнологичного наукоемкого изделия (CALS, стандарт STEP ISO 10303).

Модель CALS задает стандартный типовой набор фаз или этапов ЖЦ. На каждом этапе определяется набор бизнес-процессов, выполняющихся на этом этапе разработки; данные об изделии хранятся в унифицированном универсальном формате данных, общем для всех процессов (в базе PDM – Product Data Management) [1].

Возможно создание общей типовой модели бизнес-процессов разработки изделия на основе стандартов CALS-технологий. Например, выполняя функциональное моделирование в виде IDEF0, можно составить функциональную модель типовых автоматизируемых бизнес-процессов.

Эта типовая модель может быть использована для создания методики внедрения ИС, реализующих CALS-технологии разработки изделия.

При этом, хотя стандарты CALS задают типовой набор этапов ЖЦ изделия, в каждом конкретном случае у каждого изделия такой набор этапов – свой. Допустим, требуется переналадка оборудования для производства нового вида исполнения изделия. Либо разрабатываемый новый продукт потребует другого набора этапов ЖЦ или бизнес-процессов. Информационная система на базе CALS может работать с параметризированной моделью изделия (например, технология WAVE в случае САПР; общая параметризованная модель технологического процесса в случае САПР технолога). Это означает, что изменения могут проводиться на базе типовой модели изделия. Или изменения могут быть более сложными, что может означать необходимость программных доработок самой ИС.

Возникает риск, связанный со сложностью поддержки/сопровождения ИС – риск сложности доработки: затраты на доработки в ИС, вызванные меняющейся реальностью бизнеса, должны укладываться в отведенный бюджет временных сроков и денежных затрат. Средством минимизации такого риска является выбор надлежащей системной архитектуры [2] ИС, при котором требуются минимальные доработки ее программной части из-за меняющейся реальности производства (например, поддержка параметризированной модели изделия в ядре ИС позволяет обойтись в основном без доработок программной части; или реализация ядра ИС в виде слабосвязанной SOA архитектуры (Service-Oriented Architecture – сервисно-ориентированная архитектура) позволяет обойтись минимальными изменениями вследствие изменения программных модулей независимо друг от друга).

Подход системной инженерии. Подход системной инженерии состоит в проектировании разрабатываемой системы с точки зрения ЖЦ систем аналогично тому, как CALS-технологии позволяют разработать изделие, реализуя типовые процессы ЖЦ изделия.

Стандарты системной инженерии определяют набор фаз ЖЦ систем, описывают стандарты для процессов разработки, внедрения, сопровождения и доработки таких систем. Часть стандартов относится к программной инженерии, часть – к организационным методам, например, анализу рисков и управлению проектами. Каждый процесс работы с системой имеет четко определенные цели и риски. Стандартами определяются подпроцессы, введенные для минимизации этих рисков [3].

Создание систем является одним из основных видов человеческой деятельности. Создаваемые системы постоянно усложняются. Появление новых технологий дает толчок к развитию уже существующих систем и требует создания новых классов систем.

Инженерия (engineering) – область человеческой деятельности, связанная с творческим применением научных принципов при проектировании и разработке конструкций, машин, аппаратов и производственных процессов, с работами по их индивидуальному или комплексному использованию, с их конструированием и применением на основе исчерпывающего представления об устройстве, с предсказанием их поведения в определенных условиях эксплуатации (American Engineers' Council for Professional Development) [2].

В системной инженерии под системой понимается любая система, которую может построить человек: техническая, программная, организационная методика или бизнес-модель и т.д.

В данном исследовании под системой понимается надсистема как совокупность трех подсистем: планирования проекта ИИС, реализации технической части – собственно работающей ИИС – и описания организационной системы в виде набора методик и управляющих процессов.

Реализацией технической части такой системы является разрабатываемая ИС (на базе группы стандартов по программной инженерии, описывающих процесс разработки ИС). Но, кроме того, разрабатываются процессы, реализующие организационную часть системы.

Системная инженерия, на основе объединения достижений различных дисциплин и групп специальностей, имеет целью предоставление методологического базиса и средств для успешной реализации согласованных, командных усилий по формированию и реализации хорошо структурированной деятельности по созданию систем, которая охватывает все стадии ЖЦ системы от замысла до изготовления и последующей эксплуатации и прекращения использования.

Задачами системной инженерии [3] являются:

- технические усилия, направленные на проектирование, изготовление, проверку соответствия, ввод в эксплуатацию, использование, сопровождение, утилизацию системных продуктов и процессов, а также на обучение персонала работе с ними;
- определение конфигурации и управление конфигурацией системы;
- преобразование описания системы в иерархическую структуру работ по ее созданию;
- обеспечение заявленных проектных затрат и графиков работ;
- подготовка информации для принятия управленческих решений.

Современная системная инженерия [3] сосредоточивает первоочередные усилия в двух направлениях:

- системный взгляд на продукцию и услуги;
- методы разработки с использованием базовых моделей и типовых процессов.

Важные особенности системной инженерии в том, что она предполагает использование по преимуществу количественных методов, включая согласование, оптимизацию, выбор и интеграцию достижений многих инженерных дисциплин.

Стандартизация процессов, инструментов и технологий сопровождения для разработки программных продуктов и систем осуществляется международным комитетом JTC1 при организации ISO [4].

В Руководстве INCOSE [5] (International Council on Systems Engineering – Международный совет по системной инженерии) по системной инженерии выделяются пять важнейших областей ее применения.

1. Бизнес-процессы и оценка функционирования (Business Processes and Operational Assessment (BPOA)).
2. Архитектура систем/решений/тестирования (System/Solution/Test Architecture (SSTA)).
3. Анализ стоимости ЖЦ и соотношения прибылей и затрат (Life Cycle Cost & Cost-Benefit Analysis (LCC & CBA)).
4. Обеспечение пригодности к обслуживанию/ логистика (Serviceability/ Logistics (S/L)).
5. Моделирование и Анализ (Modeling, Simulation, & Analysis (MS&A)).
6. Управление рисками/конфигурацией/исходным состоянием (Management: Risk, Configuration, Baseline).

Многие крупные компании разработали различные модели для управления риском в своих областях приложений, ставшие своего рода стандартами для различных ассоциаций профессионалов при управлении проектами, разработке, внедрении и управлении информационными системами.

Общая схема процедуры управления рисками состоит из нескольких этапов:

- определение организационного контекста;
- идентификация рисков;
- анализ рисков;
- оценка и приоритизация рисков;

- выбор способов обращения с рисками;
- наблюдение и пересмотр.

Задача управления рисками органически вплетается в общую проблему повышения эффективности работы организации. Помимо традиционного анализа имеющихся ресурсов, такие методы предполагают взаимодействие со сторонами, вовлеченными в рассматриваемое решение, выявление их интересов и учет целей, проведение комплекса мероприятий по согласованию противоречивых целей.

В подходе CALS-технологий процессов управления рисками в чистом виде нет, и CALS-технологии приходится дополнять процессами управления рисками, разработанными на основе ЖЦ изделия (или проекта по производству изделия). При разработке, внедрении и сопровождении ИС возникает набор специфических рисков – минимизация этих рисков обеспечит максимальную гибкость и эффективность ИС. С точки зрения технических процессов разработки ИС, в рамках подхода системной инженерии, процессы разработки ИС проходят типовые этапы ЖЦ систем [4], и на этих этапах можно идентифицировать типовой набор рисков, влияющих на гибкость ИС. Возможно составить типовую модель рисков ИС.

Кроме того, процессы управления рисками, разработанные на базе модели ЖЦ изделия, можно интегрировать в общую систему процессов управления рисками (изделия, информационной системы и т.п.), если под системой, разрабатываемой в рамках подхода системной инженерии, понимать не только информационную систему, но и организационную систему производства изделия.

При создании системы системная инженерия первоочередное внимание уделяет описанию ее архитектуры (Architectural Description), где акцент делается на следующие взаимосвязи:

- между заинтересованными сторонами (лицами) (Stakeholders);
- интересами (Concerns) заинтересованных сторон;
- представлениями (Views), отражающими связанные с системой интересы;
- точками зрения (Viewpoints), отражающими соглашения для разработки и использования представлений;
- моделями (Models).

Управление ЖЦ направлено на формирование общих правил, в соответствии с которыми на эффективной, надлежащим образом выстроенной методической основе, достигается удовлетворение потребностей заинтересованных лиц.

Основная цель управления ЖЦ – обеспечение гарантированной доступности эффективных процессов ЖЦ для использования организацией.

В результате успешного управления ЖЦ:

- определяется модель ЖЦ и совокупность процессов ЖЦ, которые будут использоваться организацией;
- определяется политика и процедуры применения модели и процессов ЖЦ;
- определяется политика адаптации типовых процессов ЖЦ к потребностям отдельных проектов;
- определяются показатели, которые позволяют контролировать характеристики выполнения процессов ЖЦ.

Процессы жизненного цикла в стандартах системной инженерии ISO/IEC 15288:2008. Организационные процессы: управление инфраструктурой; управление портфелем проектов; управление моделью ЖЦ; управление персоналом; управление качеством.

Процессы соглашения: приобретение; поставка.

Процессы проекта: планирование проекта; оценка и контроль проекта; управление решениями; управление рисками; управление конфигурацией; управление информацией; измерение.

Технические процессы: определение требований; анализ требований; проектирование архитектуры; реализация элементов системы; комплексирование; верификация; передача; валидация; функционирование; обслуживание; изъятие и списание.

В частности, группа стандартов семейства ISO/IEC 12207 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств» описывает процессы разработки программных систем, включая процессы проектирования архитектуры, процессы конфигурационного управления исходным кодом, управления релизами (выпусками), управления изменениями и доработками, поддержка работающей системы [4].

Возможно создание типовой модели процессов разработки, внедрения и сопровождения ИС на базе подхода системной инженерии. Такая модель позволит контролировать более полный набор рисков, возникающих на всех этапах ЖЦ системы (системы в описанном выше смысле над-системы из трех подсистем планирования, технической и организационной части ИС).

Таким образом, как единая система проектируются процессы разработки ИИС, организационные процессы, такие, как реализация методики по разработке/внедрению/доработке ИИС на всех фазах разработки ИИС, и сама работающая ИИС – техническая реализация проекта.

Выводы. Рассмотренные подходы CALS-технологий и системной инженерии основаны на модели жизненного цикла (разрабатываемого изделия или ИИС, в которой разрабатывается изделие). На базе этих подходов можно выработать типовую модель требуемых бизнес-процессов и типовую методику внедрения/разработки/доработки ИИС. Такие типовые модели и методики становятся независимы от конкретного программного решения ИС, архитектуры ИС, поставщика и системного интегратора. В этом смысле модель становится типовой моделью ИС.

Эту типовую модель ИС можно использовать для сравнения конкретных программных решений различного рода, применяя модель технической части системы, а также для сравнения методик внедрения и доработки ИИС на основе модели организационной части системы.

Библиографический список

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / И.П. Норенков. – М.: Изд-во Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
2. Батоврин В.К. Системная и программная инженерия: словарь-справочник / В.К. Батоврин. – М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2010. – 280 с.
3. Левенчук А.И. Введение в системную инженерию [Электрон. ресурс] / А.И. Левенчук. – Режим доступа: <http://ailev.livejournal.com/757223.html>
4. Орлик С. Программная инженерия и управление жизненным циклом ПО / С. Орлик. – М.: Изд-во БХВ, 2005. – 300 с.
5. Международный совет по системной инженерии [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://incose.ru> , <http://incose.org>

Материал поступил в редакцию 03.11.10.

References

1. Norenkov I.P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya: ucheb. dlya vuzov. – 2-e izd., pererab. i dop. / I.P. Norenkov. – M.: Izd-vo Mosk. gos. tehn. un-ta im. N.E. Baumana, 2002. – 336 s. – In Russian.
2. Batovrin V.K. Sistemnaya i programmaya injeneriya: slovar'-spravochnik / V.K. Batovrin. – M.: Izd-vo DMC-Press, 2010. – 280 s. – In Russian.
3. Levenchuk A.I. Vvedenie v sistemnyuyu injeneriyu [Elektron. resurs] / A.I. Levenchuk. – Rejim dostupa: <http://ailev.livejournal.com/757223.html> – In Russian.
4. Orlik S. Programmaya injeneriya i upravlenie jiznennym ciklom PO / S. Orlik. – M.: Izd-vo BHV, 2005. – 300 s. – In Russian.
5. Mejdunarodnyi sovet po sistemnoi injenerii [Elektron. resurs]. – Rejim dostupa: <http://incose.ru> , <http://incose.org> – In Russian.

D.V. DUDKIN

**OVERVIEW OF AUTOMATION METHODS OF SMALL AND MEDIUM
ENGINEERING ENTERPRISES BASED ON CALS-TECHNOLOGIES
AND SYSTEMS ENGINEERING APPROACH**

The design techniques of integrated information systems development aimed at the life cycle support are reviewed. Cases of the CALS-technologies and systems engineering for building some typical models are considered. These models can be used for typical methods development and creation of the general base for system installation techniques and operating information system intercomparison.

Key words: *integrated information systems, information systems, CALS, systems engineering, development and introduction techniques, generic models, risk management.*

ДУДКИН Дмитрий Владимирович (р. 1979), аспирант кафедры «Робототехника и мехатроника» факультета «Автоматизация, мехатроника и управление» Донского государственного технического университета. Окончил Ростовский государственный университет (2001).

Область научных интересов: разработка информационных систем, методики внедрения и разработки, программная инженерия, автоматизация предприятий.

Автор 1 научной публикации.

dimux@mail.ru

Dmitry V. DUDKIN (1979), Postgraduate student of Robotics and Mechatronics Department of the Automation, Mechatronics and Management Faculty, Don State Technical University. He graduated from Rostov State University (2001).

Research interests: information systems engineering, development and introduction methods, software engineering, enterprise automation.

Author of 1 publication.