

## Создание интегрированной системы поддержки жизненного цикла изделия

© Е.И. Кузин<sup>1</sup>, В.Е. Кузин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup>Уралвагонзавод, Нижний Тагил, 622007, Россия

*Рассмотрены основные проблемы, задачи и результаты использования концепции поддержки жизненного цикла сложной технической системы на машиностроительном предприятии. Представлена внедренная архитектура предприятия — структура информационного пространства, процессов и приложений.*

**Ключевые слова:** *сложные технические системы, жизненный цикл изделия, поддержка жизненного цикла, CALS-технологии, архитектура предприятия, управление бизнес-процессами, единое информационное пространство.*

**Введение.** К основным тенденциям развития современного машиностроительного производства можно отнести следующие:

- диалектически обусловленные *разукрупнение и специализация предприятий* (по технологическому или предметному признаку), с одной стороны, и *объединение предприятий в цепочки поставок*, с другой стороны. Разукрупнение и специализацию предприятий осуществляют для фокусировки ресурсов на ключевых компетенциях предприятия и сокращения затрат на «непрофильные» виды деятельности. Раньше предприятия, выпускающие продукцию непосредственно для конечного потребителя (головные предприятия), охватывали все технологические переделы в производстве своей номенклатуры (литье, штамповка, металлообработка, сварка, сборочное производство), а также имели в своем составе конструкторские бюро. Теперь головные предприятия, как правило, сосредоточиваются на сборочном производстве, размещая заказы на комплектующие у поставщиков. Конструкторские бюро часто трансформируются в инжиниринговые центры, ведущие самостоятельную экономическую деятельность, хотя в ряде случаев они по-прежнему могут входить в состав головного предприятия. Чтобы обеспечить выпуск продукции для конечного потребителя в условиях специализации предприятий, необходимо преобразовать прежний процесс производства в цепочку поставок и обеспечить управление этой цепочкой;

- *уменьшение трудозатрат на этапах выполнения производственных операций*, не требующих высокой квалификации специалистов, за счет привлечения в цепочки поставок предприятий, расположенных в странах с дешевой рабочей силой и низким уровнем налогообложения;

• *сокращение запасов материалов и комплектующих* за счет внедрения принципов «just-in-time» («точно вовремя») [1], а в случае автомобилестроения — «just-in-sequence» (русский термин отсутствует);

• *внедрение концепций управления «Бережливое производство» и «Шесть сигм»* [2];

• *высокая степень автоматизации и роботизации производства* [3]. Обработка деталей, которая раньше требовала цепочки универсального токарного, фрезерного, сверлильного, шлифовального оборудования различных типов, теперь осуществляется на одном обрабатывающем центре с ЧПУ с использованием технологий высокоскоростной обработки. Проектирование технологического процесса во многих случаях сводится к разработке одной управляющей программы (вместо подробного описания маршрута детали по цехам и последовательности операций с материальными и трудовыми нормативами в каждом из них). Численность персонала в условиях роботизации производства сокращается в несколько раз (а в некоторых случаях — на порядок). При этом резко возрастают требования к квалификации персонала. Вместо токарей, фрезеровщиков, слесарей требуются наладчики и операторы станков с ЧПУ, знающие оборудование определенной марки (например, Nakamura, Kitamura, Liebherr, Pietro Cagnagli и др.);

• *интернационализация капитала и производства*. Товарное производство осуществляется на базе перешагнувших национальные рамки широко кооперированных технологических цепочек (виртуальных предприятий [4]). Страны, контролирующие производство конечного наукоемкого продукта в транснациональных технологических цепочках, получают значительную долю дохода. Несвоевременное включение в международные технологические воспроизводящие цепочки многих национальных экономик, в том числе и российской, оставляет их в стороне от центрального вектора мирового развития.

Наряду с развитием мирового машиностроения произошли фундаментальные изменения в требованиях заказчиков и потребителей машиностроительной продукции высокой технической сложности. В связи с ростом стоимости эксплуатации такой продукции (превышающей в разы стоимость изготовления), а также сложности ее обслуживания и ремонта, подготовки специалистов по эксплуатации от производителя теперь требуется всеобъемлющая поддержка этапа эксплуатации, описываемая термином «контракт жизненного цикла». Необходимо отметить, что контракт жизненного цикла существует в Российской Федерации пока только на уровне целеполагания. На Западе, в частности в США, это уже высокоэффективный инструмент экономических отношений между государством и частными промышленными корпорациями. Например, компания Lockheed Martin

обслуживает 4,5 тыс. самолетов F-16 на основе заключенных контрактов жизненного цикла [5].

Реализация контракта на жизненный цикл предполагает:

- обеспечение и своевременную актуализацию (в связи с проведенными обслуживанием и ремонтом) электронной документации на изделие в виде интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР);

- управление надежностью эксплуатируемой техники на основе проведенного на этапе проектирования анализа логистической поддержки (АЛП), в результате которого формируются: эксплуатационный состав изделия, его функциональная структура, дерево отказов, план обслуживания и ремонта, направленный на обеспечение заданного уровня надежности и готовности, план поставок комплектующих и расходных материалов;

- подготовку и аттестацию специалистов по эксплуатации и обслуживанию техники;

- организацию единой системы управления поставками комплектующих и расходных материалов с использованием единых каталогов и единой системы идентификации элементов поставок.

Приведенные требования уже сейчас предъявляются заказчиками отечественной военно-технической и гражданской продукции.

Для предприятий, выпускающих наукоемкую продукцию высокой технической сложности с длительным циклом разработки, производства и эксплуатации, переход к выполнению контракта жизненного цикла требует реализации *концепции поддержки жизненного цикла изделия* (ПЖЦИ), предполагающей:

- полный переход на использование электронного макета изделия (ЭМИ) в качестве подлинника конструкторской документации (включая аналогичный переход и в отношении цифрового представления технологических процессов);

- создание единого информационного пространства, соответствующего требованиям международных стандартов [6], в котором свободно циркулируют данные об изделии (доступ к этим данным определяется выполняемыми функциями и соответствующими процедурами аутентификации);

- организацию (и управление) цепочек поставок, обеспечивающих эффективное взаимодействие участников жизненного цикла изделия (множества географически удаленных бизнес-партнеров) при проектировании, производстве и эксплуатации изделия за счет автоматизации координации действий (на основе современных технологий управления бизнес-процессами) и своевременного обеспечения соответствующих исполнителей актуальными данными об изделии в необходимом объеме;

- разработку сценариев эксплуатации изделия, выполнения АЛП и организации системы материально-технического снабжения комплекующими, инструментами и расходными материалами в соответствии с результатами АЛП;

- организацию эффективной (с точки зрения временных затрат на информирование и уведомление о проблемах и их решение с актуализацией документации на изделие) обратной связи между эксплуатантом и проектировщиком техники, включая систему мониторинга эксплуатации изделия.

Применение технологий ПЖЦИ является стратегическим направлением, которое позволяет не только выполнить современные требования рынка, но и обеспечить рост конкурентоспособности выпускаемой продукции и эффективности производства. По оценкам экспертов [7], эффективность производства, реализованного на базе концепции ПЖЦИ, примерно на 30...40 % выше эффективности традиционного производства.

На Западе технологии ПЖЦИ успешно разрабатывают и внедряют уже около 20 лет. В отечественном машиностроении задача развития и внедрения технологий ПЖЦИ стала проблемой национального масштаба и условием существования производства наукоемкой продукции высокой технической сложности. От решения этой задачи зависит не только эффективность развития экономики в целом, но и ее направленность на получение добавленной стоимости в результате создания новой наукоемкой продукции.

**Основные проблемы реализации концепции ПЖЦИ в отечественной промышленности.** В настоящее время отечественная промышленность в целом существенно уступает западной в области реализации концепции ПЖЦИ. Работы по внедрению технологий ПЖЦИ находятся в начальной стадии и проводятся медленно, без должной координации, со значительными методологическими и дидактическими пробелами и упущениями. Отставание выражается в следующем.

1. Традиционно сложившееся разделение конструкторских бюро и серийных производств (в отличие от западных компаний, где проектные и производственные структуры объединены) привело к тому, что:

- организация работ по конструкторско-технологической подготовке производства малоэффективна. Конструкторы не учитывают возможности производства, а технологи не стремятся реализовывать идеи конструкторов, аргументируя невозможностью изготовления изделия;

- отсутствует инфраструктура, которая объединяла бы все организации, участвующие в проектировании и изготовлении изделия, а значит, нет условий для создания интегрированной информационной среды, реализующей технологии ПЖЦИ.

2. Применяется традиционная методология восходящего проектирования, которая не позволяет использовать потенциал автоматизированного согласования конструкторско-технологической документации, управления изменениями, конфигурациями.

3. Автоматизация процессов осуществляется фрагментарно как в конструкторских бюро, так и на предприятиях, при этом конструкторская и технологическая подготовка производства ведется в различных системах автоматизированного проектирования (САПР) и системах PDM, что крайне затрудняет (а иногда и исключает) возможность обмена данными об изделии в цифровом виде. На предприятии одновременно находятся в изготовлении изделия, которые спроектированы как традиционным способом (с выполнением чертежей), так и с помощью различных САПР. Маршрутно-операционные технологические процессы разрабатывают вручную или с использованием отечественных САПР ТП. При этом при разработке управляющих программ для оборудования с ЧПУ применяют и западные, и отечественные САМ-системы, которые не связаны ни с САПР, используемыми на этапе конструкторской подготовки, ни с САПР ТП. Механическая обработка деталей проводится как на универсальном оборудовании, так и на оборудовании с ЧПУ. Измерения и контроль осуществляют по шаблонам с помощью ручного инструмента и лишь иногда — с помощью контрольно-измерительных машин.

4. Возможности станков с ЧПУ используются не в полной мере, обработка детали не оптимизирована, режущий инструмент подобран без учета методик производителей инструмента, в том числе из-за программирования «со стойки» без применения современных САМ-систем, имитационного моделирования обработки деталей, электронных справочников инструментов с автоматизированными системами их подбора.

5. Практически не используются автоматизированные системы управления дискретными производственными процессами, в связи с чем отсутствуют текущая информация о ходе производства, состоянии оборудования, инструмента, технологической оснастки и данные контроля качества продукции. Не предусмотрена возможность оперативно корректировать производственный план в случае возникновения нештатных ситуаций, а также возможность влиять на качество выпускаемой продукции.

6. Хорошо зарекомендовавшие себя концепции обеспечения конкурентоспособности производственных предприятий, такие как «Общее (тотальное) управление качеством» (TQM), «Бережливое производство», «Шесть сигм» либо не внедряются вовсе, либо их внедрение происходит на формальном уровне. Одним из ярких примеров формального внедрения служит «повальная» сертификация

российских предприятий на соответствие требованиям стандартов ISO серии 9000, которая представляет собой ежегодную подготовку комплекта документов, якобы описывающих процессы на предприятии, но по факту мало связанных с реальной его деятельностью.

7. Практически повсеместно, как в конструкторских бюро, так и на производстве, прервана преемственность поколений инженерного персонала (конструкторов, технологов, системных аналитиков, прикладных программистов и др.). На многих предприятиях остро ощущается нехватка квалифицированных специалистов. Решение проблемы нехватки квалифицированного персонала в значительной степени затруднено низким уровнем оплаты труда и традиционно пренебрежительным отношением руководства предприятий к людским ресурсам («эти уйдут — новых наберем»).

8. Отсутствует опыт организации и поддержки этапа эксплуатации сложной техники на основе применения методик и автоматизированных систем интегрированной логистической поддержки в соответствии с международными стандартами.

**Разработка проекта по созданию интегрированной системы ПЖЦИ.** Проведенный анализ состояния головного предприятия НПК «Уралвагонзавод» (г. Нижний Тагил) выявил наличие традиционных проблем российских машиностроительных предприятий, о которых говорилось выше. В конструкторском бюро применялась традиционная методология восходящего проектирования: конструкторам раздавали задания на проектирование, затем собирали результаты в виде чертежей и 3D-моделей и проводили их увязку. Больших затрат времени и усилий требовало не только согласование конструкторской документации на различные узлы и детали, но и внесение изменений. Проектирование технологических процессов осуществляли по традиционной маршрутно-операционной методологии, не приспособленной для оперативного внесения изменений в конструкторскую документацию, управления конфигурацией изделий, а также не обеспечивающей необходимой полноты данных для оперативно-календарного планирования. Разработку управляющих программ выполнял непосредственно на стойке управления станка с ЧПУ наладчик станка. Обмен данными об изделии в цифровом виде отсутствовал. Каждое функциональное подразделение (конструкторское бюро, технологическое бюро, экономический отдел, бюро проектирования оснастки, планово-диспетчерское бюро) вело свои справочные данные самостоятельно. Конструкторско-технологические данные в каждом подразделении вносили вручную.

Для построения интегрированной системы ПЖЦИ в выше перечисленных условиях необходимо было решить следующие ключевые задачи:

- внедрить методологию контекстного ассоциативного проектирования ЭМИ и методологию сквозного проектирования технологических процессов (включая управляющие программы для станков с ЧПУ) на основе ЭМИ;

- организовать централизованное ведение нормативно-справочной информации, включающей сведения о материалах, покупных и стандартных изделиях, инструменте, оснастке, оборудовании, подразделениях, профессиях. Покупные и стандартные изделия, инструмент, оснастка и оборудование должны были иметь 3D-модели;

- создать единое информационное пространство для САПР ТП (на платформе Siemens/Teamcenter), системы управления производством (на базе Omega Production), системы ассистирования технологических процессов (на базе IMPA-киосков), системы мониторинга состояния оборудования и системы управления ресурсами (на платформе SAP ERP);

- автоматизировать процессы согласования конструкторской документации и проведения изменений на основе технологии Workflow на платформе Siemens/Teamcenter.

Решение указанных задач потребовало реализации комплексного проекта по разработке архитектуры системы ПЖЦИ, настройке и интеграции ее программных компонентов и обучению пользователей. Проект включал в себя несколько структурированных этапов:

1. *Предварительное проектирование (разработка архитектуры предприятия):*

а) разработка моделей процессов и данных;

б) разработка организационной структуры подразделений, вовлеченных в этапы конструкторско-технологической подготовки производства;

в) разработка архитектуры приложений, входящих в интегрированную систему ПЖЦИ.

2. *Разработка технических заданий:*

а) разработка и согласование основного технического задания на всю интегрированную систему ПЖЦИ;

б) разработка и согласование частных технических заданий на подсистемы: ведения нормативно-справочной информации, проектирования технологических процессов, ассистирования технологических процессов, информационной интеграции и мониторинга состояния оборудования.

3. *Разработка технического проекта:*

а) разработка и согласование регламента выполнения технологической подготовки производства в среде Siemens/Teamcenter на основе методологии сквозного проектирования;

б) разработка и согласование регламента централизованного ведения нормативно-справочной информации;

- в) разработка пояснительных записок по подсистемам;
- г) разработка единой информационной модели системы и отображения в ней информационных моделей подсистем;
- д) разработка интерфейсов ввода/вывода данных в соответствии с информационной моделью системы;
- е) доработка функциональных возможностей подсистемы проектирования технологических процессов на платформе Siemens/Teamcenter.

#### 4. Подготовка персонала:

- а) обучение ассоциативному 3D-моделированию;
- б) обучение проектированию технологических процессов;
- в) обучение проектированию моделей обработки детали и разработке управляющих программ;
- г) обучение администрированию системы PDM.

#### 5. Внедрение:

- а) разработка и согласование программы предварительных приемо-сдаточных испытаний;
- б) проведение приемо-сдаточных операций, переход к опытной эксплуатации; устранение замечаний;
- в) централизованного ведения нормативно-справочной информации (сведения о материалах, полуфабрикатах, готовой продукции, стандартных и покупных изделиях, инструментах, оснастке, оборудовании, операциях, профессиях, подразделениях) с передачей справочников в системы управления производством, управления ресурсами предприятия;
- г) сквозного проектирования технологических процессов на типовых деталях (деталях-представителях): «расцеховка» и согласование конструкторской документации; проектирование промежуточных ассоциативных моделей на основе ЭМИ; проектирование единичных технологических процессов; разработка эскизов операций, модели обработки, управляющей программы; материальное и трудовое нормирование;
- д) сбор замечаний к автоматизированным системам ведения нормативно-справочной информации и сквозного проектирования технологических процессов;
- е) согласование и уточнение замечаний, планирование доработок;
- ж) проведение приемо-сдаточных испытаний перед переходом к промышленной эксплуатации.

**Реализация проекта по созданию интегрированной системы ПЖЦИ.** Основу системы ПЖЦИ составляет интегрированная информационная среда (ИИС), или единое информационное пространство (ЕИП) [8]. В принципе, оба термина равнозначны, однако в терминологическом словаре [9], утвержденном Госстандартом России, принят первый термин. На практике термин «ИИС» употребляют



в основном применительно к конкретному предприятию, а «ЕИП» — применительно к виртуальному предприятию (консорциуму). Поскольку современные тенденции развития систем ПЖЦИ связаны с виртуальным предприятием, в настоящей работе употребляется термин «ЕИП».

Единое информационное пространство — интегрированная совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах, а также организационно-деловых и технологических процессах предприятия, которая обеспечивает корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении жизненного цикла изделия, кому это необходимо и разрешено. Все данные в ЕИП хранятся в виде информационных объектов, описывающих структуру изделия, его состав и все входящие компоненты (детали, узлы, подузлы, агрегаты, комплекующие, материалы и т. п.).

В ЕИП действует единая система правил представления, хранения и обмена информацией. Принадлежность к ЕИП можно определить следующим образом: если система оперирует сущностями, которые порождаются/редактируются/используются в другой системе, и определен процесс обмена данными, то эти две системы принадлежат ЕИП.

В ЕИП протекают процессы, сопровождающие и поддерживающие жизненный цикл изделия на всех его этапах. Здесь реализуется главный принцип ПЖЦИ: информация, однажды возникшая на каком-либо этапе жизненного цикла, сохраняется в ЕИП и становится доступной всем участникам этого и других этапов (в соответствии с имеющимися у них правами пользования указанной информацией). Это позволяет избежать дублирования, перекодировки и несанкционированных изменений данных, а следовательно, связанных с этими процедурами ошибок и сократить затраты труда, времени и финансовых ресурсов. Модели одной и той же сущности в различных базах данных могут различаться набором атрибутов и отношений. Каждой сущности в ЕИП присвоен уникальный идентификационный номер.

Интеграция и согласование данных реализуется шиной, обеспечивающей исполнение процессов их обмена (синхронизации) с жесткой логикой (Workflow). Шина может быть построена на различных платформах. В разработанной интегрированной системе ПЖЦИ шина построена на базе Teamcenter, Omega Production и SAP MII. На рис. 1–4 изображены структуры сегментов ЕИП для этапов конструкторской подготовки производства, технологической подготовки производства, производства и эксплуатации.

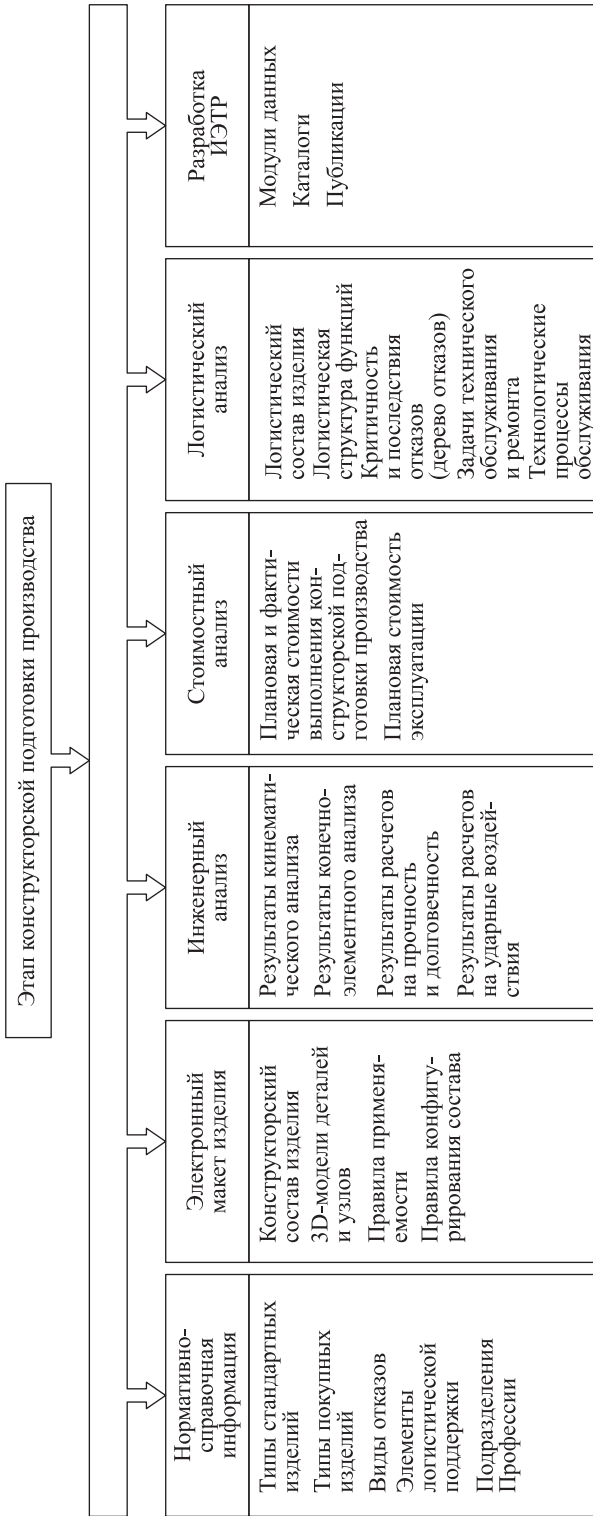


Рис. 1. Сегмент структуры информационного пространства этапа конструкторской подготовки производства



**Рис. 2.** Сегмент структуры информационного пространства этапа технологической подготовки производства



**Рис. 3.** Сегмент структуры информационного пространства этапа производства

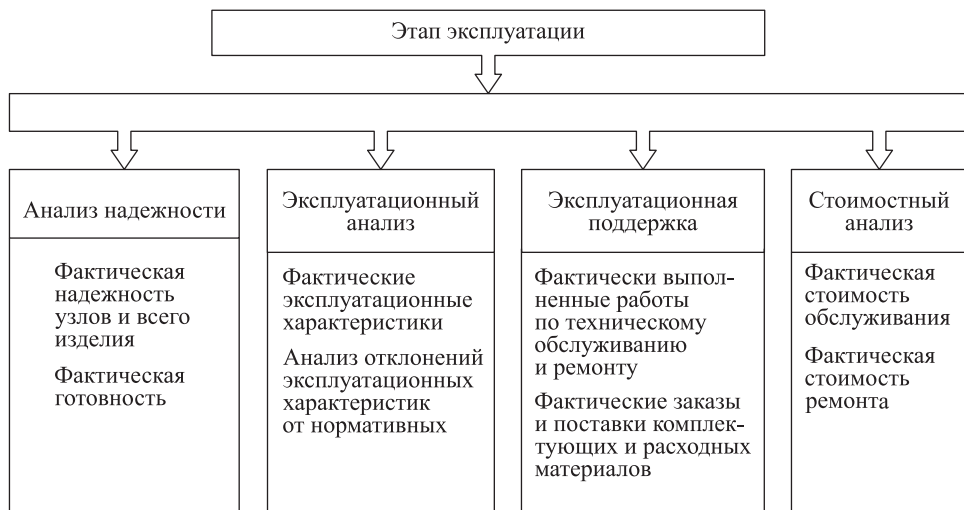


Рис. 4. Сегмент структуры информационного пространства этапа эксплуатации

Управление бизнес-процессами (БП), как и ЕИП, является базовым понятием ПЖЦИ [8]. Бизнес-процесс состоит из последовательности операций на предприятии, которые преобразуют некие входные информационно-материальные потоки в выходные для получения результатов, направленных на достижение поставленных целей. Бизнес-процесс может быть определен не только для производственной деятельности, но и для любой другой.

Все многообразие БП можно разбить на три группы. К первой относятся БП, которые могут быть описаны с помощью жестких алгоритмов [10, 11]. Распределение БП по группам зависит от уровня развития системы управления. В консервативных («тоталитарных») системах управления к первой группе относится большая часть процессов ПЖЦИ. Такие БП характеризуются понятием «поток работ» (буквальный перевод английского термина *Workflow*). *Поток работ* — упорядоченное во времени множество рабочих заданий, получаемых сотрудниками, которые обрабатывают эти задания вручную или с помощью средств механизации/автоматизации в последовательности и в рамках правил, определенных для данного БП (регламента). Такие БП подобны конвейеру, работающему по своим правилам и технологиям, а поток работ (заданий) аналогичен потоку изделий (узлов, деталей), которые этот конвейер передвигает. Предварительно БП должны быть смоделированы, оптимизированы. Технология *Workflow* призвана автоматизировать оптимальный вариант. Примерами таких БП являются процессы создания ЭМИ, ведения справочников, инженерных расчетов, анализа логистической поддержки и др.

Если система управления отличается гибкостью, то доля БП класса *Workflow* не является преобладающей. Большую часть в такой

системе занимают БП второй группы, которые сложно или даже невозможно описать в виде жесткой логики потока работ. Это так называемые *гибкие, адаптивные БП*. Алгоритм их выполнения определяется контекстом ситуации, теми решениями, которые принимаются при выполнении процесса.

К третьей группе относятся «промежуточные» процессы, логика которых достаточно сложна для использования технологии потока работ.

Для выполнения процессов второй и третьей групп необходима сложноструктурированная информация, в то время как технология потока работ имеет крайне ограниченные возможности описания информационного контекста, который определяет ход выполнения таких процессов. Для процессов второй и третьей групп важна не оптимальность, а согласованность действий всех участников процесса, а также гарантированное достижение его цели [12]. Кроме того, выполнение процесса требует навигации (поддержки) при принятии решений — согласования и внесения изменений в конструкторскую и технологическую документацию, а также управления цепочками поставок.

Необходимо отметить, что тема создания программных систем поддержки гибких, адаптивных процессов возникла совсем недавно, хотя необходимость программной поддержки была осознана давно. Стандарт на такие процессы разработан только в 2013 г., поэтому во многих промышленных системах гибкие, адаптивные процессы пытаются поддерживать с помощью технологии Workflow, что приводит к попыткам обеспечить гибкость за счет «прописывания» множества исключений и, по существу, к формальному выполнению «прописанного» маршрута заданий и неформальному выполнению процесса с использованием телефона, корпоративной информационной системы и пр. На рис. 5 представлены БП, автоматизируемые и управляемые с помощью интегрированной системы ПЖЦИ.

В результате выполнения БП информация создается, преобразуется, хранится и передается от одного участника жизненного цикла изделия к другому с помощью программных средств, автоматизирующих БП. Программные средства реализуют следующие основные функции:

- нисходящее проектирование ЭМИ и организация доступа к данным в соответствии с правами доступа;
- сквозное проектирование технологических процессов;
- ведение справочников;
- согласование и внесение изменений в документацию;
- имитационное моделирование механизмов и процессов обработки;

	Конструкторская подготовка производства	Технологическая подготовка производства	Производство и поставки	Эксплуатация	
Процессы	Компоновка	Проектирование технологического состава	Управление целеустремленными гибкими, адаптивными бизнес-процессами, а не ресурсами или «поставками»	Контрольный осмотр	
	Проектирование конструкторского состава	Разработка сквозного технологического процесса		Ведение производственных заказов	Ежедневное техническое обслуживание
	Параметрическое 3D-моделирование (с PMI)	Разработка технологических 3D-моделей	Объемное планирование производства	Контрольно-технический осмотр	
	Параллельное проектирование	Разработка эскизов операций	Оперативно-календарное планирование производства	Техническое диагностирование	
	Ассоциативное проектирование	Автоматизированный расчет норм основных материалов	Объемное планирование поставок материалов, комплектующих, инструмента и оснастки	Контроль технического состояния	
	Кинематический анализ	Автоматизированный расчет норм трудоемкостей	Расчет плановых прямых и общих затрат (по заказам и изделиям)	Техническое обслуживание № 1	
	Конечно-элементный анализ	Автоматизированный выбор инструмента и режимов обработки	Учет выполнения производственных операций (по заданиям/нарядам)	Техническое обслуживание № 2	
	Имитационное моделирование функционирования изделия	Автоматизированное проектирование управляющих программ и постпроцессоров	Учет перемещений материалов, комплектующих, полуфабрикатов	Сезонное обслуживание	
	Анализ логистической поддержки		Учет расхода материалов, комплектующих и деталей	Регламентированное техническое обслуживание	
	Разработка ИЭТР	Имитационное моделирование производственного процесса	Учет фактических прямых и общих затрат	Текущий ремонт (простой)	
		Формирование комплекта технической документации по ЕСТД и нормативным документам завода	Контроль и анализ выполнения плана производства	Текущий ремонт (сложный)	
			Диспетчирование производственных заданий	Средний ремонт	
			Контроль и анализ выполнения плана поставок	Капитальный ремонт	
		Сквозное проектирование	Контроль и анализ движения товарно-материальных ценностей	Капитальный ремонт с модернизацией	
			Контроль и анализ отклонений фактических прямых затрат от плановых	Капитальный ремонт узлов и агрегатов	
			Управление активами (ISO 55000)	Гарантийный ремонт	
			Управление производственными процессами (MES)	Планирование поставок комплектующих и запасных частей	
		Управление изменениями (СМ)			Поставка комплектующих и запасных частей
		Управление поставками (заказами)			
		Управление единой системой нормативно-справочной информации + Управление онтологиями			
	Интегрированная логистическая поддержка				

**Рис. 5.** Бизнес-процессы, автоматизируемые и управляемые с помощью интегрированной системы ПЖЦИ

- анализ логистической поддержки;
- управление производством (планирование и учет производственных операций);
- ассистирование выполнения технологических процессов (запуск, остановка и мониторинг выполнения производственных заданий) с загрузкой управляющих программ на станки с ЧПУ;
- мониторинг состояния оборудования и управление его техническим обслуживанием и ремонтом;

- формирование плановых и фактических прямых затрат на изготовление изделия.

Основные этапы жизненного цикла изделия, используемое программное обеспечение (ПО) и реализуемые функции приведены в таблице.

**Функционал ПО, реализующего поддержку различных этапов жизненного цикла изделия**

Используемое ПО	Реализуемые функции
<i>Этап конструкторской подготовки производства</i>	
NX	Нисходящее проектирование ЭМИ
Teamcenter	Организация доступа к данным ЭМИ в соответствии с правами доступа и выполняемыми задачами Ведение справочников материалов и покупных изделий Реализация БП согласования конструкторской документации и внесения изменений в нее
ANSYS / LS Dyna	Расчет механических нагрузок и деформаций пространственных конструкций с помощью конечно-элементного анализа Анализ вибраций, расчеты на прочность, оценка степени механических воздействий на конструкцию и ее элементы
Adams	Имитационное моделирование механизмов, включая двигатели внутреннего сгорания, трансмиссии, подвески, гидравлические подсистемы, упругие тела Подготовка данных имитационного моделирования для расчетов усталости/долговечности Расчет частот и форм собственных колебаний
LSA Suite	Анализ логистической поддержки, включая проектирование логистического состава изделия, логистической структуры функций, проведение анализа видов, последствий и критичности отказов, разработку программы планового технического обслуживания, описание технологических процессов обслуживания, расчет потребностей в запасных частях, расчет прямых затрат на техническое обслуживание
<i>Этап технологической подготовки производства</i>	
Teamcenter Manufacturing	Сквозное проектирование технологических процессов, включая разработку маршрутов, единичных технологических процессов, материальное и трудовое нормирование
NX	Проектирование промежуточных технологических моделей на основе ассоциативных копий ЭМИ

Используемое ПО	Реализуемые функции
NX CAM	<p>Проектирование моделей обработки деталей на металлорежущих станках с ЧПУ</p> <p>Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ</p> <p>Имитационное моделирование обработки деталей на станках с ЧПУ</p>
Teamcenter	<p>Организация доступа к данным ЭМИ в соответствии с правами доступа и выполняемыми задачами</p> <p>Ведение справочников материалов и покупных изделий</p> <p>Реализация БП согласования конструкторской и технологической документации и внесения изменений в нее</p>
<i>Этап производства</i>	
Omega Production	<p>Управление производством, включая объемно-календарное и оперативно-календарное планирование, учет (подтверждение) выполнения производственных операций, учет внутрицеховых и межцеховых перемещений</p>
Система ассистирования выполнения технологических процессов (ИМРА-киоски)	<p>Запуск, остановка и мониторинг выполнения пооперационных производственных заданий, получаемых из Omega Production с загрузкой управляющих программ из Teamcenter (через Omega Production) на станки с ЧПУ (через систему мониторинга и управления оборудованием MCIS)</p> <p>Контроль выполнения производственных заданий с уведомлением о нарушении установленных нормативов</p> <p>Мониторинг состояния оборудования на основе информации, получаемой в режиме реального времени из системы мониторинга и управления оборудованием MCIS</p> <p>Доступ к конструкторской документации (включая ЭМИ, промежуточные технологические модели) и нормативно-справочной информации (сведения о трудоемкости выполняемых операций, требуемых инструментах и оснастке)</p>
Система мониторинга состояния оборудования и управления оборудованием (MCIS)	<p>Предоставление информации в режиме реального времени о состоянии технологического оборудования, о фактическом ходе выполнения процессов с сопоставлением с установленными временными нормативами их выполнения</p> <p>Ведение данных о работах по техническому обслуживанию и ремонту с указанием мест проведения (станок, узел станка), группы ответственности (например: механическая подсистема, электрическая подсистема), межсервисного интервала, плановой длительности проведения работ</p>



Используемое ПО	Реализуемые функции
RealMaint	Формирование стратегии обслуживания оборудования Разработка эксплуатационного и функционального состава оборудования с оценкой критичности узлов Разработка дерева отказов оборудования по типам оборудования Анализ видов, последствий и критичности отказов оборудования Разработка и оптимизация планов обслуживания и ремонта оборудования по принципу максимизации надежности в рамках заданных финансовых ограничений
SAP ERP	Формирование плановых и фактических прямых затрат на изготовление изделия на основании технологических данных и данных подтверждения выполнения производственных операций

На рис. 6 изображена архитектура приложений, образующих интегрированную систему ПЖЦИ, стрелки обозначают обмен данными.

**Выводы.** Реализация проекта по созданию интегрированной системы ПЖЦИ позволила получить следующие основные результаты:

1. Организован процесс централизованного ведения нормативно-справочной информации с ее актуализацией в зависимых системах: системе управления производством, системе управления ресурсами предприятия.

2. Организован процесс сквозного проектирования технологических процессов на основе ЭМИ (включая процесс согласования конструкторской документации и внесения изменений в нее).

3. Обеспечено получение исходных данных, необходимых и достаточных для выполнения оперативно-календарного планирования производства.

4. Обеспечены сбор и передача конструкторско-технологических данных для расчета плановой себестоимости в системе управления ресурсами на платформе SAP ERP (состав изделия (спецификация), технологическая карта (конкретный вариант технологического процесса) с нормами трудоемкости и материальных затрат).

Дальнейшее развитие интегрированных систем ПЖЦИ необходимо осуществлять в направлении создания полноценной системы управления жизненным циклом изделия. При этом обязательным условием должно стать наличие функций обратной связи, т. е. возможности получать в режиме реального времени информацию о состоянии жизненного цикла изделия на всех его этапах — осуществлять мониторинг состояния, что позволит корректировать ключевые

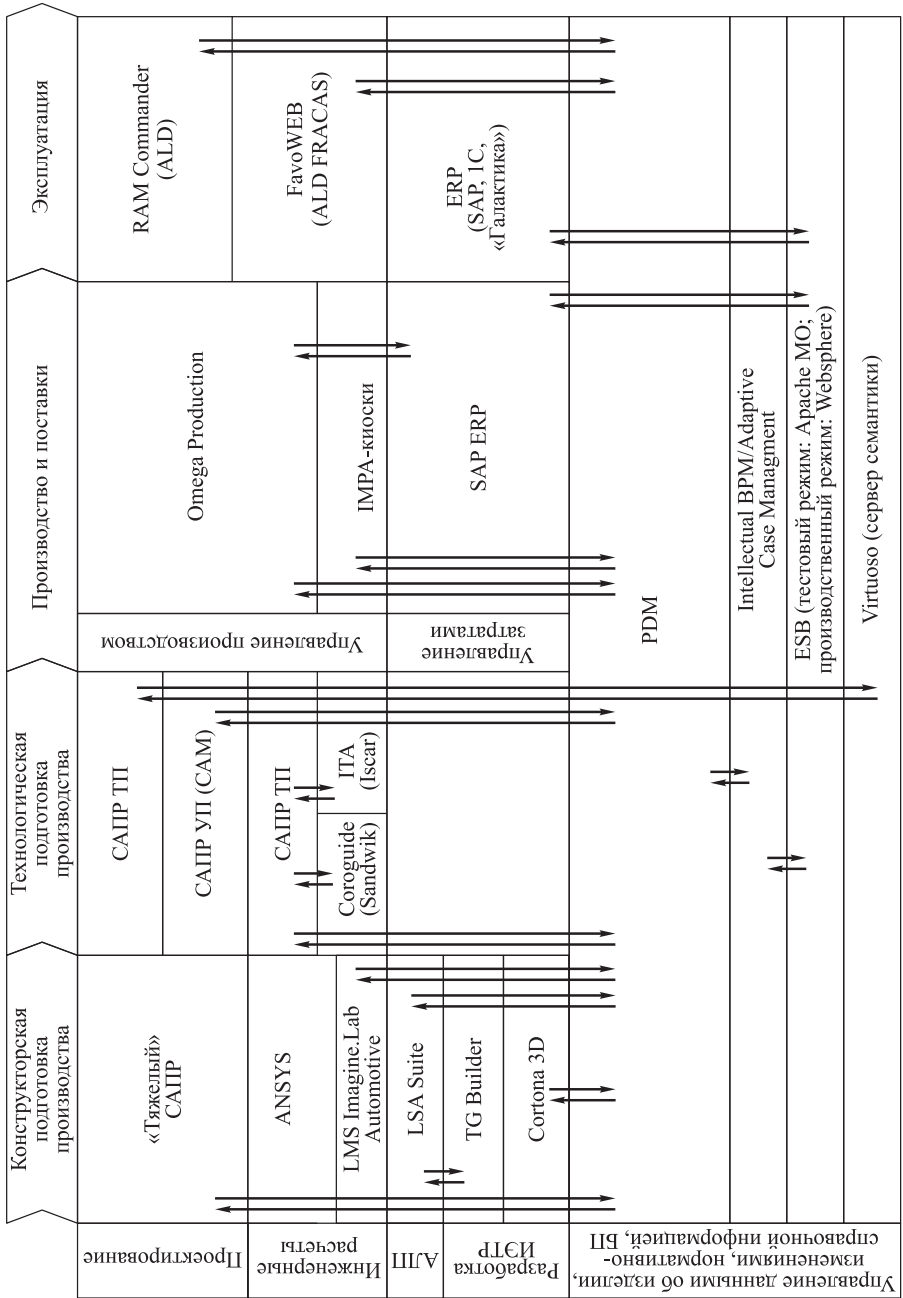


Рис. 6. Архитектура приложений, образующих интегрированную систему ПДЖЦИ

управляемые технологические параметры на этапах конструкторской, технологической подготовки производства, а также на этапе производства на основе объективной информации для достижения заданных параметров качества изделия и минимизации издержек на предприятиях наукоемкого машиностроения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мугак Т.А., Терехин И.А. Применение концепции JUST-IN-TIME на отечественных предприятиях. *Успехи современного естествознания*, 2014, № 7, с. 141–143.
- [2] Майкл Дж.Л. *Бережливое производство + шесть сигм. Комбинируя качество шести сигм со скоростью бережливого производства*. Москва, Альпина Паблишер, 2007, 400 с.
- [3] Норенков И.П., Кузьмик П.К. *Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 320 с.
- [4] Дмитров В.И. CALS как основа проектирования виртуальных предприятий. *Автоматизация проектирования*, 1997, вып. 5, с. 2–9. URL: <http://www.osp.ru/ap/1997/05/13031648/> (дата обращения 25.10.2015).
- [5] Обухова Е. На всю жизнь. *Эксперт*, 2013, № 24. URL: <http://expert.ru/expert/2013/24/na-vsyu-zhizn/> (дата обращения 25.10.2015).
- [6] Дмитров В.И., Макаренков Ю.М. CALS-стандарты. *Автоматизация проектирования*, 1997, № 2. URL: <http://www.osp.ru/ap/1997/02/13031610/> (дата обращения 25.10.2015).
- [7] Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. *Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия*. Санкт-Петербург, СПбГУ ИТМО, 2010, 180 с.
- [8] Судов Е.В., Левин А.И. *Концепция развития CALS-технологий в промышленности России*. Москва, НИЦ CALS — Прикладная логистика, 2002, 130 с.
- [9] Р 50.1.031–2001. *Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции: Рекомендации по стандартизации*. Москва, Госстандарт России, 2001.
- [10] Репин В.В., Елиферов В.Г. *Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов*. Москва, Манн, Иванов и Фербер, 2013, 522 с.
- [11] Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. Springer, 2013, vol. 1, 2.
- [12] Kuzin V., Kuzina G. CMMN Implementation in Executable Model of Business Process at Order-Based Manufacturing Enterprise. In: *Proceedings of the 2013 OTM Confederated International Workshops*. Berlin Heidelberg, Springer, 2013, vol. 8186, pp. 112, 123.

Статья поступила в редакцию 20.11.2015

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кузин Е.И., Кузин В.Е. Создание интегрированной системы поддержки жизненного цикла изделия. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 2.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/meng/1458.html>

**Кузин Евгений Иванович** родился в 1946 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1970 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 10 публикаций. Область научных интересов: управление сложными техническими объектами, CALS-технологии.  
e-mail: [evgeny.cuzin@yandex.ru](mailto:evgeny.cuzin@yandex.ru)

**Кузин Вадим Евгеньевич** родился в 1973 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1995 г. Начальник отдела комплексной автоматизации НПК «Уралвагонзавод». Автор пяти публикаций. Область научных интересов: управление сложными системами, имитационное моделирование, управление бизнес-процессами.

## Developing an integrated system of the product life cycle support

© E.I. Kuzin<sup>1</sup>, V.E. Kuzin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup>JSC “Research and production corporation ‘UralVagonZavod’”,  
Nizhniy Tagil, 622007, Russia

*The article deals with the main challenges, objectives and results of introducing the concept of life cycle support of sophisticated engineering systems at machinery manufacture. We consider the implemented enterprise architecture: the structure of information space, processes, and applications.*

**Keywords:** *sophisticated engineering systems, management of life cycle, support for sophisticated systems, CALS-technologies, enterprise architecture, business process management, single information space.*

### REFERENCES

- [1] Mugak T.A., Terekhin I.A. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Achievements of Modern Natural Science*, 2014, no. 7, pp. 141–143.
- [2] George L.M. *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality*. McGraw-Hill Companies Inc. Publ., 2002. [in Russian: George L.M. Berezhlivoe proizvodstvo plus shest sigm. Kombinirovaya kachestvo shesti sigm so skorostyu berezhlivogo proizvodstva. Moscow, Alpina Publisher, 2007, 400 p.].
- [3] Norenkov I.P., Kuzmik P.K. *Informatsionnaya podderzhka naukoemkikh izdeliy. CALS-tekhologii* [Information Support of High Technology Products. CALS-Technologies]. Moscow, BMSTU Publ., 2002, 320 p.
- [4] Dmitrov V.I. *Avtomatizatsiya proektirovaniya — Computer-Aided Design*, 1997, no. 5, pp. 2–9. Available at: <http://www.osp.ru/ap/1997/05/13031648/>.
- [5] Obukhova E. *Ekspert — Expert*, 2013, no. 24. Available at: <http://expert.ru/expert/2013/24/na-vsuyu-zhizn/> (accessed 25 October 2015).
- [6] Dmitrov V.I., Makarenkov Yu.M. *Avtomatizatsiya proektirovaniya — Computer-Aided Design*, 1997, no. 2. Available at: <http://www.osp.ru/ap/1997/02/13031610/> (accessed 25 October 2015).
- [7] Yablochnikov E.I., Fomina Yu.N., Salomatina A.A. *Kompyuternye tekhnologii v zhiznennom tsikle izdeliya* [Computer Technologies in the Life Cycle of the Product]. St. Petersburg, St. Petersburg State University ITMO Publ., 2010, 180 p.
- [8] Sudov E.V., Levin A.I. *Kontseptsiya razvitiya CALS-tekhnologiy v promyshlennosti Rossii* [The Concept of CALS-Technology Development in Russian Industry]. Moscow, NIC CALS — Prikladnaya Logistika Publ., 2002, 130 p.
- [9] P 50.1.031-2001. *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Terminologicheskii slovar. Ch. 1. Stadii zhiznennogo tsikla produktsii: rekomendatsii po standartizatsii* [Information Technology for the Product Life-cycle Support. Terminological dictionary. Part 1. Stages of Product Life Cycle: Recommendations for standardization]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 2001.
- [10] Repin V.V., Eliferov V.G. *Protsessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-protsessov* [Process Approach to Management. Business Process Modeling]. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber Publ., 2013, 522 p.

- [11] Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. Springer, 2013, vol. 1, 2.
- [12] Kuzin V., Kuzina G. CMMN Implementation in Executable Model of Business Process at Order-Based Manufacturing Enterprise. In: *Proceedings of the 2013 OTM Confederated International Workshops in Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, vol. 8186, pp. 112, 123.

**Kuzin E.I.**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: control of sophisticated engineering systems, CALS-technologies.

**Kuzin V.E.**, Head of the Complex Automation Department, JSC “Research and production corporation ‘UralVagonZavod’ ”. Research interests: control of sophisticated engineering systems, simulation, business process management.