

# УЧЕБНОЕ ВИРТУАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НА ПЛАТФОРМЕ КОМПЛЕКСА РЕШЕНИЙ АСКОН

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2013

УДК 621.001:681.3.01:658.011

Черепашков А. А., **УЧЕБНОЕ ВИРТУАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НА ПЛАТФОРМЕ КОМПЛЕКСА РЕШЕНИЙ АСКОН** (разработка и внедрение) / А. А. Черепашков, А. В. Букатин. – Сп-б.: ЗАО АСКОН, 2013. — 144 с.

Приведены материалы разработок экспериментального учебно-научного виртуального предприятия (УНВП), выполненных в Авторизованном учебном центре АСКОН при Самарском государственном техническом университете (СамГТУ).

УНВП представляет собой специализированное PLM-решение, предназначенное для обучения автоматизированному проектированию в интегрированной информационной среде пользователей машиностроительных САПР, созданное на основе программно-методического Комплекса АСКОН<sup>1</sup>. Внедренная в СамГТУ комплексная автоматизированная система учебно-научного назначения создана авторами на инициативной основе при поддержке компаний АСКОН (г. Санкт-Петербург) и АйТиКонсалт (г. Самара).

В данном руководстве, написанном по предложению отдела маркетинга компании АСКОН, обобщен и проанализирован опыт Авторизованного центра в области внедрения и развития Сквозной 3D-технологии АСКОН в техническом вузе. Применение УНВП в учебном процессе факультета машиностроения и автомобильного транспорта (ФМиАТ) показало положительный эффект при плановой подготовке специалистов, бакалавров и магистров техники и технологии, а также на курсах повышения квалификации преподавателей и сотрудников предприятий Самарского региона.

В книге системно изложены методические основы использования университетской поставки Комплекса решений АСКОН в качестве программной платформы при создании учебно-научного виртуального предприятия. Описана авторская методика учебного автоматизированного проектирования в среде УНВП. В иллюстрированное описание включены показательные выдержки из разработанных авторами учебных пособий и методических указаний к лабораторным и практическим работам.

Дан развернутый анализ информационной составляющей используемых на машиностроительных предприятиях промышленных стандартов ЕСКД/ЕСТД, а также основных положений международных и отечественных стандартов в области компьютерных технологий и систем.

Приведены инструкции и рекомендации по разработке авторских вариантов УНВП для преподавателей учебных заведений и авторизованных центров, аспирантов, студентов.

Приведенные материалы и разработки могут быть полезны практикующим инженерам и менеджерам промышленных предприятий, занимающимся вопросами подготовки кадров, а также техническим специалистам, участвующим в проектах внедрения комплексных автоматизированных систем на промышленных предприятиях и в КБ.

Информация, содержащаяся в данном документе, может быть изменена без предварительного уведомления.

Никакая часть данного документа не может быть воспроизведена или передана в любой форме и любыми способами в каких-либо целях без письменного разрешения авторов издания.

© А. А. Черепашков, 2013

© ЗАО АСКОН, 2013

<sup>1</sup> Наименования Комплекс решений АСКОН, КОМПАС, ВЕРТИКАЛЬ, ЛОЦМАН:PLM являются зарегистрированными торговыми марками ЗАО АСКОН.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1. Методические основы применения PLM-решений и интегрированных САПР в учебном процессе технического вуза</b> .....	8
1.1. Основные принципы создания, внедрения и использования учебно-научного виртуального предприятия в вузе.....	11
1.1.1. Принцип виртуальности учебного предприятия .....	11
1.1.2. Принцип прототипирования промышленного предприятия.....	12
1.1.3. Принцип имитации производственной среды.....	12
1.1.4. Принцип развития обучающих функций САПР .....	13
1.1.5. Принципы системного единства и комплексности применения ИТ.....	13
1.1.6. Принцип стандартизации .....	17
1.1.7. Принцип деятельностного подхода к обучению персонала САПР .....	17
1.2. Краткий курс CALS/ИПИ/PLM-технологий.....	18
1.2.1. Экономические и организационные предпосылки появления и развития комплексных систем .....	18
1.2.2. Роль и место САПР в жизненном цикле изделий (ЖЦИ) .....	20
1.2.3. Современное развитие концепции комплексной информационной поддержки подготовки производства изделий машиностроения .....	22
1.2.4. Автоматизированные системы поддержки и управления ЖЦИ .....	23
1.2.5. Концепция, стратегия и базовые принципы CALS/ИПИ/PLM.....	27
1.2.6. CALS/ИПИ/PLM-технологии.....	32
1.2.6.1. Технологии создания электронного описания изделий.....	33
1.2.6.2. Технологии интеграции данных об изделии .....	36
1.2.6.3. Технологии анализа и реинжиниринга бизнес-процессов .....	39
1.2.6.4. Технология параллельного инжиниринга .....	41
1.2.6.5. Методика разработки и внедрения комплексных решений .....	43
1.2.6.6. Методы и средства информационного моделирования.....	46

<b>2.</b>	<b>Стандарты и базовая терминология, применяемые в области автоматизированных систем и информационных технологий.....</b>	<b>50</b>
2.1.	Российское законодательство по стандартам в области ИТ .....	51
2.2.	Международные стандарты информатизации .....	53
2.3.	Практические выводы и рекомендации по использованию стандартов.....	53
2.4.	Основные термины и определения компьютерных технологий и АС.....	55
<b>3.</b>	<b>Анализ информационной составляющей процессов КТПП.....</b>	<b>60</b>
3.1.	Порядок разработки и постановки продукции на производство .....	61
3.2.	Рекомендации ЕСКД, связанные с использованием прикладных компьютерных технологий и САПР .....	63
3.2.1.	Виды изделий, их электронное описание в среде УНВП .....	64
3.2.2.	Конструкторские стадии разработки в УНВП .....	66
3.2.3.	Виды и комплектность конструкторских документов в УНВП .....	70
3.2.4.	Электронные конструкторские документы в УНВП .....	75
3.2.4.1.	Электронная цифровая подпись (ЭЦП) .....	77
3.2.4.2.	Электронная модель изделия .....	77
3.2.4.3.	Электронная структура изделия (ЭСИ).....	79
3.3.	Рекомендации ЕСТД, связанные с использованием прикладных компьютерных технологий и САПР .....	82
3.4.	Правила учета и внесения изменений в электронные технические документы .....	84
<b>4.</b>	<b>Пример разработки авторского сценария учебного автоматизированного проектирования в среде УНВП.....</b>	<b>89</b>
4.1.	Обобщенный алгоритм комплексного УАПР в среде УНВП .....	91
4.2.	Использование CAE-технологий и систем на ранних стадиях КТПП .....	97
4.3.	Применение CAD-технологий для автоматизации процедур конструкторской подготовки производства в УНВП.....	102
4.3.1.	Использование ЭМИ для автоматизации разработки проектно-конструкторской документации.....	106

4.3.2.	Разработка электронной модели сборки изделия в среде PDM-системы ЛОЦМАН .....	107
4.4.	Выполнение технологического проектирования в УНВП .....	108
4.4.1.	Применение САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ для автоматизации технологического проектирования .....	109
4.4.2.	Использование ЭМИ, ЭКД и ЭТД для технологического моделирования и автоматизации разработки программ для станков с ЧПУ .....	113
<b>5.</b>	<b>Руководства и инструкции по развертыванию, настройке и развитию средств обеспечения УНВП на платформе АСКОН .....</b>	<b>115</b>
5.1.	Планирование ресурсов и алгоритм развертывания комплексного решения АСКОН .....	115
5.1.1.	Выбор и установка общесистемного программного обеспечения.....	117
5.1.2.	Установка прикладного программного обеспечения .....	118
5.1.3.	Установка и администрирование серверной части комплекса .....	119
5.2.	Типовая структура и пример заполнения специализированного информационного обеспечения УНВП .....	121
5.2.1.	Структура и содержание информационных баз знаний УНВП.....	122
5.2.2.	Специальное методическое и организационное обеспечения УНВП.....	123
5.2.3.	Структура и содержание хранилища данных об учебных изделиях.....	125
5.2.4.	Наполнение и резервное копирование данных об учебных изделиях .....	128
5.3.	Рекомендации по использованию механизма ЛОЦМАН WorkFlow для управления учебным проектированием .....	128
5.3.1.	Назначение профессиональных ролевых функций пользователей УНВП .....	130
5.3.2.	Формирование и использование типовой схемы комплексного бизнес-процесса в УНВП.....	132
	<b>Библиографический список .....</b>	<b>136</b>
	<b>Приложения .....</b>	<b>139</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Университетский вариант Комплекса решений АСКОН приобретают вузы и заведения СПО, внедряющие в учебный процесс современные компьютерные технологии. И используют полученный обширный набор программ, описаний и других средств обеспечения САПР для достижения следующих основных целей.

1. Изучение алгоритмов и инструментария развертывания комплекса, освоение прикладного программного интерфейса и механизма интеграции с прикладным и общесистемным программным обеспечением на примере фирменного пакета программ.

Такие учебные задачи обычно ставятся при подготовке разработчиков и специалистов по внедрению САПР.

2. Разработка, апробация и исследование новых информационных технологий, реализуемых на базе средств обеспечений, поставляемых фирмами разработчиками САПР, а также решение прикладных инженерных и научных задач в предметной области кафедр и лабораторий вузов.

Такие работы могут проводить в вузах при выполнении коммерческих и подготовке инициативных договоров с предприятиями, а также в познавательных и научно-исследовательских целях.

3. Использование отдельных (локальных) компонент и средств обеспечения промышленных САПР, из Комплекса, установленного в компьютерных классах и вычислительных центрах для поддержки учебного процесса при проведении лабораторных и практических работ.

Программное и методическое обеспечение Комплекса решений АСКОН может найти применение в широком спектре образовательных программ и курсов, связанных с изучением современных информационных технологий и инновационных методов технической подготовки производства.

4. Практическое применение прикладных подсистем САПР при выполнении учебных проектных работ.

Графические редакторы, модули инженерного анализа и технологической подготовки производства, входящие в состав интегрированных САПР, активно используются в самостоятельной работе студентов, при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ по различным техническим дисциплинам и направлениям подготовки.

5. Целевая компьютерная подготовка квалифицированных инженерных кадров, владеющих всем комплексом современных технологий автоматизированного проектирования и навыками работы в едином информационном пространстве предприятия (ЕИП/ИИС).

Кстати, владение технологиями автоматизированного проектирования и приемами практической работы в среде *информационных систем* выступает в качестве важнейших профессиональных компетенций, формирование которых регламентируется новыми образовательными стандартами.

Комплексное обучение методам, средствам и технологиям автоматизированного проектирования особенно актуально при организации целевой подготовки кадров в интересах прикладной отрасли или базовых предприятий вуза. При этом обучение студентов — будущих пользователей САПР может проводиться на регулярной основе (в рамках стандартных учебных планов и дополнительно), а также по заказам предприятий при проведении на этих предприятиях внедренческих работ.

Цели 1-2 обычно ставятся «компьютерными» кафедрами и подразделениями вузов, профессионально занимающимися информационными технологиями и осуществляющими обучение специалистов в области разработки и внедрения САПР.

Реализация подобных задач предполагает наличие достаточно высокой системной и программистской квалификации как у преподавателей, так и у студентов. Для обучения такого контингента требуется расширенная поставка программного обеспечения, инструментарий API, стандартное, но весьма подробное методическое обеспечение, включая описания форматов файловой системы и программных интерфейсов.

Доступ к расширенным описаниям и текстам программ возможен в случае использования открытого программного обеспечения. Большинство коммерческих западных фирм не раскрывает своих технологий и средств разработки, относящихся к классу ноу-хау. Расширенные поставки в вузы становятся уникальным событием для фирм-разработчиков, оговариваются целым рядом условий (имеют определенные ограничения на использование и передачу) и формируются индивидуально для каждого потребителя.

Цели 3–5, связанные с практическим использованием средств автоматизации проектных работ, востребованы учебными заведениями значительно чаще. Технологии и элементы средств обеспечения САПР применяются на регулярной основе множество технических кафедр и лабораторий «некомпьютерного» профиля. Например, графические редакторы и моделиеры машиностроительных САПР используются для компьютерной поддержки в большинстве общетехнических курсов, связанных с черчением, компьютерной графикой, теоретической механикой, деталями машин и пр.

Выпускающие и специальные кафедры технических вузов нуждаются уже в существенно более полном функционале ПМК САПР, необходимых для решения прикладных задач конструкторского и технологического проектирования.

Поставки в вузовские центры отдельных «коробочных» программных продуктов, входящих в состав фирменных комплексов САПР, в

настоящее время носят массовый характер и по количеству лицензий даже могут превышать число автоматизированных рабочих мест, действующих на промышленных предприятиях города или региона. Однако для внедрения в учебных заведениях технологий и средств интегрированных САПР требуется специальная адаптация разработанных для промышленного применения комплексных решений к целям, условиям и методикам вузовского учебного процесса.

Рассмотренные выше обстоятельства позволяют определить отличительные особенности вариантов развертывания и сформулировать основные требования к учебному PLM-решению. По мнению авторов для достижения наибольшего учебного эффекта Университетскую поставку Комплекса решений АСКОН необходимо снабдить следующими специальными компонентами.

**МЕТОДИЧЕСКИМИ РАЗРАБОТКАМИ**, учебными пособиями и материалами по основам CALS/ИПИ/PLM-технологий, а также рекомендациями по использованию PLM-решений в учебном процессе вуза.

**ТИПОВЫМ ПРИМЕРОМ СЦЕНАРИЯ** комплексного учебного автоматизированного проектирования (УАПР), необходимым для разработки авторского варианта алгоритма УАПР по конкретным направлениям и профилям подготовки студентов на местах.

**ОБОБЩЕННЫМ ВАРИАНТОМ СТРУКТУРЫ** электронных баз данных УНВП, а также рекомендациями по наполнению и развитию специализированного информационно-методического обеспечения, предназначенного для поддержки авторской методики УАПР.

**ОБРАЗЦАМИ И ПРИМЕРАМИ** организационного обеспечения учебной САПР, включая типовые формы документов, инструкции и планы по выполнению лабораторных и проектных работ.

**РУКОВОДСТВАМИ И ИНСТРУКЦИЯМИ** по настройке и использованию системы управления инженерными данными (PDM) и потоком работ (Workflow) для организации управления учебной проектной деятельностью.

**АДАПТИРОВАННОЙ МЕТОДИКОЙ** инсталляции и настройки программно-информационного комплекса, ориентированной на установку, эксплуатацию и сопровождение средств обеспечения САПР преподавательским и учебно-вспомогательным персоналом типовой учебной компьютерной лаборатории.

Доц. А. А. Черепашковым написана теоретическая часть монографии (разделы №№ 1–3), разработана типовая методика учебного автоматизированного проектирования. Аспирантом А. В. Букациным подготовлены иллюстрации к книге и инструкции раздела № 5. Авторы благодарны всем студентам, аспирантам и сотрудникам центра компьютерного проектирования ТМ ФМиАТ СамГТУ, принимавшим участие в разработке, реализации и опытной эксплуатации экспериментального УНВП, а также преподавателям компьютерного цикла кафедры «Технология машиностроения» за ценные советы и замечания. Авторы выражают свою признательность за поддержку проекта руководству СамГТУ и лично декану факультета МиАТ проф. Н. В. Носову

# 1. Методические основы применения PLM-решений и интегрированных САПР в учебном процессе технического вуза

Одной из главных тенденций развития информационных технологий производственного назначения является комплексная компьютеризация всего жизненного цикла продукции. Методологической основой для пропаганды и развития идей комплексной автоматизации и интеграции промышленных систем в настоящее время выступает стратегия CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывное развитие и поддержка жизненного цикла продукции на основе новых информационных технологий) [1—7]. CALS—технологии позволяют разработать и обеспечить эффективное функционирование интегрированной системы управления жизненным циклом изделия (ЖЦИ), так называемого PLM-решения (Product Life cycle Management) [8—10].

Создание комплексной PLM-системы — весьма затратный и длительный процесс, затрагивающий деятельность большинства служб и подразделений предприятия [1—3]. В индустриально развитых странах достижения CALS/PLM, прежде всего, используются в сложном машиностроении (авиа-, авто- и пр. [1—6]), где в цепочке прикладных систем, поддерживающих этапы жизненного цикла изделия, в наибольшей мере разработаны технологии интеграции для CAD/CAM/CAE-систем. В нашей стране эту область промышленной информатики принято называть обобщающим термином «САПР» [2].

Решаемые с помощью CALS/PLM-технологий задачи весьма широко раздвигают традиционные рамки САПР, а на одно из ведущих мест выходят проблемы управления процессами проектирования, производства и эксплуатации, в том числе автоматизация документооборота, логистика и управление качеством выпускаемой продукции [5, 8].

До сих пор в академических кругах поднимаются вопросы «А САПР ли это?» и «Чему учить будущих инженеров?». Похоже, что профессиональные разработчики систем автоматизированного проектирования ответ фактически уже дали. Практически все ведущие фирмы — производители программного обеспечения САПР в настоящее время активно создают собственные средства управления инженерными данными [9—11]. И к аббревиатуре, обозначающей область их деятельности, прочно добавилась еще одна важная часть — PDM (*Product Data Management* — система управления инженерными данными). Для внедренческих фирм-интеграторов, занимающихся автоматизацией проектирования и конструкторско-технологической подготовки

производства, PDM-система является основным инструментом при формировании комплексного PLM-решения предприятия [11].

Совершенно определено вопрос о принадлежности этой новой области знаний решен и в научном плане. В действующей редакции паспорта научной специальности «Системы автоматизации проектирования» включены вопросы: «Разработка научных основ реализации жизненного цикла ..., построения интегрированных средств управления ... и унификации прикладных протоколов информационной поддержки, ... построения средств автоматизации документирования, безбумажного документооборота, ... электронных архивов».

Знания, умения и навыки владения технологиями автоматизированного проектирования и управления электронным документооборотом выдвигаются в число основных компетенций современных специалистов. Действительно, эффективность САПР во многом определяется не только совершенством техники и программного обеспечения, но, прежде всего, квалификацией персонала – самого важного звена этой организационно-технической системы, зачастую оказывающегося еще и самым слабым звеном [7].

САПР (CAD-CAM-CAE-, и в том числе CALS-технологии, за которыми в России уже закрепилась аббревиатура ИПИ (технологии информационной поддержки жизненного цикла изделий) [6]) в 2002 г. были включены отдельной строкой в Перечень критических технологий РФ и вошли в общий комплекс информационных технологий в действующей редакции перечня. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 3.11.2011 г. (№ 1944-р) большинство специальностей, связанных с информационными системами и технологиями, проектированием машин и автоматизацией технологических процессов и производств, включено в перечень ведущих вузовских направлений подготовки, а непосредственно САПР отнесены к специальностям научных работников, соответствующим «Приоритетным направлениям модернизации и технологического развития российской экономики».

Внедрение комплексных проектов автоматизации в отечественной промышленности сдерживается не только нехваткой высококвалифицированных и опытных специалистов во внедренческих подразделениях фирм и организаций, но, прежде всего, отсутствием знаний и навыков работы в интегрированной информационной среде (ИИС) у работников КБ, проектных институтов и промышленных предприятий. Практика показывает, что даже самые лучшие проекты автоматизации не находят реальной поддержки на производстве при отсутствии достаточно глубокой, современной информационной культуры у персонала всех уровней, даже непосредственно не связанных с работой за компьютером [8–10].

Наличие выдающихся инженеров, виртуозно справляющихся с работой на локальных автоматизированных рабочих местах, еще не гарантирует эффективной работы интегрированной системы в целом. Для обеспечения целенаправленной коллективной деятельности персонала в среде сложной организационно-технической системы требуются не только навыки управления техническими и программными средствами на конкретном рабочем месте, но и достаточно глубокое понимание каждым участником методов и принципов функционирования всего комплекса средств автоматизации. Для этого нужны специалисты с развитым системным подходом, пониманием содержания и роли информационных процессов, вооруженные знаниями методологии, стандартов и умениями комплексного использования промышленных автоматизированных систем при решении не только своей, но и смежных задач. Можно утверждать, что первоначальная массовая подготовка кадров в области комплексной автоматизации и компьютеризации является совершенно необходимой предпосылкой для успешного внедрения корпоративных информационных систем в промышленности [12].

В какой мере и каком количестве будут востребованы промышленностью «чистые специалисты» по информационной интеграции, которых начали готовить некоторые вузы? Это покажет время. Но уже становится ясно, что определенную подготовку в данной области компьютерных наук должны получать все потенциальные пользователи корпоративных информационных систем. Термин «пользователь» в данном случае приходится употреблять в самом широком смысле. Пользователями комплексных автоматизированных систем являются не только проектировщики (конструктора и технологи), но и работники всех смежных подразделений, а также руководители всех уровней, так или иначе участвующие в процессах организации и подготовки современного автоматизированного производства. То есть причастными к этой новой области знаний должны быть не только «компьютерщики», а большая часть состава инженерных отделов, менеджеры всех уровней, работники экономических служб, снабжения и т. д. В том числе, технологии комплексной автоматизации тесно смыкаются с проблемами управления качеством.

Конечно, необходимо начинать подготовку будущих пользователей промышленных автоматизированных систем уже на студенческой скамье. Беспрецедентный темп развития компьютерных технологий требует организации регулярной переподготовки сотрудников промышленных и эксплуатирующих предприятий.

Если изучение теоретических основ комплексной автоматизации и освоение локальных средств САПР может быть решено с помощью традиционных учебных методик [7], то проблема практического освоения комплексных технологий остается открытой. С экономической точки зрения, и в обозримом будущем трудно рассчитывать на полноценное

использование производственной базы коммерческих акционерных предприятий для организации массового обучения студентов.

Для информационной поддержки учебного процесса по промышленным компьютерным технологиям в условиях учебного заведения предлагается использовать своеобразные комплексные компьютерные модели (прототипы) PLM производственного предприятия. Функциональные возможности новых информационных технологий и программных средств обеспечения автоматизированных систем, поставляемых ведущими производителями САПР, позволяют реализовать практически весь комплекс работ по технической подготовке производства в едином информационном пространстве — виртуально. Все рабочие места такого виртуального предприятия связаны между собой только компьютерной сетью и территориально могут располагаться в компьютерных классах, лабораториях, учебно-производственных центрах вуза и даже частично на базовых предприятиях. А название «Учебное виртуальное предприятие» как нельзя лучше соответствует «духу и букве» задачи обучения технологиям комплексной автоматизации в промышленности [13–15].

## **1.1. Основные принципы создания, внедрения и использования учебно-научного виртуального предприятия в вузе**

Развернутая формулировка следующих принципов позволяет в концентрированном тезисном виде изложить концепцию и выделить ключевые элементы создания УНВП [13].

### **1.1.1. ПРИНЦИП ВИРТУАЛЬНОСТИ УЧЕБНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.**

Виртуальное предприятие (ВП, virtual enterprise) — это один из относительно новых терминов, введенных в науку и практику автоматизации проектирования благодаря появлению CALS/ИПИ/PLM-технологий и определяемый как «группа предприятий, объединившихся для достижения общей цели и взаимодействующих посредством распределенной информационной среды» [16]. Следует отметить, что использование понятия виртуальности или виртуализации необычайно популярно в различных областях компьютерных технологий [7]. Начав свое победное шествие несколько десятилетий назад с виртуальной оперативной памяти ЭВМ, сегодня виртуализация достаточно привычно воспринимается в таких словосочетаниях, как виртуальная реальность, виртуальная лаборатория и даже виртуальная инженерия. Целесообразность создания виртуальных предприятий всерьез начала обсуждаться в экономической литературе еще в прошлом веке. Существуют даже деловые игры для обучения менеджеров, использующие аббревиатуру «ВП» в своем названии.

**ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ** понятие, которое в последние годы стало общепринятым в области компьютерных технологий обучения, когда с использованием имитационных моделей процессов и явлений материального мира, «оживленных» компьютерной графикой и анимацией, проводятся учебные исследования и эксперименты по различным дисциплинам и темам.

**ВИРТУАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ** — это комплекс технологий, появившихся благодаря развитию систем автоматизированного проектирования (САПР – CAD/CAM/CAE), позволяющих провести все стадии разработки нового технического объекта полностью на компьютере, не прибегая к традиционным (бумагоориентированным) методам проектирования и расчета.

В данной работе рассматривается использование учебного ВП в качестве лабораторной и опытно-научной базы учебного заведения, предназначенной для практического освоения методов, средств и технологий автоматизированного проектирования и технической подготовки производства. Что позволяет ввести в обращение общее название — учебно-научное виртуальное предприятие (УНВП) вуза [12].

### **1.1.2. ПРИНЦИП ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.**

Прототипом при создании УНВП вуза может выступать конкретное промышленное предприятие или обобщенная модель предприятий, в которой используется или имитируется организационная и информационная структура, построенная по типовой отраслевой схеме. В данном случае формируется единое информационное пространство (ЕИП), приближенное к реальным условиям и отражающее специфику определенной предметной области.

### **1.1.3. ПРИНЦИП ИМИТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ.**

Уже в силу своего образовательного предназначения учебное виртуальное предприятие должно обладать существенными отличиями от промышленного аналога. Целью персонала учебного ВП является не выпуск товарной продукции, а практическое освоение и опытная отработка взаимосвязанного комплекса информационных технологий, соответствующих программных и технических средств автоматизации, информационных моделей и стандартов. УНВП, развернутое в вузовских компьютерных центрах и классах, может совсем не использовать материальных объектов, а оперировать только их информационными моделями и имитаторами.

Решение малоразмерных и компактных учебно-исследовательских задач позволит реализовать интеграционные цепочки информационных технологий опережающими темпами, по сравнению с промышленными предприятиями, а отсутствие потребности в материальных ресурсах минимизирует затраты.

#### **1.1.4. ПРИНЦИП РАЗВИТИЯ ОБУЧАЮЩИХ ФУНКЦИЙ САПР.**

Специфическим и существенным отличием учебного виртуального предприятия от промышленных аналогов является необходимость автоматизации обучающих функций. Таким образом, при реализации расширенного варианта УНВП встает вопрос об интеграции в учебное PLM-решение специализированного программного информационного и методического обеспечения. Например, электронных книг и учебников, автоматизированных обучающих систем (АОС), программ тестирования, компьютерных тренажеров и т. д. [14]. А в дополнительных прикладных программах и автоматизированных системах, задействованных в УНВП, необходимо особым образом акцентировать и развивать их потенциальные обучающие возможности.

Конечно, реальные PDM-системы, разрабатываемые САПРовскими фирмами, предназначены, прежде всего, для промышленного использования. Они оперируют такими понятиями, как состав изделия, технология изготовления, материальное и трудовое нормирование, 2D- и 3D — геометрические модели, деталь, спецификация, сборочная единица и т. п. Но, по большому счету, основной продукцией УНВП являются специалисты, успешно прошедшие курс обучения. Только в рамках УНВП естественным представляется хранение в PDM-системе наряду с технической информацией данных по «жизненному циклу» самого обучаемого. От начала подготовки до дипломного проектирования (и даже далее) могут сохраняться все учебные работы, информация об успеваемости, освоенных курсах обучения и т. п.

#### **1.1.5. ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО ЕДИНСТВА И КОМПЛЕКСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.**

С системных позиций УНВП, создаваемое для компьютерной поддержки учебного процесса по освоению промышленных информационных технологий в условиях учебного заведения, можно рассматривать как интегрированную автоматизированную систему, являющуюся учебным прототипом комплексного системного решения автоматизации производственного предприятия [14].

В системах высокого уровня зачастую ставят задачи интегрировать в единое целое все компьютерные технологии и системы, представленные в разнородных подразделениях большой корпорации, включая бухгалтерию, офисный документооборот и пр. В УНВП, предназначенном для освоения методов и средств автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), автоматизированная система управления предприятием (АСУП), скорее всего, будет функционировать в имитационном режиме.

Таким образом, интеграционным ядром УНВП, как это и предусмотрено в методологии CALS/PLM, является система управления инженерными данными (PDM), включающая подсистему управления

потоком работ (WorkFlow). Для обучаемых PDM-система играет роль рабочей среды, реализуя средствами WorkFlow сценарий учебной деятельности, разработанный преподавателем.

Идея сквозного учебного проектирования не нова и достаточно очевидна, но весьма проблематичным и сложным получается механизм реализации полномасштабного проекта в условиях учебного заведения. Так, многие проблемы возникают из-за организационных, ресурсных, кадровых, информационных, территориальных, пространственных и прочих барьеров между кафедрами и другими подразделениями. Наиболее удачным решением представляется организация УНВП в структуре информационного центра уровня факультета (рис. 1.1.1).

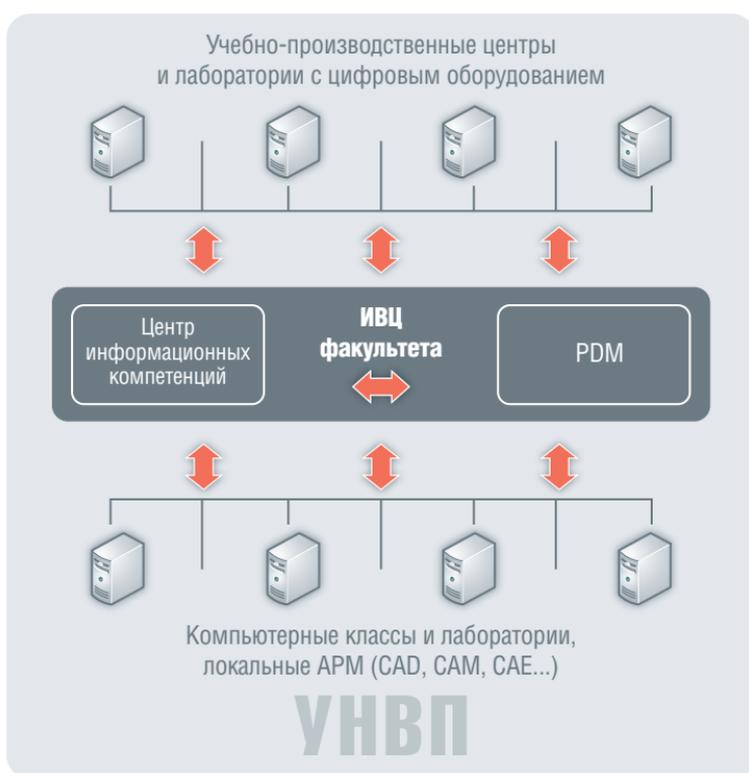


Рис. 1.1.1. Организационная структура УНВП, развернутого на базе факультета технического вуза

При слиянии в едином информационном пространстве территориально или организационно разрозненных ресурсов и средств научно-производственного назначения виртуальное предприятие реализуется в классическом виде, определяемом терминологией промышленных стандартов [16]. С этих позиций УНВП можно трактовать как комплексную автоматизированную организационно-техническую систему, объединяющую в рамках виртуальной интегрированной информационной среды различные (по подчиненности и собственности)

подразделения и средства автоматизации учебного заведения, учебно-производственных центров и базовых предприятий. Но данное определение не является полным и достаточным, если ВП в учебном заведении организовывать и рассматривать только по формальным признакам, выделяющим приоритет физической составляющей: оборудование, помещения, ставки и пр., отводя компьютерным средствам и технологиям исключительно информационно-коммуникационные функции.

С учетом поставленных целей и решаемых задач мы будем определять УНВП прежде всего как «специализированное PLM-решение интегрированной автоматизированной системы, реализующее на базе учебного заведения комплекс промышленных технологий автоматизированного проектирования и управления проектно-производственными этапами жизненного цикла изделий, предназначенное для практической подготовки инженерных кадров (персонала САПР) и научных исследований в области информационных технологий поддержки производства» [15].

Термины «системность» и «комплексность» в технике часто применяются как синонимы. С общенаучной точки зрения, система (от греческого *systema* — соединение, составленное из частей) понимается как совокупность элементов, определенным образом связанных между собой и образующих в своем единстве некоторую целостность, обладающую новыми качествами. Понятие комплексности в современной практике разработки САПР чаще используется как характеристика процесса автоматизированного проектирования для акцентирования таких системных свойств, как полнота охвата (полнофункциональность) и неразрывность всей цепочки автоматизированных проектных работ и технологической подготовки производства [7]. PDM в этом случае выступает как основной инструмент информационной интеграции всех компонент и технологий автоматизированного проектирования.

**ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОСТИ УАПР** отражает основную тенденцию развития современных систем промышленной автоматизации, предполагающую полную компьютеризацию и непрерывное выполнение всего цикла технической подготовки производства в едином информационном пространстве — в так называемой интегрированной информационной среде (ЕИП/ИИС) (рис. 1.1.2).

По определению УНВП должно опираться на представительный комплекс средств автоматизации, включая соответствующее масштаб поставленной задачи информационное, методическое, программное и другие виды обеспечения. Предлагаемый компанией АСКОН набор программно-методических средств позволяет смоделировать и практически полностью перевести в информационное пространство все основные процессы и процедуры КТПП (рис. 1.1.3).



Рис. 1.1.2. Комплексная автоматизация проектно-производственных этапов жизненного цикла изделий машиностроения, охваченных рамками УНВП

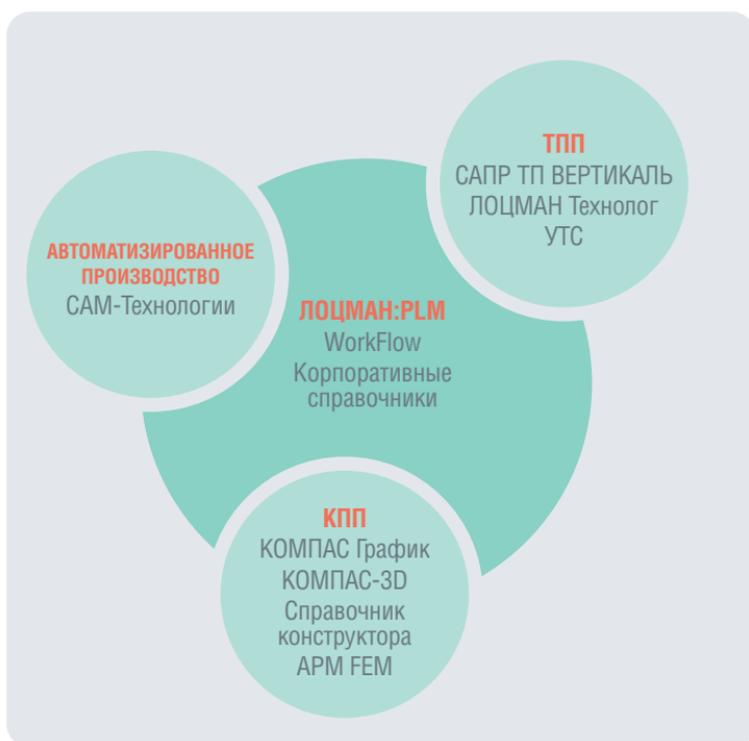


Рис. 1.1.3. Место Комплекса АСКОН на этапах ЖЦИ

Однако для организации в условиях вуза достаточно реалистического процесса производства инженерных работ требуется специальная методика учебного автоматизированного проектирования (УАПР). Методика УАПР в среде УНВП должна предусматривать использование обучаемыми полного набора взаимосвязанных прикладных информационных технологий промышленного назначения и при этом быть ориентирована на достижение максимального учебного эффекта.

УНВП должно обеспечить не только изучение современных методов и средств автоматизации, но может использоваться в качестве гибкого и легко модифицируемого виртуального полигона, позволяющего многократно и быстро изменять условия производственной среды. При этом в процессе учебной проектной деятельности в составе УНВП обучаемый получает возможности для апробации различных ролевых функций, присутствующих в сложной автоматизированной системе промышленного назначения.

#### **1.1.6. ПРИНЦИП СТАНДАРТИЗАЦИИ.**

Комплексный проект, выполняемый в среде УНВП, должен предусматривать прохождение обучаемым всех основных этапов и проектных процедур КТПП. Для типовой учебной методики, используемой в вузе, целесообразно остановиться на классической последовательности проектных работ, предусмотренных действующими национальными и международными стандартами, регламентирующими процессы разработки новой техники. Включая положительно зарекомендовавшие себя стандарты на создание и использование автоматизированных систем (АС), а также новые межнациональные стандарты промышленной интеграции.

#### **1.1.7. ПРИНЦИП ДЕЯТЕЛЬНОСТНОГО ПОДХОДА К ОБУЧЕНИЮ ПЕРСОНАЛА САПР.**

Цели и задачи создания и использования учебных виртуальных предприятий успешно сочетаются как с хорошо известной концепцией проектного обучения, так и с активно внедряемой в современную практику высшей школы парадигмой компетентностного подхода к подготовке специалистов.

Для обеспечения компетентностного подхода к обучению пользователей САПР, предусматривающего деятельностный характер формирования знаний, умений и навыков, как нельзя лучше подходят организационные формы деловой игры, оформленной в виде реалистичной модели производственного предприятия с полным циклом работ по технической подготовке производства. УНВП, построенное на платформе промышленного PLM-решения, должно создавать необходимые условия для реализации информационно-технической обучающей среды, обеспечивающей эффективное формирование и развитие достаточно сложного комплекса профессиональных компетенций пользователей САПР.

Наличие компетенций по применению прикладных пакетов программ промышленного назначения выступает как одно из важнейших требований к техническим специалистам в федеральных образовательных стандартах нового поколения. Причем «реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование

в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр)». Букве и духу этих рекомендаций к организации учебного процесса, заложенных в ФГОС (Федеральный государственный образовательный стандарт), как нельзя точно соответствуют концепции использования для обучения компьютерных тренажеров, учебных САПР и учебных виртуальных предприятий, создаваемых на базе вузовских компьютерных центров и лабораторий.

## 1.2. Краткий курс CALS/ИПИ/PLM-технологий

### 1.2.1. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Уже в конце прошлого века на мировом рынке изделий машиностроения наметился ряд объективных тенденций, в значительной мере определяющих направление развития материального производства, в том числе [3, 5]:

**1. ПОВЫШЕНИЕ СЛОЖНОСТИ И РЕСУРСОЕМКОСТИ ИЗДЕЛИЙ.**  
Промышленные изделия становятся все более развитыми по своей структуре, составу и используемым для их изготовления технологиям. Усложнение изделий и технологий, в свою очередь, приводит к повышению потребностей в ресурсах, необходимых для их разработки, производства и эксплуатации.

**2. УСИЛЕНИЕ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ.**  
Одновременно с увеличением сложности изделий увеличивается конкуренция между их производителями, которая вызывает снижение прибыли и рентабельности производства.

**3. РАСШИРЕНИЕ И УГЛУБЛЕНИЕ КООПЕРАЦИИ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА, ВОЗНИКШЕЕ КАК СЛЕДСТВИЕ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ И РАЗВИТИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРУДА.**  
Для создания и продвижения на рынок промышленных изделий приходится объединять усилия разрозненных и удаленных разработчиков, производителей и поставщиков. Благодаря развитию средств коммуникации и глобальных компьютерных сетей все шире применяются виртуальные предприятия (ВП) и офисы.

Все более острой и актуальной для каждого производителя становится проблема повышения конкурентоспособности своих изделий. Для достижения этой жизненно необходимой цели задействуются все возможные средства и методы. Наиболее известными организационно-техническими методами повышения эффективности производства являются следующие:

- ▶ всеобщее управление качеством (*Total Quality Management – TQM*);
- ▶ управление ресурсами предприятия (*Enterprise Resource Planning – ERP*).

Сюда же мы будем относить и эволюционных предшественников ERP: методологии «Управление потребностью в материалах» (*MRP – Material Requirements Planning*) и «Управление производственными ресурсами» (*MRP-II – Manufacturing Resource Planning*).

В ряду современных методов повышения конкурентоспособности производства свое место прочно заняла и методология информационной поддержки жизненного цикла изделий, изначально получившая известность под аббревиатурой CALS (*Continuous Acquisition and Life cycle Support* — непрерывное развитие и поддержка жизненного цикла продукции на основе новых информационных технологий), или, в русском варианте, ИПИ (информационная поддержка проектирования и производства изделий).

Методология CALS/ИПИ хорошо сочетается с первыми двумя методами. В этом случае PDM (система управления инженерными данными об изделиях), являющаяся специфическим программным продуктом CALS/PLM-технологий, выступает как инструмент автоматизации управления качеством и источник технической информации для ERP. В первом случае PDM не только обеспечивает доступ ИТР к нормативной информации и техническим архивам, но и поддерживает на должном уровне весь электронный технический документооборот. А информационные базы PDM содержат самый полный набор объективных инженерных данных об изделиях, необходимых для успешного функционирования той же ERP-системы.

Компьютерные технологии и компьютерное моделирование обладают поистине огромным инновационным потенциалом. Современные промышленные автоматизированные системы являются одними из самых эффективных, а в ряде случаев и незаменимыми инструментами, обеспечивающими решение проблем повышения качества, сокращения издержек и сроков внедрения сложной наукоемкой продукции.

В настоящее время практически на всех успешно действующих российских предприятиях активно внедряются или планируются к внедрению новые промышленные компьютерные системы и технологии [9–11]. Опыт создания PLM, описанный в материалах Научно-исследовательского центра CALS-технологий «Прикладная логистика» [8], демонстрирует существенный полезный эффект, получаемый от комплексной автоматизации технической подготовки производства наукоемких и сложных изделий:

- ▶ прямое сокращение затрат на проектирование — от 10% до 30%;
- ▶ сокращение общего времени разработки изделий — от 40% до 60%;
- ▶ сокращение времени выхода на рынок — от 25% до 75%;

- ▶ сокращение объема брака и доводок — от 23% до 73%;
- ▶ сокращение затрат на разработку технической документации — до 40%;
- ▶ сокращение затрат на подготовку эксплуатационной документации — до 30%.

Признание важности развития CALS/ИПИ-технологий в Российской Федерации на государственном уровне отражается в том, что на рубеже веков в разные годы были созданы важные элементы инфраструктуры, необходимой для разработки и внедрения CALS-технологий: Государственный научно-образовательный центр CALS-технологий [3], Научно-исследовательский центр (НИЦ) CALS-технологий «Прикладная логистика» [5, 8] и Технический комитет (ТК 431) Госстандарта России, координирующий разработку отечественной нормативной базы в данной области. Был также создан ряд советов и общественных организаций, способствующих внедрению CALS/ИПИ-технологий в российскую промышленность [1].

В большинстве документов, разработанных в этих компетентных органах и советах, наряду с техническими и организационными проблемами отмечается необходимость создания и развития системы подготовки и переподготовки инженерных кадров по новым информационным технологиям, а также важность внедрения CALS/ИПИ/PLM-технологий в учебный процесс вузов.

### **1.2.2. РОЛЬ И МЕСТО САПР В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИЗДЕЛИЙ**

Согласно определению, приведенному ГОСТ Р ИСО 9000, *жизненный цикл продукции (ЖЦ)* — это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации этой продукции.

Существуют различные модели жизненного цикла продукции, самые полные из которых насчитывают до 11 этапов [3], например:

1. Маркетинг и выявление потребности в продукции;
2. Проектирование и разработка продукции;
3. Планирование и разработка процессов производства;
4. Закупка материалов и комплектующих;
5. Производство или предоставление услуг;
6. Упаковка и хранение изделий;
7. Реализация продукции;
8. Монтаж и ввод в эксплуатацию;
9. Техническая помощь и сервисное обслуживание;
10. Послепродажная деятельность или эксплуатация;
11. Утилизация и переработка в конце полезного срока службы.

Иногда пользуются обобщенным перечнем этапов ЖЦИ, в котором выделяют следующие стадии:

- ▶ маркетинг;
- ▶ проектирование и разработка (включая технологическую подготовку производства);
- ▶ производство (включая закупки и испытания);
- ▶ поставка продукции (включая упаковку, хранение, доставку и монтаж);
- ▶ эксплуатация (включая техобслуживание, ремонт и утилизацию).

Комплексные решения ведущих производителей САПР, прежде всего и глубже всего автоматизируют проектно-производственные этапы ЖЦИ, но при этом достаточно активно вторгаются в область маркетинга и эксплуатации изделий машиностроения. Доказано, что необходимая эффективность от внедрения компьютерных технологий и компьютерного моделирования может быть получена именно при их реализации в составе комплексной системы информационной поддержки жизненного цикла изделий [5], так как многообразие процессов ЖЦ и необходимость их интенсификации требуют активного информационного взаимодействия субъектов, участвующих в их осуществлении и поддержке.

С усложнением изделий и ростом числа участников ЖЦ нелинейно растет объем создаваемой, обрабатываемой и передаваемой информации. Если не использовать средства автоматизации, то эффективность бизнес-процессов снижается вплоть до недопустимо низких показателей качества и эффективности производства.

Информационное сопровождение ЖЦ характеризуется следующими принципиальными особенностями:

- ▶ в отличие от локальной автоматизации отдельных рабочих мест и процессов решаются задачи комплексной автоматизации всех этапов и информационной интеграции всех подсистем;
- ▶ комплексные модели изделий отличаются большой разнородностью состава, включающего маркетинговые, конструкторские, технологические, производственные данные, а также, возможно, и данные об эксплуатации изделий и т. д.;
- ▶ используются преимущественно стандартные способы и технологии передачи данных, открытые архитектуры программного обеспечения и международные стандарты описания изделий;
- ▶ потребность в создании среды информационного взаимодействия компонентов интегрированной системы приводит к необходимости создания единого информационного пространства предприятия.

### 1.2.3. СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Современное машиностроение развивается в направлении полного перевода на компьютерные технологии всех этапов жизненного цикла изделий. Многочисленные зарубежные примеры и отечественный опыт показывают, что при профессиональном и тщательно обоснованном подходе к реализации проектов комплексной компьютеризации предприятий удастся существенно сократить время на разработку новых изделий, обеспечить ускоренное внедрение инноваций, одновременно повысив качество и конкурентоспособность продукции. Однако известны и отрицательные последствия неумелой, неполной или неподготовленной автоматизации проектирования и производства.

Исторически в машиностроении для автоматизации каждого этапа ЖЦИ разрабатывались локальные программные пакеты, которые устанавливались на ограниченном числе автоматизированных рабочих мест и использовались независимо, в разделенных по профессиональному признаку отделах и группах специалистов, вовлеченных в различные бизнес-процессы предприятия. Типичный для современного высокотехнологического производства комплексный подход к компьютеризации предполагает не только массовую, но и обязательно согласованную, совместную и целостную автоматизацию решения инженерно-технических и управленческих задач, выполняемых проектными, технологическими, производственными и иными подразделениями предприятия. В этом случае все основные, постоянно используемые, на предприятии локальные программы и компьютерные системы производственного назначения должны быть определенным образом связаны (интегрированы) в единую общую инфраструктуру, так называемую PLM-систему (от английского Product Life cycle Management — система управления жизненным циклом изделия).

Практически все ведущие фирмы — разработчики машиностроительных САПР [9] в настоящее время активно создают собственные средства управления инженерными данными. Причем зарубежные коммерческие фирмы-интеграторы не стали использовать рожденный в военном ведомстве НАТО термин CALS, который, к слову, прижился в российских стандартах, а предложили свою аббревиатуру — **PLM** [10].

В отличие от термина CALS/ИПИ, который стандартом определяется исключительно как методология, аббревиатура PLM используется производителями САПР и для обозначения методики (это так называемое *расширенное определение PLM*), и для обозначения конкретной автоматизированной системы, разработанной для определенного предприятия. В этом случае пишется: *PLM-решение* или *PLM-система* (рис. 1.2.1).



Рис. 1.2.1. Место PLM-системы в общем комплексе задач информационной поддержки жизненного цикла изделия

В машиностроительных PLM-решениях интеграция, прежде всего, затрагивает модели и данные, создаваемые на инженерных (проектно-производственных) этапах жизненного цикла продукции. Для этого все процессы разработки проектной и технологической документации, прикладных моделей и данных необходимо производить в компьютеризированном (электронном) виде. Современные технологии автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) предполагают создание общего электронного хранилища информации и организацию *электронного технического документооборота*.

#### 1.2.4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЖЦИ

В течение своего жизненного цикла машиностроительное изделие последовательно проходит ряд этапов, на каждом из которых используются различные методы и средства автоматизации.

В целом ряде публикаций и учебников по информационным технологиям [2, 6] приводится ставшая уже классической схема взаимодействия автоматизированных систем в процессах ЖЦИ. На рис. 1.2.2 приведен модифицированный и дополненный ее вариант.

На схеме выделены два центра автоматизации: PDM- и ERP-системы, добавлен важный для современной рыночной экономики этап маркетинга и нанесены соответствующие связи.

Даже такая разветвленная схема отражает только основные компоненты, этапы и связи между ними и не претендует на окончательность и завершенность. Это только подчеркивает сложность задачи комплексной автоматизации и интеграции ЖЦИ машиностроения и соответствует системному принципу постоянного развития и совершенствования автоматизированных систем и технологий.

На схеме использованы наиболее популярные и устоявшиеся обозначения автоматизированных систем, которые исторически сложились в процессе развития промышленных компьютерных технологий и основаны на аббревиатурах англоязычных названий систем.

Системы, средства и технологии, предназначенные для автоматизации отдельных процессов и этапов ЖЦ изделия, весьма многочисленны, постоянно развиваются и пополняются.

Автоматизированные системы, используемые для сопровождения жизненного цикла даже одного изделия, разнородны по своему назначению, функционированию и, что существенно, основаны на разнообразных моделях и методиках из различных предметных областей. Информационная и техническая сложность отдельных этапов жизненного цикла и соответствующих им автоматизированных систем требует для реализации различных по уровню и объему ресурсов, средств и затрат [1-7].

По назначению и профессиональной специфике используемые в процессах ЖЦ компьютерные системы и технологии можно условно разделить на три группы, которые развиваются во многом параллельно и автономно друг от друга.

► **КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА, АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ (КТТП И ТО).**

К этой группе, прежде всего, относятся системы автоматизированного конструирования (CAD — *Computer Aided Design*), технологической подготовки (CAM — *Computer Aided Manufacturing*, CAPP — *Computer Aided Process Planning*) и инженерного анализа (CAE — *Computer Aided Engineering*), используемые в КТТП. Коллективную работу над проектами и интеграцию на этом этапе обеспечивает применение PDM-систем. Сюда же можно отнести технологии виртуального предприятия и КБ.

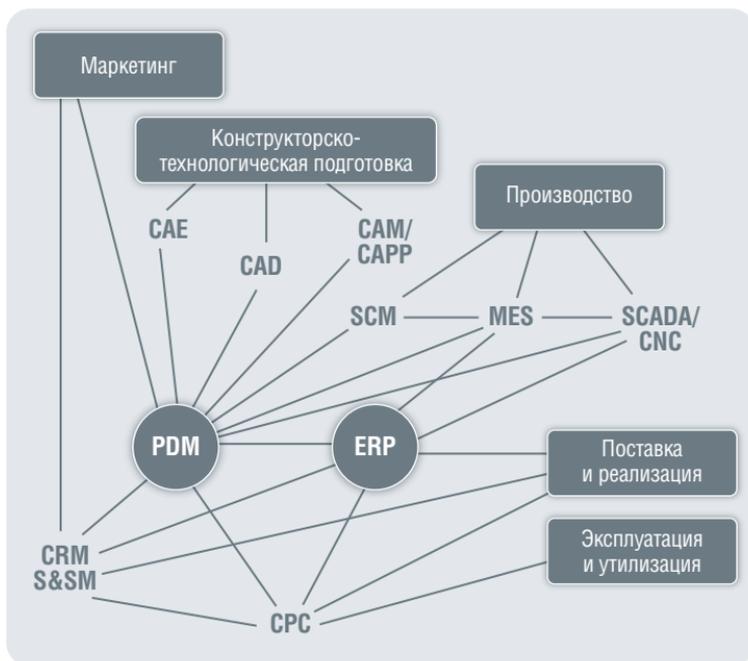


Рис. 1.2.2. Схема взаимодействия автоматизированных систем в процессе жизненного цикла изделий машиностроения

Без конструкторско-технологических моделей и данных, создаваемых в процессе КТПП, не могут обойтись системы информационной поддержки эксплуатации, обслуживания и ремонта изделий (ТО). Электронные конструкторско-технологические документы являются первоисточником при создании интерактивных технических руководств (ИЭТР/ИЕТМ — *Interactive Electronic Technical Manuals*) и обучающих подсистем.

Компьютерные технологии, изначально поддерживавшие только операции подготовки производства, уже давно перешагнули пороги, отделяющие инженерно-технические отделы и заводоуправление от цехов, и стали неотъемлемой частью технологической цепочки. На передовых машиностроительных предприятиях широко используется цифровое оборудование и АСУТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами). Например, для автоматизации производства применяются интегрированная в единое информационное пространство подсистема SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* — диспетчерское управление производственными процессами), предназначенная для автоматизации сбора и обработки данных о состоянии оборудования и технологических процессов, а также программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие управление производственным оборудованием и автоматическими линиями (CNC — *Computer Numerical Control*, компьютерное числовое управление). Наиболее развитые CNC-системы могут включать прикладное программное обеспечение, интерактивные средства

программирования и моделирования производственных процессов в компьютерах, установленные непосредственно в стойках управления станками с ЧПУ (*числовое программное управление*).

Перечисленные выше компоненты корпоративных автоматизированных систем чаще всего и составляют базовое наполнение PLM-решения (PLM-системы), предлагаемые промышленным предприятиям разработчиками и интеграторами САПР.

▶ **ПЛАНОВО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА, ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ.**

Специфическими для данного круга задач являются компьютерные системы, обеспечивающие автоматизацию управления производством (АСУП). За рубежом в этой области используют системы ERP (MRP) и MES (*Manufacturing Execution System*). В настоящее время на большинстве российских предприятий наблюдается вытеснение традиционных АСУП собственного производства коммерческими ERP-решениями.

Аппарат моделирования и технологии реализации задач управления производством достаточно хорошо разработан и продолжает успешно развиваться, о чем свидетельствуют многочисленные публикации. ERP-системы, связанные с автоматизацией управления производством, материальными и финансовыми ресурсами, в настоящее время в нашей стране получили широкое признание в качестве одного из инструментов повышения эффективности предприятия, особенно на экономически благополучных предприятиях в металлургической, нефтегазовой и добывающей промышленности.

▶ **МАРКЕТИНГ, ПРОДАЖА И ПОСТАВКА ИЗДЕЛИЙ, СНАБЖЕНИЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛОГИСТИКА.**

К средствам автоматизации для этой функциональной группы можно отнести программы, предназначенные для информационной поддержки работы с заказчиками, потребителями и субподрядчиками, то есть системы логистической поддержки изделия: SCM (*Supply Chain Management*), CRM (*Customer Relationship Management*). В компьютерной периодике можно найти впечатляющие показатели эффективности от внедрения систем работы с клиентами (CRM) и управления продажами (S&SM) в областях электронных коммуникаций и торговли. Иногда в бизнес-изданиях особо выделяют CPC (*Collaborative Product Commerce — совместный электронный бизнес*) — системы автоматизации ведения бизнеса и дистанционной работы с использованием глобальных компьютерных сетей. По коммерческому назначению и используемым ИКТ-технологиям к этой группе примыкают организационно-экономические *виртуальные офисы и виртуальные предприятия*.

Разумеется, многие информационные технологии тесно связаны и взаимно пересекаются в реальных автоматизированных системах. Траектория жизненного цикла изделия на практике не является одно-значно линейной, содержит циклы и разветвления. Общими для большинства этапов являются: информационные технологии баз данных, компьютерных сетей, офисного делопроизводства, электронного документооборота и многие другие.

Автоматизированные средства и технологии, попадающие в первую группу, признаны наиболее сложными компьютерными системами. На этапах проектирования, технологической подготовки и производства изделия, как правило, необходимо оперировать сложными физическими процессами и объектами, которые требуют высокоточных моделей, используют сложные математические методы и алгоритмы. На этих этапах формируются внешний облик, структура и состав изделия, определяются проектные параметры и эксплуатационные характеристики. Проектируется технология производства и происходит материализация первоначального замысла.

На этапах проектирования и технологической подготовки производства циркулирует самый мощный в ЖЦ информационный поток и выпускается основной объем технической и сопроводительной документации. Хотя итоговым потребителем электронных технических руководств (ИЭТР/ИЕТМ) являются покупатель, службы эксплуатации, обслуживания и ремонта, их разработка неэффективна без участия проектировщиков. Наиболее успешная и оперативная работа по созданию ИЭТР должна вестись с использованием возможностей PDM-системы.

Активное внедрение PLM-систем в России только начинается, опубликовано относительно немного научных работ, учебников и пособий, освещающих эту сферу прикладных компьютерных наук.

### **1.2.5. КОНЦЕПЦИЯ, СТРАТЕГИЯ И БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ CALS/ИПИ/PLM**

Согласно российским стандартам CALS/ИПИ определяется как «*концепция и идеология информационной поддержки жизненного цикла продукции*» [16].

Основной идеей этой концепции является повышение конкурентоспособности продукции за счет комплексной автоматизации всех процессов ЖЦ изделия и повышения эффективности управления информацией об изделии.

Концепция предполагает создание и использование *единого информационного пространства (ЕИП)* или *интегрированной информационной среды (ИИС)*, которая должна обеспечить быстрый и полный доступ к необходимой содержательной информации об изделии и

единообразные способы информационного взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков, поставщиков и производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала и т. д.

Реализация ЕИП/ИИС возможна только при использовании всеми участниками ЖЦИ единых правил взаимодействия и стандартов электронного обмена данными. Причем, чем шире будет круг распространения стандартов, тем легче и полнее будет происходить создание интегрированной информационной среды. Очевидно, что наибольший эффект может дать принятие нормативных документов (НД), регламентирующих интеграцию и обмен данными на государственном и даже международном уровнях.

В самом названии CALS (*Continuous Acquisition and Life cycle Support*) уже заложены две важные идеи, развивающие концепцию CALS. Первая часть термина (*Continuous Acquisition* — постоянное приобретение, развитие) означает непрерывное накопление информации и развитие самого изделия в течение его ЖЦ. Вторая часть термина (*Life cycle Support* — поддержка жизненного цикла) определяет необходимость создания соответствующего механизма и инструментария информационного обмена.

Глубина и оперативность обработки производственной информации на этапах создания, эксплуатации и обслуживания изделия должны позволить более полно учесть потребности заказчика и, в конечном итоге, повысить качество продукции.

Создание ЕИП/ИИС, в свою очередь, обеспечивает внедрение новых организационных методик разработки изделия, таких, как параллельное проектирование (*concurrent design*), междисциплинарное рабочее группы, удаленное взаимодействие и дистанционное выполнение работ (*out sorting*), виртуальные предприятия (*virtual enterprise*).

Согласно подходу, развиваемому сотрудниками НИЦ CALS [8], основное содержание концепции CALS, принципиально отличающее её от других, составляют определенные инвариантные понятия, которые реализуются в течение жизненного цикла (ЖЦ) изделия (рис. 1.2.3):

- ▶ базовые принципы CALS;
- ▶ базовые управленческие технологии;
- ▶ базовые технологии управления данными.

#### **БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ CALS:**

- ▶ системная информационная поддержка ЖЦ изделия на основе использования интегрированной информационной среды (ИИС);
- ▶ информационная интеграция за счет стандартизации информационного описания изделий;
- ▶ интеграция программного обеспечения на основе стандартизации структур данных и интерфейсов доступа к ним;

- ▶ ориентация на готовые коммерческие программно-технические решения (*COTS — Commercial Of The Shelf*), соответствующие требованиям стандартов;
- ▶ безбумажное представление информации и использование электронно-цифровой подписи;
- ▶ параллельный инжиниринг (*Concurrent Engineering*);
- ▶ непрерывное совершенствование бизнес-процессов.

Базовые управленческие технологии CALS, по мнению специалистов «Прикладной логистики» [5, 8], базируются на известных и хорошо зарекомендовавших себя инвариантных по отношению к объекту автоматизации (продукции) технологиях управления процессами.

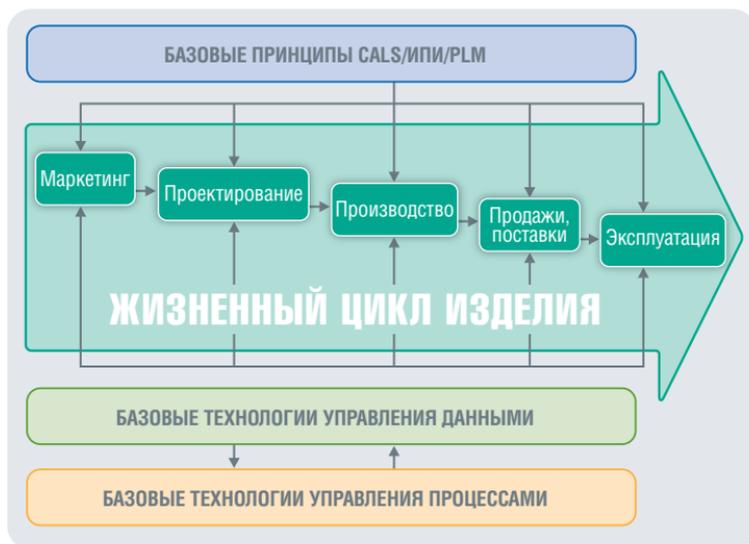


Рис 1.2.3. Концептуальная модель CALS/ИПИ/PLM

#### БАЗОВЫЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ:

- ▶ управление проектами и потоками работ (*Project Management/ Workflow Management*);
- ▶ управление ресурсами предприятия (*Manufacturing Resource Planning*);
- ▶ управление качеством (*Quality Management*);
- ▶ интегрированная логистическая поддержка (*ИЛП — Integrated Logistic Support*).

**БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ОБ ИЗДЕЛИИ** в настоящее время реализуются в системах управления инженерными данными (PDM), которые опираются на международные и отечественные стандарты:

- ▶ технологии представления данных по стандарту ISO 10303 (STEP);
- ▶ технологии представления данных по стандарту ISO 8879 (SGML);
- ▶ методы и технологии создания информационных моделей.

Технология STEP (*Standard for Exchange of Product data* — стандарт обмена данными о продукции) в большей степени ориентирована на базы данных, а технология SGML (*Standard Generalized Markup Language* — стандартизованный универсальный язык разметки текстов) — на создание электронных документов.

PDM-системы используют базы данных и электронные описания структуры изделий, при проектировании и реализации которых широко применяется информационное моделирование.

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА (ИИС)** определяется в терминологическом словаре CALS как «совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающих корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении ЖЦ изделия, кому это необходимо и разрешено. Все сведения (данные) в ИИС хранятся в виде информационных объектов» [16].

На каждом этапе жизненного цикла единое информационное пространство пополняется новой информацией, в том числе туда входят следующие данные:

- ▶ **КОНСТРУКТОРСКИЕ ДАННЫЕ**, которые формируются на этапе проектирования изделия и включают геометрическое описание формы изделия, многоуровневую структуру модели, отражающую процесс конструирования изделия, результаты расчетов и технические характеристики;
- ▶ **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**, которые создаются на стадии технологической подготовки производства и включают в себя описание маршрутных и операционных технологий, нормы времени и расхода материалов, управляющие программы для станков с ЧПУ, данные для проектирования приспособлений и специального режущего и мерительного инструмента и т. д.;
- ▶ **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ**, которые относятся к производственному циклу и содержат информацию об изготовлении конкретных экземпляров изделия и его компонентов.

В полномасштабных PLM-решениях к перечисленным выше САПР-овским описаниям изделия, как правило, добавляются:

- ▶ данные о качестве изделия (содержат сведения о соответствии экземпляров изделия техническим требованиям);
- ▶ данные для логистической поддержки изделия (на постпроизводственных стадиях жизненного цикла содержат информацию о расходных материалах, запасных частях, поставках комплектующих и т. п.);

- ▶ эксплуатационные данные, необходимые для организации обслуживания и ремонта изделия.

Концепция CALS предполагает создание единого информационного пространства (ЕИП/ИИС) для всех участников ЖЦ изделия (в том числе эксплуатирующих организаций). Основу ИИС составляет комплекс компьютерных моделей изделий и процессов, создаваемых на проектно-производственных этапах ЖЦИ, к которым могут обращаться различные приложения и подсистемы PLM-системы (рис. 1.2.4).

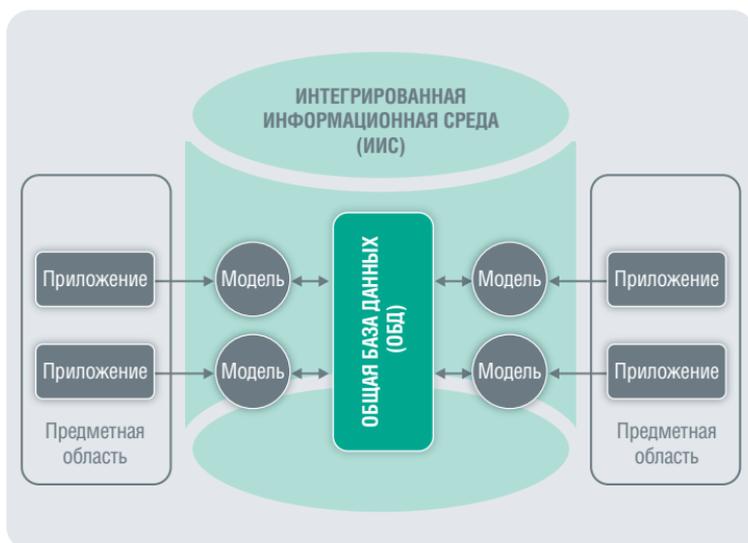


Рис. 1.2.4. Концепция комплексного использования моделей, составляющих ЕИП/ИИС предприятия

#### ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЕИП/ИИС.

ЕИП должно обладать следующими свойствами:

- ▶ охватывает всю информацию, созданную при технической подготовке изделия;
- ▶ является единственным источником данных об изделии (прямой обмен данными между участниками ЖЦ исключен);
- ▶ строится только на основе международных, государственных и отраслевых информационных стандартов;
- ▶ вся информация представлена в электронном виде;
- ▶ постоянно развивается.

Как правило, для создания ЕИП используются различные программно-аппаратные средства, имеющиеся у участников ЖЦ.

#### ОСНОВНЫМИ ПРЕИМУЩЕСТВАМИ ЕИП ЯВЛЯЮТСЯ:

- ▶ обеспечение защиты и целостности данных;
- ▶ возможность организации доступа к данным, предоставленным географически удаленными участниками ЖЦ изделия;

- ▶ отсутствие потерь данных при переходе между этапами ЖЦ изделия;
- ▶ доступность изменения данных сразу всем участникам ЖЦ изделия;
- ▶ повышение скорости поиска данных и доступа к ним, по сравнению с бумажной документацией;
- ▶ возможность использования различных компьютерных систем для работы с данными.

**СТРАТЕГИЯ CALS** предусматривает многоэтапный план создания ЕИП/ИИС, состоящий, как минимум, из двух стадий:

- ▶ автоматизация отдельных процессов (или этапов) ЖЦ изделия и представление данных на них в электронном виде;
- ▶ интеграция автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, уже представленных в электронном виде в ЕИП.

ЕИП/ИИС могут быть созданы для организационных структур разного уровня: от отдельного подразделения до виртуального предприятия или корпорации.

Внедрение и использование технологий локальной автоматизации проектных работ (CAD/CAM/CAE...) в настоящее время достаточно хорошо развито на многих ведущих промышленных предприятиях и в КБ. Комплексная автоматизация, в результате которой появляется возможность образования виртуальных предприятий, осваивается значительно сложнее.

### 1.2.6. CALS/ИПИ/PLM-ТЕХНОЛОГИИ

CALS/ИПИ/PLM-технологии представляют собой набор формализованных методик и средств реализации концепции и стратегии CALS. Специалисты предлагают классифицировать CALS/ИПИ-технологии, условно разделяя их на три большие группы [3]:

**1. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ОБ ИЗДЕЛИИ**, включающие набор методов, языков и моделей для описания в электронном виде данных об изделии, относящихся к объектно-ориентированным процессам ЖЦ изделия. Эти технологии предназначены для стандартизованного, единообразного представления данных, полученных при автоматизации локальных задач (первый этап создания ЕИП);

**2. ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ ОБ ИЗДЕЛИИ:** набор методов для информационного объединения автоматизированных процессов и систем и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде, в рамках интегрированной информационной среды. Интегрированная (комплексная) модель должна включать в себя всю информацию о моделях частных задач, полученных на всех этапах ЖЦ, и структуру их взаимосвязи. Эти технологии относятся ко второму этапу создания ЕИП;

**3. ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА И РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ:** набор организационных методов преобразования (реструктуризации) способов функционирования предприятия с целью повышения его эффективности. Эти технологии нужны для того, чтобы корректно перейти от бумажного к электронному документообороту и внедрить новые методы и средства разработки изделий.

При автоматизации отдельных процессов ЖЦ изделия могут успешно использоваться уже существующие на предприятии прикладные программно-методические комплексы (САПР, АСУП и т. п.), однако к ним предъявляется важное требование — наличия или разработки стандартного интерфейса к обрабатываемым ими данным. Основные понятия, которые используются на данном этапе: электронный документ, электронная модель, электронный документооборот и электронная подпись.

При интеграции всех данных об изделии в рамках ЕИП применяются специализированные программные средства — системы управления данными об изделии (PDM — Product Data Management). Первоочередной задачей PDM-системы является аккумулирование всей информации об изделии, создаваемой прикладными системами, в единую комплексную модель. На втором этапе внедрения, когда электронный технический архив сформирован, начинают проявляться функциональные возможности PDM по организации коллективной работы над проектом в ИИС. В УНВП PDM-система выступает не только как объект изучения, но и как инструмент управления учебным автоматизированным проектированием (УАПР).

Технологии реинжиниринга бизнес-процессов составляют методы функционального моделирования бизнес-процессов и систем, а также технологии разработки, внедрения и развития PLM-решений.

### **1.2.6.1. ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОПИСАНИЯ ИЗДЕЛИЙ**

Одним из принципов, определяющих результативность внедрения и использования PLM-решений, является применение согласованного комплекса стандартов для представления и обмена электронными документами, моделями и данными. Это могут быть международные и национальные стандарты или исторически сложившиеся и общепринятые форматы.

В нашей стране, разумеется, наиболее предпочтительным считается использование ГОСТ Р — новых государственных стандартов РФ. Отечественную систему стандартизации мы обстоятельно обсудим в следующих разделах, а также проведем подробный анализ влияния современных информационных технологий на развитие промышленных стандартов серии ЕСКД/ЕСТД, принципиально важных для создания УНВП.

Стандарты ЕСКД/ЕСТД, пересмотренные в 2006—2011 гг., приводят единую систему технической документации, которая считается одной из самых эффективных и действенных в мире, в соответствие с современными положениями и тенденциями комплексного развития промышленных автоматизированных систем. В свою очередь, принятые ранее стандарты по информационным технологиям и промышленной интеграции дают основания для реализации технологии представления данных об изделии в электронном виде в соответствии с описываемой классической концепцией автоматизации жизненного цикла изделий.

Например, специально для CALS/ИПИ/PLM разработан и получил широкое признание международный стандарт ISO 10303 STEP — *Стандарт о представлении информации об изделии и способах работы с ней*.

**СТАНДАРТ STEP И ЯЗЫК EXPRESS** предназначены для решения проблемы унификации описаний изделий в различных автоматизированных системах и программах, используемых в процессах ЖЦИ [18].

Перед разработчиками стандарта стояла очень непростая задача — создать независимый от специфики предметной области, типа продукции и технологии производства способ описания модели изделия, пригодный для использования на протяжении всего жизненного цикла изделия. Универсальный характер такого описания дает возможность производить обмен файлами между прикладными системами, централизовать архивацию и хранение соответствующих данных, позволяет создавать общие базы данных об изделиях и организовать коллективное использование этих баз.

В результате в настоящее время STEP представляет собой пространственный комплекс стандартов, собранных в несколько отдельно издаваемых томов (частей) по тематическим группам. Тома имеют свои номера и обозначаются как «часть N» или ISO 10303-N. Уже разработано более сотни томов, часть из которых утверждена в качестве международных стандартов (ISO), а часть только предлагается для обсуждения в виде проекта.

Том 1 (ISO 10303-1) — вводное описание системы стандартов, исполняющее роль аннотации ко всей совокупности томов. В этом томе вводится ряд терминов, используемых в других стандартах, например, таких, как продукт (Product), проектные данные (Product Data), прикладной протокол (Application Protocol), интегрированный ресурс (Integrated Resource) и пр. Для практического использования в САПР наиболее интересными являются следующие международные стандарты:

- ▶ Тома 11—14 — методы описания (*Description Methods*);
- ▶ Тома 21—29 — методы реализации (*Implementation Methods*);

- ▶ Тома 41—50 — интегрированные основные ресурсы (*Integrated Generic Resources*);
- ▶ Тома 101—108 — интегрированные прикладные ресурсы (*Integrated Application Resources*);
- ▶ Тома 201—236 — прикладные протоколы (*Application Protocols*);
- ▶ Тома 501—520 — прикладные компоненты (*Application Interpreted Constructs*).

Ряд томов уже переведен на русский язык и представлен в виде национальных стандартов. Нумерация отечественных стандартов соответствует их международным аналогам.

**ЯЗЫК EXPRESS** — это название специализированного языка, предназначенного для информационного описания моделей изделий.

ГОСТ [17] дает следующее определение: «*Язык EXPRESS является формальным языком определения данных, который обеспечивает механизм стандартного описания данных об изделии, как в интегрированных ресурсах, так и в прикладных протоколах*».

Использование стандартного языка описаний дает возможность классифицировать модели и данные об изделии, структурировать их содержание, а также позволяет создавать прикладные протоколы (правила) обмена данных, на которых базируются форматы передачи и хранения данных (формат STEP).

При разработке языка EXPRESS были использованы несколько алгоритмических языков, в частности, Ada, Algol, C, C++, Euler, Modula-2, Pascal, PL/I и SQL. В языке EXPRESS добавлены некоторые возможности, которые делают язык более подходящим для задач описания информационной модели, причем, при создании языка ставилась задача избежать, насколько это возможно, влияния особенностей реализации на конкретной технической платформе.

Тексты, написанные на EXPRESS, позволяют осуществлять не только машинную интерпретацию содержимого (трансляцию в коды компьютера), но и чтение данной информации человеком. Предусмотрено даже специальное графическое подмножество языка EXPRESS-G для создания диаграмм, удобных для восприятия человеком.

**ОБМЕННЫЕ ФАЙЛЫ** (STEP-файлы) служат для передачи данных из одной автоматизированной системы в другую. Обменный STEP-файл состоит из головной и информационной секций.

В головной секции указываются имя и некоторые другие атрибуты данного конкретного файла, описание содержимого файла и требования к ПО для обработки данного файла, а также так называемая Express-схема, описывающая объект в терминах информационного моделирования.

В информационной секции указываются имена экземпляров сущностей и значения их атрибутов в виде нумерованных текстовых строк.

Обменный файл также может быть использован при связи прикладной системы с системой управления инженерными данными. Для интеграции частных прикладных моделей в комплексную информационную модель необходимо разработать специальные программы-перекодировщики (например, на языке Express), с помощью которых отождествляются идентификаторы одних и тех же сущностей, имевших в схемах прикладных программ и комплексной модели разные обозначения.

В прикладных протоколах часто используются типовые фрагменты информационных моделей, встречающиеся более чем в одном приложении. Эти фрагменты называют *интегрированными, или общими, ресурсами*.

Например, описания геометрических объектов могут использоваться во многих прикладных протоколах.

Каждый такой протокол STEP имеет свой номер в пределах тома, например:

- ▶ N=41: Fundamentals of Product Description and Support (основы описания и поддержки изделий). В нем определяются такие понятия и группы сущностей, как продукт, аспект описания (Application and Product Context), статус утверждения (Approval), контракт, дата, типы документов, исполнители (организации и персоналии), единицы измерения длин, площадей, масс, температур и др.;
- ▶ N=42: Geometric and Topological Representation (представление геометрии и топологии). В данном стандарте определен ряд сущностей из области геометрического моделирования, например, положение координатной оси (Axis Placement), точка в декартовых координатах (Cartesian Point), преобразование декартовых координат (Cartesian\_Transformation\_Operator\_3D), полигональная поверхность (Offset Surface), поверхность вращения (Surface\_of\_Revolution) и др.

#### **1.2.6.2. ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ ОБ ИЗДЕЛИИ**

Технологии интеграции данных об изделии являются наиболее специфическими из всех CALS/ИПИ/PLM-технологий. Их содержание непосредственно касается решения проблем информационной поддержки всего жизненного цикла изделий.

Согласно методологии CALS создание единого информационного пространства (ЕИП/ИИС) для основных участников жизненного цикла изделия, связанных с маркетингом, конструкторско-технологической подготовкой производства, поставками и самим производством, обеспечивается, прежде всего, использованием PDM-систем и технологий.

Для потребителей машиностроительной продукции предусмотрено создание и использование электронных технических руководств (*ИЭТР/ИЕТМ*), которые служат инструментом интеграции в информационную среду рабочих мест тех пользователей, которые не имеют возможности организации взаимодействия с PDM.

С обеспечением удаленного доступа к сервисным службам посредством WEB-модулей электронных технических руководств связаны задачи организации логистической поддержки сложных машиностроительных изделий.

Задача автоматизации хранения производственных данных не нова. Еще в середине прошлого века на многих предприятиях и в КБ создавались различные компьютерные базы данных, в которых хранились тексты и данные об изделии в алфавитно-цифровой форме.

Выделение PDM в качестве особого программно-методического комплекса связывается с деятельностью ведущих производителей САПР, которые, эволюционно развиваясь, пришли к концепции комплексной автоматизации. Для объединения компьютерных моделей, используемых в CAD/CAM/CAE-системах, и обеспечения коллективного характера работы инженерных подразделений и групп потребовались специальные интерактивные программы, общающиеся с пользователями на общепринятом техническом языке.

PDM отличаются от других АС по совокупности качеств: они автоматизируют определенный набор и последовательность работ пользователя, связанную с осуществлением операций технического документооборота (информационную технологию), при этом реализуют удаленный доступ к информации с помощью компьютерных сетей и обеспечивают достаточно сложное взаимодействие с универсальными системами управления базами данных (СУБД). В отличие от классических СУБД, выступающих в качестве универсального системного инструментария для специалистов по информационным технологиям и программистов, PDM являются прикладными программными продуктами, ориентированными на практикующих инженеров.

Наиболее совершенные PDM автоматизируют все основные операции управления техническим документооборотом и поэтому обладают достаточно развитым функционалом и удобным пользовательским интерфейсом, которые позволяют решать многие проблемы, встающие при массовой компьютеризации промышленности.

Существенными барьерами при внедрении информационных технологий на предприятиях являются проблемы организационно-технического характера, такие, как хранение, учет и контроль безбумажной документации, моделей, программ и других данных, относящихся к изделию и процессу его изготовления.

Кроме того, в электронном архиве приходится хранить и учитывать информацию, поступающую в самом разном виде от заказчиков и из сторонних источников.

При отсутствии надежного учета и хранения данных тривиальные кадровые движения и замены могут стать критическими. Как показывает практика, одни только организационные мероприятия в случае с компьютерной информацией не дают должного эффекта. Данные на обычном персональном компьютере слишком легко теряются, портятся, шифруются, несанкционированно копируются. Из-за чрезвычайной легкости компьютерного копирования и модификации документов и моделей отдельной проблемой становится выявление актуальной копии. По истечении некоторого времени даже самый добросовестный исполнитель не в состоянии восстановить историю изменений проекта и даже уверенно идентифицировать итоговый (актуальный) вариант.

Таким образом, создание автоматизированного архива (или, как принято называть в терминах PDM-технологий, электронного хранилища), содержащего электронную документацию, компьютерные модели и все другие данные об изделии, циркулирующие в электронной форме, а также формирование соответствующей организационно-технической системы, необходимой для поддержания электронного документооборота, является одной из самых актуальных и важнейших задач любого предприятия. Тем более что современные PDM-системы наделяют электронный архив принципиально новыми интеллектуальными функциями.

Самым существенным мотивом внедрения большинства технических новшеств чаще всего служат не успехи, а сложные экономические обстоятельства. В современных условиях производители вынуждены переходить от крупносерийного, малономенклатурного выпуска однотипной продукции к мелкосерийному производству (под заказ) многовариантной продукции, наиболее полно соответствующей постоянно меняющейся конъюнктуре рынка. В этом случае электронные PDM-технологии становятся инструментом, позволяющим сделать громоздкий процесс подготовки производства более быстрым и гибким.

Внедрение PDM позволяет существенно автоматизировать организационные процессы проектирования и производства изделий и добавляет в организацию работ ряд новых возможностей:

- ▶ оперативный поиск нужного документа по названиям, номерам и атрибутам (дата, материал, производитель, цена и т. п.);
- ▶ быстрый анализ структуры изделия и просмотр документов и данных с любого рабочего места в объеме, предоставляемом правами доступа;

- ▶ исключение дублирования работ и проблемы поиска актуальной версии документа;
- ▶ учет вариантов и истории изменений продукции;
- ▶ автоматический учет и надежный контроль результатов работы соответствующих отделов, служб и исполнителей;
- ▶ обеспечение сохранности и защиты документации;
- ▶ четкая организация и сопровождение всей последовательности работ.

При комплексной и достаточно полной компьютеризации инженерно-технических служб предприятия PDM-система может выполнять функции рабочей среды для пользователей и интегрирующей среды для многочисленных прикладных программных средств, автоматизирующих отдельные этапы и процессы.

### **1.2.6.3. ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА И РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ**

Внедрение комплексной системы автоматизации (PLM-системы), как правило, не только связано с техническими мероприятиями по оснащению отделов компьютерной техникой и программным обеспечением, но и требует проведения достаточно существенных организационных преобразований практически в каждом подразделении проектного учреждения или предприятия.

Необходимость организационно-технических реформ, сопутствующих системной компьютеризации производственной деятельности, вызвана рядом следующих объективных причин.

Переход с традиционной, бумажно-ориентированной, технологии документооборота коренным образом изменяет содержание и последовательность работ многих основных бизнес-процессов.

Использование компьютерных сетей существенно трансформирует способы и средства взаимодействия между сотрудниками.

Иначе организуются хранение, учет, использование электронных документов в централизованных базах данных.

Появляются новые объекты, такие, как компьютерные модели, атрибуты, файлы, данные и т. д., с которые ежедневно должны работать службы, отделы и практически всех сотрудники предприятия.

Меняются инструменты и способы управления производственной информацией, потоками работ и, в конечном итоге, персоналом автоматизированной системы.

Список новаций, которые несут с собой новые информационные технологии на каждом конкретном предприятии, легко может быть продолжен любым опытным производственником.

Автоматизация, как и многие другие изменения производственной среды, требует от большинства сотрудников (сколько-нибудь причастных к основной деятельности предприятия), чтобы они заново переосмыслили, формализовали и оптимизировали свое участие в процессах подготовки производства.

В настоящее время уже всеми признано, что совершенствование деятельности промышленной фирмы должно быть направлено на повышение конкурентоспособности производимой продукции, что напрямую зависит от эффективности всех процессов жизненного цикла изделий. Наличие самой совершенной компьютерной техники и программного обеспечения само по себе не решает проблему повышения конкурентоспособности изделий. Не менее важными факторами, определяющими успешное решение задачи повышения эффективности производства, являются внедрение соответствующих методов и технологий организации производства, обучение и переподготовка персонала, которые неизбежно приводят к изменению производственных отношений и даже мировоззрения людей.

Как и в случае с самой концепцией управления жизненным циклом изделий, первенство в развитии идей реинжиниринга бизнес-процессов (*Business Processes Reengineering*) принадлежит представителям экономических наук, работающим в области организации управления промышленностью. Эти прогрессивные методы нашли широкое применение в промышленности и доведены до уровня практических рекомендаций в международных стандартах серии ISO– 9000. «Жизненный цикл изделий» и «процессный подход» в настоящее время являются базовыми понятиями методологии управления качеством. Методы улучшения деятельности предприятий, отработанные при создании систем управления качеством, были с успехом использованы при проектировании и внедрении автоматизированных систем управления производством (АСУП/ERP).

В настоящее время технологии анализа и реинжиниринга бизнес-процессов являются неотъемлемой частью концепции CALS/ИПИ/PLM и стали незаменимым средством, обеспечивающим успешность внедрения и функционирования автоматизированных систем управления жизненным циклом изделий.

Наглядно показывает, как изменяются основные бизнес-процессы вследствие внедрения компьютерных технологий одна из самых перспективных организационных новаций, получившая на западе название *Concurrent Design (Concurrent Engineering)*, что переводится как технология параллельного проектирования (*параллельного инжиниринга*) [7].

#### 1.2.6.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА

Одной из главных задач, решаемых при внедрении PLM-системы, должно стать уменьшение длительности конструкторско-технологической подготовки производства. Очевидно, что этого можно добиться путем сокращения длительности выполнения каждого этапа и времени ожидания между смежными этапами (рис. 1.2.5, а), а также уменьшения числа возвратов к начальным этапам проектирования (итераций), которые неизбежны при согласовании и уточнении проекта различными специалистами.

При традиционном методе все этапы производственного цикла изделия выполняются последовательно. Каждый новый этап начинается только после завершения каждой предыдущей фазы работ, и общее время выполнения проекта  $T$  определяется суммой времен выполнения каждого этапа:

$$T = T_k + T_t + T_o.$$

Кроме того, при «бумажной» технологии требуется дополнительное время для оформления решения, сбора личных подписей и осуществления самого акта передачи материальной документации из одного отдела в другой.

На крупных предприятиях, по положению о техническом документообороте, передача конструкторской документации технологическим службам должна происходить не напрямую, а только через технический архив, куда предварительно должен поступить полный комплект чертежей.

Если в результате технологической проработки будут выявлены какие-либо проблемы, то документы официально возвращаются конструкторам, и необходимо будет повторить весь цикл.

Применение PDM-системы позволяет свести время ожидания к минимуму, так как электронные конструкторские документы разрабатываются в едином информационном пространстве и становятся доступны технологу (или иному специалисту на любом другом этапе согласования) сразу же, как только они получили соответствующий статус (разрешение), без задержек. При этом:

- ▶ отсутствуют проблемы идентификации и аутентификации документов, так как документы могут выпускаться автоматически;
- ▶ резко сокращается число извещений об изменениях и сопутствующих им процедур;
- ▶ более «прозрачным», а значит, и более управляемым, становится весь процесс КТПП.

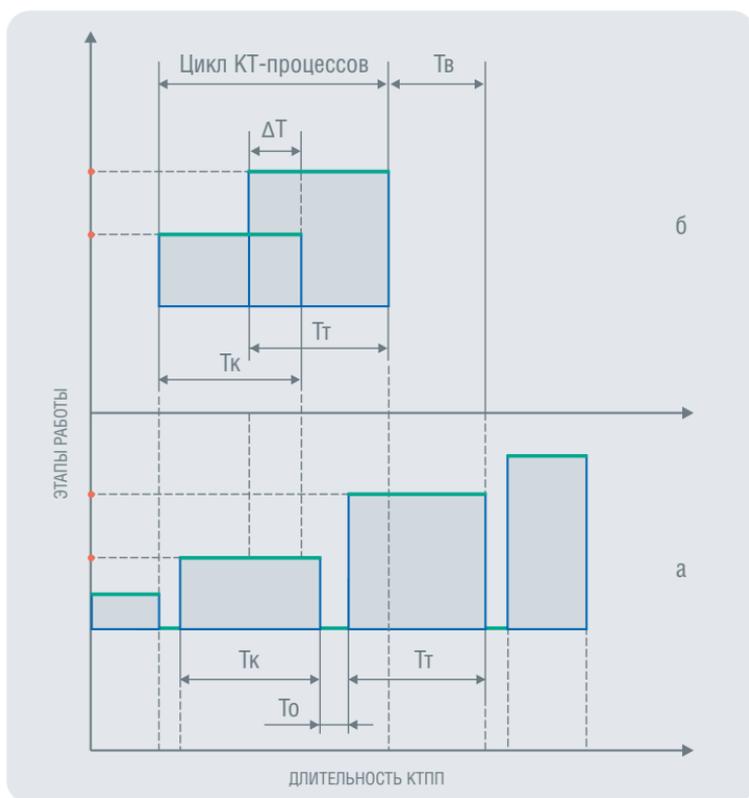


Рис. 1.2.5. Иллюстрация идеи параллельного инжиниринга на примере совместного выполнения конструкторского ( $T_k$ ) и технологического ( $T_t$ ) этапов разработки нового изделия.  $T_o$  – время ожидания,  $T_v$  – экономия времени работ. а – последовательность работ КТПП при традиционной (фазовой) организации процессов; б – совмещение процессов конструкторского и технологического проектирования при совмещенной (параллельной) организации работ

Идея параллельного проектирования предполагает совместную работу над проектом не только группы специалистов одного профиля (например, только конструкторов или технологов), но и сотрудников разных подразделений и разных специальностей.

Например, технолог может получить доступ к конструкторским разработкам еще до их полного окончания, что позволит ему начать технологическую проработку раньше обычного, а конструктор в этом случае сможет учесть технологические требования уже на ранних стадиях проектирования и в итоге избежать непроизводительных затрат на переделку готового решения.

Конечно, при такой тесной работе многократно возрастает число согласовательных контактов между участниками совместной работы, но, в отличие от длительной и трудоемкой «материальной» согласовательной процедуры, виртуальные встречи и совещания проходят

значительно быстрее, а трудоемкость модификации электронного проекта снижается многократно.

Сокращение времени работ  $T_v$  только за счет совмещения двух смежных этапов:

$$T_v = T_k + T_t - T_o - \Delta T,$$

где  $\Delta T$  — это разница во времени при сдвигении начала второго этапа на более ранние сроки.

Попутно сокращается число ошибок и неувязок, что влечет за собой сокращение времени и затрат на доработку при постановке изделия на производство.

PDM-система позволяет объединить деятельность многочисленных и (или) разнородных групп проектантов в своеобразное *виртуальное бюро*, обеспечивающее согласованное выполнение работ по конкретной теме или определенному заказу.

В целом технология параллельного проектирования позволяет значительно сократить время исполнения заказа за счет ускорения выполнения каждой функциональной задачи и совмещения во времени выполнения многих длительных этапов.

#### 1.2.6.5. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ

Как мы уже обсуждали ранее, компьютерные фирмы и разработчики программного обеспечения предлагают как на мировом, так и на российском рынке компьютерных технологий большое количество всевозможных технических средств, программно-методических комплексов различного класса и предметной ориентации, отдельных компонент автоматизированных систем.

Разнообразие средств автоматизации объясняется не только различием объектов производства. Разнообразие целей, задач и специфики производства на каждом конкретном предприятии требует использования различного компьютерного инструментария, поэтому создание каждой PLM-системы – это уникальное организационно-техническое решение, требующее прохождения всех стадий проектирования и внедрения в производство, как и любое новое изделие.

Реинжиниринг бизнес-процессов является одним из характерных, специфических этапов построения организационно-технических систем, выполнение которого необходимо для достижения заданных показателей эффективности PLM-системы.

Построение PLM-системы на любом предприятии — это достаточно затратный и длительный по времени бизнес-проект, исполняемый по этапам. От первоначальной локальной автоматизации отдельных

рабочих мест — вплоть до создания интегрированной информационной среды, обеспечивающей комплексную автоматизацию основных процессов. Прежде всего, целью внедрения PLM-системы на предприятии должно стать преобразование конструкторско-технологической подготовки производства в высокоавтоматизированный процесс, причем не только за счет внедрения компьютерных технологий и средств, но и вследствие обязательного пересмотра организации проектных работ.

Последовательность реализации PLM-системы хорошо согласуется с общими требованиями российских стандартов на автоматизированные системы серии ГОСТ-34 [19-20]. Ниже приведен перечень основных этапов разработки автоматизированной системы [7].

**1. ЦЕЛЕВОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ СПЕЦИАЛИСТАМИ В ОБЛАСТИ CAIS/ИП/PLM-ТЕХНОЛОГИЙ.** Для определения требований к информационной системе проводится начальное обследование предприятия с целью сбора информации об организационной структуре, функционировании основных бизнес-процессов и предметной специфике компании.

На этом же этапе выясняются уровень развития и основные показатели информационных технологий и систем, используемых на предприятии на момент обследования.

**2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ PLM-СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ.** На этом этапе целесообразно использовать научные подходы системного анализа и функционального моделирования, которые обеспечивают получение точной и объективной формализованной модели состояния предприятия «**as is**» («как есть»).

Варианты автоматизированной системы могут обоснованно сравниваться и оптимизироваться только при наличии соответствующих функциональных моделей. Такие модели принято называть «**to be**» («как будет»).

**3. СРАВНЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ И ПРИНЯТИЕ СТРАТЕГИИ РЕИНЖИНИРИНГА ПРЕДПРИЯТИЯ.** По результатам обследования и изучения моделей организационно-технической системы разрабатывается стратегия реинжиниринга основных бизнес-процессов, окончательно согласовывается и утверждается техническое задание на разработку PLM-системы.

**4. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЙ PLM-СИСТЕМЫ, ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ И МАКЕТА ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ.** С учетом принятой стратегии реинжиниринга и концептуальной модели разрабатывается эскизный проект, позволяющий представить облик и основные принципы функционирования системы на реальных примерах и образцах продукции.

В рамках эскизного проектирования может быть проведен так называемый пилотный проект внедрения комплексной системы. Пилотный проект предполагает реалистическую проработку интеграционной цепочки автоматизированной разработки типового изделия в условиях модельной производственной среды, ограниченной по сложности и по количеству участников. Такой эксперимент может выполняться в ограниченном масштабе на самом предприятии, если это возможно по условиям производства и при наличии требуемой компьютерной инфраструктуры, программных средств, технологий и обученного персонала. Часто имитацию производственной среды фирмы-интеграторы пытаются провести на своей базе и в этом случае наталкиваются на ряд организационно-экономических проблем, в основном территориального и кадрового плана. По мнению автора, наилучшим вариантом является подготовка и проведение пилотного проекта на территории специализированного учебного учреждения или учебного центра при участии сотрудников предприятия, привлеченных к осуществлению проекта с отрывом от основного производства. Для этого предлагается использовать технологию учебно-научного виртуального предприятия, которая позволяет не только адекватно воспроизводить единое информационное пространство PLM-системы, но и моделировать производственную среду предприятия и осуществлять при этом профессиональную переподготовку персонала.

**5. ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ И ОПИСАНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ.** Выбранный вариант принимается к дальнейшей проработке и созданию полноценного технического проекта комплексной системы.

В завершение технического проекта намечаются организационные мероприятия по реинжинирингу всех необходимых процессов и разрабатывается план полномасштабного развертывания автоматизированной системы в рамках всего предприятия.

**6. ПРИОБРЕТЕНИЕ, ОСВОЕНИЕ, РАЗРАБОТКА И ОТЛАДКА СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЙ И КОМПОНЕНТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ.** На основании принятого технического проекта осуществляется приобретение технического и программного обеспечения системы, разворачиваются работы по созданию информационного, методического и организационного обеспечения.

**7. ПОЗТАПНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ.** Обучение и переподготовка персонала. Поэтапно производятся монтаж и установка компьютерного оборудования, прокладка компьютерных сетей, инсталляция и наладка программного обеспечения. В это же время необходимо осуществить массовое обучение и переподготовку всего персонала, задействованного во внедрении PLM-системы.

Обучение и стажировку персонала также целесообразно проводить в учебном заведении или специализированном учебном центре. Только обученный и правильно понимающий цели и задачи комплексной автоматизации персонал сможет способствовать проведению организационных преобразований предприятия, а также будет принимать активное участие в становлении и развитии автоматизированной организационно-технической системы.

На этапе опытной эксплуатации PLM-системы производится обкатка и отработка новых информационных технологий. При опытной эксплуатации должно непрерывно продолжаться дальнейшее обучение и консультирование персонала автоматизированной системы уже на штатных рабочих местах специалистами по компьютерным технологиям.

**8. ПОСТОЯННОЕ РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ PLM-СИСТЕМЫ.** Согласно концепции CALS/ИПИ/PLM непрерывное развитие и совершенствование PLM-системы не должно прекращаться. Компьютерные технологии развиваются настолько динамично, что приостановка развития, например, вследствие использования устаревшего программного обеспечения, и отказ от своевременной смены аппаратных платформ могут негативно повлиять на конкурентоспособность предприятия.

#### **1.2.6.6. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Знание основных принципов и средств, используемых для информационного моделирования, необходимо пользователям САПР для понимания происхождения терминов и определений PDM-технологий, а также и их грамотного применения [7].

Методология структурного анализа систем IDEF (*Integrated Computer Aided Manufacturing DEFinition*), разработанная в США для решения задач промышленной автоматизации, принята в качестве Российского стандарта [21], входящего в серию стандартов по CALS/ИПИ/PLM.

IDEF позволяет моделировать структуру, параметры и характеристики широкого круга производственно-технических и организационно-экономических систем. Общая методология IDEF состоит из ряда частных методологий моделирования, число которых уже доведено до 14.

Для задач разработки УНВП особый интерес представляют следующие основные **СТАНДАРТЫ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ:**

- ▶ **IDEF1** — методология информационного моделирования (*Information and Data Modeling Method*), отображающая структуру и содержание информационных потоков, необходимых для поддержки функций системы. Развивается, в основном, версия **IDEF1X**, приспособленная для моделирования реляционных баз данных;

- ▶ **IDEF3** — методология моделирования и документирования процессов, происходящих в системе (*Process Flow and Object State Description Capture Method*). Нотация удобна для описания последовательности работ (сценария, алгоритма) и может применяться при исследовании технологических процессов на предприятиях.

Семейство стандартов IDEF отличается от многих формальных методов и языков моделирования тем, что в нем регламентируются не только средства отображения бизнес-процессов, но и содержатся рекомендации по проведению взаимодействия «аналитик-специалист» в процессе обследований предприятий, т. е. предлагается формализованная технология создания модели системы, охватывающая всю последовательность процесса моделирования.

Следует заметить, что многие начинающие проектировщики и специалисты по внедрению автоматизированных систем недооценивают важность функционального моделирования. Зачастую это воспринимается как трудоемкая и утомительная работа. Однако методы формализации, кроме поддержки исследовательских задач, выполняют важную стабилизирующую роль в процессе обследования, поскольку построение однозначной и наглядной концептуальной схемы придает направленный, целевой характер взаимоотношениям «аналитик-специалист», позволяет более полно оценить специфику моделируемой предметной области и избежать возможных ошибок на стадии проектирования системы. При этом в процессе моделирования производится документирование процессов на едином строгом языке, что может быть использовано при проектировании, сопровождении и развитии спроектированной системы.

Иногда для моделирования функционирования бизнес-процессов применяют нотацию, разработанную ранее для графоаналитического представления алгоритмов и программ в виде блок-схем единой системы программной документации (ЕСПД). Этот понятный и широко известный метод документирования можно рассматривать как дополнительный инструмент при описании частных операций, имеющих выраженный алгоритмический облик. К сожалению, блок-схемы не позволяют отразить все типы структурных связей, а их листинги слишком громоздки для представления сложных систем.

**МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ IDEF1** создавался как стандартный метод моделирования информационных потоков внутри системы, позволяющий на определенном графоаналитическом языке отображать их структуру и взаимосвязи для последующего анализа и реинжиниринга. В настоящее время развивается, в основном, расширенная версия IDEF1X (*Extended*), приспособленная для моделирования реляционных баз данных, реализующая так называемое *семантическое моделирование*. *Семантическая, или инфологическая, модель*

представляет собой описание структуры данных, которое отражает, прежде всего, смысловое содержание, логику связи этих данных.

В рамках настоящей работы мы рассмотрим только основные понятия из обширной области информационного моделирования, которые необходимы для правильного понимания пользователями описаний, параметров настройки и интерфейсов PDM-систем, широко использующих технологии баз данных.

Методология информационного моделирования базируется на следующих основных понятиях.

- ▶ **СУЩНОСТЬ** — это класс однотипных объектов, информация о которых должна быть учтена в модели.  
Каждая сущность именуется как существительное в единственном числе, например, «поставщик», «конструктор», «модель», «документ», «изделие» и т. д.
- ▶ **ЭКЗЕМПЛЯР СУЩНОСТИ** — это конкретный представитель данной сущности. Например, представителем сущности «изделие» может быть «штамп гибочный». Экземпляры сущностей должны различаться между собой за счет наличия свойств, уникальных для каждого экземпляра этой сущности.
- ▶ **АТРИБУТ** — это именованная характеристика, являющаяся некоторым свойством сущности.  
Наименование атрибута должно быть выражено существительным в единственном числе. Например, у сущности «электронный документ» могут быть такие атрибуты, как «обозначение», «наименование», «разработчик», «дата начала разработки», «материал», «масса» и т. п.
- ▶ **КЛЮЧ** — это конечный набор атрибутов, значения которых в совокупности являются уникальными для каждого экземпляра сущности. Главное требование к набору ключевых атрибутов — это отсутствие избыточности, которое заключается в том, что удаление любого атрибута из ключа нарушает его уникальность.
- ▶ **СВЯЗЬ** — это *бинарная ассоциация* (взаимозависимость) между двумя сущностями. Одна сущность может быть связана с другой сущностью или сама с собою (*рекурсивная связь*).  
Например, связи между сущностями могут выражаться следующими образом: «СБОРОЧНАЯ ЕДИНИЦА может состоять из нескольких ДЕТАЛЕЙ» и, в свою очередь, «СБОРОЧНАЯ ЕДИНИЦА может входить в состав одного или нескольких ИЗДЕЛИЙ».
- ▶ **СВЯЗЬ «ОДИН-К-ОДНОМУ»** означает, что один экземпляр первой сущности связан с одним экземпляром второй сущности.

- ▶ **СВЯЗЬ «ОДИН-КО-МНОГИМ»** означает, что один экземпляр первой сущности связан с несколькими экземплярами второй сущности. Такой тип связи встречается чаще всего: например, одному изделию соответствует набор деталей.
- ▶ **СВЯЗЬ «МНОГО-КО-МНОГИМ»** означает, что каждый экземпляр первой сущности может быть связан с несколькими экземплярами второй сущности и каждый экземпляр второй сущности может быть связан с несколькими экземплярами первой сущности, например, несколько модификаций изделия связаны с множеством деталей сборочных единиц. Каждая связь может иметь одну из двух модальностей связи.
- ▶ **МОДАЛЬНОСТЬ «МОЖЕТ»** означает, что экземпляр одной сущности может быть связан с одним или несколькими экземплярами другой сущности, а может быть и не связан ни с одним экземпляром.
- ▶ **МОДАЛЬНОСТЬ «ДОЛЖЕН»** означает, что экземпляр одной сущности обязан быть связан не менее чем с одним экземпляром другой сущности.  
Связь может иметь разную модальность с разных концов, например, каждая деталь должна быть связана с определенным изделием, но не в каждую модификацию изделия может входить данная деталь.
- ▶ **ЯЗЫК МОДЕЛИРОВАНИЯ IDEF3** имеет синтаксис, удобный для описания последовательности работ, например, для отображения алгоритма (сценария) определенной проектной деятельности (*Workflow — потока работ*), выполняемой пользователем в составе автоматизированной системы. Это свойство позволяет применять нотацию IDEF3 при описании и исследовании процессов технической подготовки производства и даже при описании технологических процессов на предприятиях [7].  
В УНВП диаграммы IDEF3 могут использоваться для формализации описания алгоритмов учебного автоматизированного проектирования (УАПР).

## 2. Стандарты и базовая терминология, применяемые в области автоматизированных систем и информационных технологий

Стандартизация и унификация в машиностроении неоспоримо считаются одними из важнейших условий эффективности производства и показателями уровня технической культуры предприятия. Безусловное уважение к ГОСТам в российской технике зиждется на массовой и успешной практике использования единой системы стандартов конструкторской (ЕСКД) и технологической документации (ЕСТД), в которых собран и многократно выверен многолетний опыт промышленного производства. По аналогии с этими выдающимися достижениями в области технического регулирования в нашей стране вслед за появлением вычислительной техники стали утверждаться стандарты в области компьютерных технологий.

Отличительной особенностью программно-методического комплекса АСКОН, по сравнению с известными зарубежными средствами САПР, является изначальное соответствие российских разработок отечественной системе промышленных стандартов. Это обеспечивает не только безукоризненное соблюдение принятых на предприятиях и в КБ регламентов и форм технической документации, но и выступает методической основой для достижения высокого уровня автоматизации ее разработки и оформления.

Влияние стандартизации проявляется в САПР на достаточно глубинном уровне — уже при разработке программного обеспечения. Однако локализация зарубежного прикладного ПО, как правило, выполняется поверхностно и ограничивается дословным переводом команд и инструкций, который часто не соответствует общепринятой у нас инженерной терминологии. Это не только приводит к затруднениям в понимании интерфейсов ПО, но и существенно ограничивает саму возможность создания организационно-технической среды, требуемой для учебных целей.

Для использования УНВП в государственных вузах, готовящих кадры для отечественной промышленности, с одной стороны, важна и формальная сертификация программного обеспечения, используемого в учебном процессе. Но главное, требуется неформальное соответствие используемых в САПР правил организации и проведения КТПП положениям, заложенным в Российских стандартах. Кстати, одним из положительных эффектов при внедрении комплекса АСКОН на отечественных заводах является автоматическое повышение уровня соблюдения технических стандартов всеми пользователями САПР, задействованными в технической подготовке производства. И, как

следствие, более полное удовлетворение основных бизнес-процессов технических служб требованиям и целям управления качеством. Кстати, повсеместное применение и развитие политики в области качества актуально в настоящее время также и для большинства учебных заведений.

## 2.1. Российское законодательство по стандартам в области ИТ

Практика применения стандартов в АСУ, САПР, АСУ ТП, АСТПП показывает, что в них применяется одинаковый понятийный аппарат, имеется много общих объектов стандартизации, однако требования стандартов не согласованы между собой, имеются различия по составу и содержанию работ, оформлению документов и пр.[19]. Объективно оценить и в какой-то мере исправить сложившееся положение призвано новое российское законодательство. Если ранее требовалось безусловное подчинение требованиям государственных стандартов, то действующим в настоящее время в России законом дается определение стандартизации как деятельности *«по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленной на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции, работ или услуг»*. В соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании» стандартизация в Российской Федерации осуществляется в том числе в целях технической и информационной совместимости; взаимозаменяемости технических средств (машин, их составных частей, комплектующих изделий и материалов). Следует заметить, что за последние годы было разработано и принято много новых российских стандартов, касающихся информационных технологий, а многие действующие еще со времени СССР общетехнические стандарты пересмотрены и изменены в соответствии с реалиями компьютерных технологий. Причем развитие системы стандартов в области техники и технологии имеет отчетливый уклон в сторону использования автоматизированных систем, причем главным образом, производственного класса (САПР, АСУТП и т. п.).

В настоящее время выделяют два основных направления деятельности по стандартизации в области информационных технологий:

- ▶ **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПРОДУКТОВ** и, в первую очередь, стандартизация протоколов информационного обмена;
- ▶ **УПОРЯДОЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МЕТОДОЛОГИИ В СФЕРАХ ПРОИЗВОДСТВА И ОБРАЩЕНИЯ ПРОДУКЦИИ** и, в первую очередь, унификация и определение понятийного аппарата ИТ.

Согласно Общероссийскому классификатору стандартов (ОКС) насчитывается более 500 формально действующих стандартов, касающихся информационных технологий. Наиболее важными для разработчиков и пользователей автоматизированных систем промышленного назначения являются следующие группы:

- ▶ ГОСТ 2 (ЕСКД) – Единая система конструкторской документации в части, касающейся правил организации проектных работ и выполнения конструкторских документов с использованием компьютерной техники [22-35];
- ▶ ГОСТ 3 (ЕСТД) – Единая система технологической документации, претерпевшая в последние годы серьезные изменения с учетом условий и возможностей организации электронного документооборота [39-43];
- ▶ ГОСТ 19 – Единая система программной документации, которая используется, в основном, разработчиками автоматизированных систем;
- ▶ ГОСТ 34 – Стандарты в области информационных технологий, которые содержат основную массу стандартов ИТ, и в первую очередь, интересные для нас стандарты, относящиеся к терминологии и использованию автоматизированных систем производственного назначения [19-20];
- ▶ Комплекс стандартов группы ГОСТ 23501, распространяющихся на системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства [44, 45].
- ▶ ГОСТ Р ИСО 10303 — Системы автоматизации производства и их интеграция. Развивающаяся группа стандартов в области информационной поддержки жизненного цикла изделий [16–18].

Особо надо отметить появление в первом десятилетии текущего века последней, абсолютно новой, группы стандартов в области CALS/ИПИ/PLM и активное их продвижение благодаря деятельности НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика» [8] совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации и сертификации в машиностроении (ФГУП «ВНИИМАШ»).

Рабочим органом по стандартизации в области ИПИ/CALS-технологий, обеспечивающим их эффективность на национальном и международном уровнях, является Технический комитет Госстандарта РФ [47] «Информационная поддержка жизненного цикла изделий», начавший свою деятельность в 2004 г. Новые российские стандарты не только вводят в практику промышленной информатики современные положения и достижения компьютерных наук, но и гармонизируют российские стандарты с международными стандартами. Начата и успешно продолжается работа по корректировке стандартов ЕСКД и ЕСТД.

## 2.2. Международные стандарты информатизации

В качестве одного из основных принципов российской стандартизации предусматривается применение международных стандартов как основы разработки национального стандарта, за исключением случаев, при которых такое применение признано невозможным.

Стандарты по информационным технологиям разрабатывает и предлагает к внедрению целый ряд международных организаций, в том числе:

- ▶ Международная организация по стандартизации – ИСО (International Organization for Standardization – ISO);
- ▶ Международная электротехническая комиссия – МЭК (International Electrotechnical Commission – IEC);
- ▶ Международный союз электросвязи – МСЭ (International Telecommunication Union – ITU).

В 1987 г. ИСО и МЭК объединили свою деятельность по стандартизации в области информатизации, создав Совместный технический комитет № 1 – СТК1 ИСО/МЭК «Информационные технологии» (Joint Technical Committee N 1 – ISO/IEC JTC1 Information Technology), основной задачей которого является разработка базовых стандартов информационных технологий вне зависимости от их конкретных приложений. Членами этого комитета являются все промышленно развитые страны, в том числе и Российская Федерация.

В структуре СТК1 функционирует свыше 20 подкомитетов и рабочих групп, охватывающих своей деятельностью практически весь спектр стандартизации в области информационных технологий и осуществляющих разработку стандартов по всем основным направлениям: от «Машинной графики и обработки изображений» до «Интерфейсов пользователя» и «Методов обучения».

## 2.3. Практические выводы и рекомендации по использованию стандартов

Несмотря на условие преимущественной добровольности, стандарты все-таки должны в ряде случаев исполняться обязательно (так называемая обязательная сертификация). Это касается государственных заказов, работ, связанных с экологически опасными и вредными производствами, требований охраны труда и т. д. Таким образом, обязательной сертификации полностью или частично подлежат объекты машиностроения, затронутые вышеперечисленными факторами. А это вся военная техника, авиация и ракетные комплексы, грузоподъемные

машины, механизмы и многое другое. Для российского машиностроения государство всегда было и в видимой перспективе останется одним из основных заказчиков.

Отмечается осознанное стремление к использованию стандартов и нормативов по обеспечению качества заказчиками и покупателями программного обеспечения и АС. Действительно заказчикам необходимы критерии, по которым можно сравнивать различные системы, однозначно формировать ТЗ, осуществлять приемку.

Не могут обойтись без общепринятых условий и правил организации, осуществляющие внедрение и интеграцию автоматизированных систем. Это дает им инструмент, на который они могут рассчитывать в непростых ситуациях для обоснования и защиты проекта системы, приемки заказанного продукта от субподрядчиков, обеспечения полноты и качества сопровождения.

Важную роль в распространении стандартизации играют развивающиеся в российской экономике тенденции к сертификации предприятий по требованиям системы управления качеством в рамках международных стандартов серии ISO 9000. В этом случае предприятие добровольно принимает на себя обязательства следовать определенным регламентам.

Использование стандартов передачи информации совершенно необходимо в условиях, когда разрабатывается все больше сложных комплексных автоматизированных систем, к числу которых относятся и САПР.

Как утверждают методические рекомендации по стандартизации, создание АС требует, как правило, изменения (совершенствования) организационной структуры объекта автоматизации.

При создании АС следует обращать внимание:

- ▶ на интеграцию экономических и информационных процессов, технических, программных и организационно-методических средств;
- ▶ на углубление взаимодействия человека и вычислительной техники на основе диалоговых методов и средств;
- ▶ на создание гибких систем управления, способных адаптироваться к изменяющимся условиям производства.

В стандартах на автоматизированные системы и информационные технологии особо подчеркивается, что создание и эффективное функционирование АС в организациях, на предприятиях и других объектах автоматизации требует специальной подготовки пользователей и обслуживающего персонала системы.

## 2.4. Основные термины и определения компьютерных технологий и автоматизированных систем

Для компьютерных наук (Computer Science) и технического образования принципиально важной является методологическая основа, образуемая стандартами, задающими и разъясняющими термины и определения соответствующих предметных областей знаний и наук. Однозначная и единообразная трактовка терминов необходима ученым, специалистам и пользователям автоматизированных систем для изучения, разработки, комплексирования и эффективной эксплуатации АС и их компонент. Для правильного понимания роли, места и содержания компьютерных технологий, используемых при создании и применении систем промышленной автоматизации, одними из самых важных можно считать следующие общесистемные термины и определения [19-20].

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, АС** (*Automated System, AS*) — представляет собой *организационно-техническую систему*, обеспечивающую выработку решений на основе автоматизации информационных процессов в различных сферах деятельности (управлении, проектировании, производстве и т. д.) или их сочетаниях.

В том числе это относится к САПР, PLM-решениям и УНВП.

В зависимости от вида деятельности выделяют следующие виды АС: автоматизированные системы управления (АСУ), системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) и др.

АС состоит из *персонала и комплекса* средств автоматизации его деятельности, реализующих информационную технологию выполнения установленных функций. При этом понятие «комплекс средств автоматизации» подразумевает все компоненты АС, за исключением людей.

Следует обратить внимание, что персонал комплексной автоматизированной системы рассматривается как неотъемлемая часть УНВП.

**ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ** (*AS-User*) — лицо, участвующее в функционировании АС или использующее результаты ее функционирования.

То есть пользователями комплексной АС и соответственно УНВП являются практически все специалисты, задействованные в процессах КТПП. И не только те, кто непосредственно занят проектной деятельностью, но и производственники, а также менеджеры всех звеньев.

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО, АРМ** — программно-технический комплекс АС, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида.

АРМ может быть предназначено для реализации локальных технологий автоматизации проектных работ, а также включено в комплексную

систему посредством современных сетевых и информационных технологий.

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА** (*Integrated AS*) — совокупность двух или более взаимоувязанных АС, в которой функционирование одной зависит от результатов функционирования другой (других) так, что эту совокупность можно рассматривать как единую АС.

То есть промышленная интеграция всегда связывается с определенной взаимозависимостью и последовательностью решаемых инженерных задач.

**КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**, КСА (*AS Automation Means Complex*), автоматизированной системы представляет собой совокупность взаимосогласованных программно-технических (ПТК), программно-методических комплексов (ПМК) и компонент программного, технического и информационного обеспечения, изготавливаемых и поставляемых с необходимой эксплуатационной документацией как продукция производственно-технического назначения.

**ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС** системы автоматизированного проектирования, ПМК САПР (*CAD Software-Methodical Complex*) — взаимосвязанная совокупность компонентов программного, информационного и методического обеспечения системы автоматизированного проектирования. При необходимости включает компоненты математического и лингвистического обеспечения, необходимые для получения законченного проектного решения по объекту проектирования или выполнения унифицированной (локальной) процедуры. Именно ПМК САПР и поставляют на рынок производители коммерческого ПО. Но для создания полноценной САПР (или комплексного PLM-решения) ПМК необходимо дополнить средствами информационного, организационного, а в случае с УНВП и специального методического обеспечения учебного назначения.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ** (*Technological Control Object*) — объект управления, включающий технологическое оборудование и реализуемый в нем технологический процесс.

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС** — автоматизированный комплекс, согласованно осуществляющий автоматизированную подготовку производства, само производство и управление им.

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ** — процесс, осуществляемый при совместном участии человека и средств автоматизации.

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ** — процесс, осуществляемый без участия человека.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ СРЕДСТВО** — комплекс упорядоченной, относительно постоянной информации, описывающей параметры и характеристики заданной области применения и соответствующей документации, предназначенный для поставки пользователю. При этом документация информационного средства может поставляться на электронном носителе данных.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ** — приемы, способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ** — модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ** — совокупность данных и отношений между ними, описывающая различные свойства реального изделия, интересующие разработчика модели и потенциального или реального пользователя.

**ВИДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ.** В процессе проектирования АС (ее частей) разрабатывают, в общем случае, следующие виды обеспечений: техническое (Hardware), программное (Software), информационное (Information Support), организационно-методическое (Organizational and Methodical Support), математическое (Mathematical Support), лингвистическое (Linguistic Support), эргономическое (Anthropo-Technical Support).

На практике правовое обеспечение, как правило, объединяют с организационным обеспечением, а вопросы эргономики рассматривают в комплексе с техническими средствами.

Если проанализировать приведенные стандартные обозначения, то можно резюмировать, что под *интеграцией АС* понимается последовательная связь (интеграционная цепочка) подсистем, автоматизирующих работы на этапах жизненного цикла изделия. Понятие *комплексности* связывается с объединением компонент АС, необходимых одновременно для решения одной или нескольких инженерных задач, то есть подразумевает связь в едином информационном пространстве.

Для формального описания процедуры создания электронного описания изделия на этапах технической подготовки производства специалисты по *CALS/ИПИ/PLM* используют следующие специальные определения и термины [16–18].

**ПРОДУКТ** — понятие, перенесенное в ИТ из международных стандартов, описывающее результат профессиональной деятельности

человека, имеющий определенные признаки для идентификации, такие, как наименование, обозначение и пр.

В машиностроительных программных комплексах (чаще зарубежного производства) понятие «продукт» часто употребляется как синоним таких «гостовских» терминов, как «изделие», «экземпляр», «партия».

**ЭЛЕКТРОННОЕ ОПИСАНИЕ ИЗДЕЛИЯ** будем понимать как содержательную информацию об изделии, представленную в форме электронных технических документов в памяти компьютера и (или) записанную на электронных носителях информации. С точки зрения промышленной информатики электронное описание можно определить как *информационную модель* определенного вида.

**СОСТАВ ИЗДЕЛИЯ** — структурное описание продукта, включающее полный перечень узлов, деталей и материалов, из которых изготавливается изделие. В электронной форме состав изделия представлен в виде *информационных объектов*, объединенных при помощи связей в определенную *электронную структуру*.

**КОНТЕКСТ** — некая часть информационного описания изделия, выделенная для решения специализированной проектной задачи. Например, в комплексных автоматизированных системах могут использоваться несколько контекстов на разных стадиях и в разных проектных процедурах. На стадии функционального технического проектирования — соответственно, функциональное описание изделия. На стадии конструкторского проектирования — конструкторское описание и т. д. По мере продвижения по стадиям ЖЦ версии изделия «накапливают» контексты.

**КОНТЕКСТНЫЙ СОСТАВ ИЗДЕЛИЯ** — часть состава изделия, используемая для описания изделия в конкретном контексте.

В комплексных проектах, объединяющих описания, разработанные на нескольких этапах жизненного цикла изделий, создаются электронные *интегрированные модели* изделия, а в итоге объединения всех контекстов формируется *полное электронное описание* изделия.

Следует особо обсудить и такой, казалось бы, простой, но принципиально важный для реализации PLM-решений, и УНВП в частности, термин, как **ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ** (ЭД).

Документ согласно ГОСТ Р 52292—2004 «Информационная технология. Электронный обмен информацией Термины и определения» — это «объект информационного взаимодействия в социальной среде, предназначенный для формального выражения социальных отношений между другими объектами этой среды». То есть документ существует только в обществе мыслящих субъектов и является сообщением, закрепляющим некий факт взаимодействия между субъектами. Причем деление документов на *аналоговые, дискретные, электронные* обусловлено лишь используемыми технологиями.

К сожалению, общетехнические стандарты, например ЕСКД, не дают общего понятия документа. В них имеется только самое общее определение электронного технического документа как структурированного набора данных, созданных при помощи программно-технических средств.

Международные стандарты ИСО/МЭК вводят более глубокие и гуманистические определения понятий электронный документ и документооборот. Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 10031-1 «Информационная технология. Текстовые и учрежденческие системы...» документ — это «структурированная информация, прямо или косвенно предназначенная для восприятия человеком, которая может передаваться, храниться, разыскиваться и обрабатываться с помощью учрежденческих приложений».

Для правильного понимания целей и задач организации электронного документооборота важно акцентировать внимание обучаемых на то, что электронный документ, в отличие от других данных, используемых при обработке компьютером, предназначен для восприятия человеком. В том числе, это обстоятельство необходимо учитывать и в САПР, выделяя в УНВП проектные процедуры, в которых целесообразно использовать объемные геометрические модели или плоскую графику в форме схем, эскизов и чертежей.

**АВТОРИЗАЦИЯ ЭД** — сопоставление электронного документа с конкретным лицом, выполняющим на предприятии определенную профессиональную роль и обладающим в каждом конкретном контексте регламентируемым уровнем доступа к документам. Уровни доступа на каждом конкретном предприятии определяются регламентом работы с ЭД.

**ВЛАДЕЛЕЦ ЭД** — пользователь АС, обладающий полным доступом к ЭД.

**ПУБЛИКАЦИЯ ЭД** — изменение статуса и соответствующих прав доступа к ЭД в процессе электронного документооборота, открывающая возможности использования и редактирования ЭД персоналом АС. Публикация ЭД заключается в присвоении ему статуса, дающего официальное основание для дальнейшего целевого использования документа в процессе КПП.

Например, создается описание изделия (допустим, 3D-модель), которое может быть использовано как для расчета, так и для создания программ обработки на станках с ЧПУ. Создатель описания «публикует» электронную модель изделия (ЭМИ), присваивая ей статус «разработан» и открывая тем доступ инженеру-расчетчику и технологу-программисту. Конструктор после проведения расчетов присваивает ЭМИ статус «рассчитана на прочность» и присоединяет к описанию изделия документ с соответствующим комментарием. В свою очередь, технолог создает программу обработки, добавляет файл программы и присваивает модели статус «готова к изготовлению», и т. д.

## 3. Анализ информационной составляющей процессов КТПП

Средства и системы автоматизации проектирования и управления стали неотъемлемой частью организационно-технической системы предприятий и реальной производительной силой. За два десятилетия активного развития информационные технологии существенно изменили производственные отношения во всех областях интеллектуального труда. В инженерной деятельности заметные изменения произошли в организации и инструментарии процессов разработки новой техники и технологической подготовки производства. Это нашло свое отражение даже в устоявшейся и казавшейся незыблемой системе промышленных стандартов.

Материалы независимых обследований ряда ведущих машиностроительных предприятий Самарского региона, а также опыт участия в проектах, проводимых АСКОН, показывают, что при внедрении комплексных автоматизированных систем как разработчики, так и пользователи САПР опираются на устоявшуюся систему стандартов ЕСКД/ЕСТД.

С начала этого века в систему отечественных стандартов, регламентирующих содержательную составляющую КТПП, были внесены весьма существенные изменения и дополнения. Добавлен ряд новых стандартов и положений, вводящих в действие компьютерные модели и электронный технический документооборот. Появились новые разделы, определяющие создание и функционирование комплексных систем автоматизации производства, их интеграцию и внедрение новых информационных технологий. Большинство новых национальных технических стандартов (ГОСТ Р), связанных с промышленной автоматизацией, согласовано с международными стандартами (ИСО) и отражает нарастающее влияние информационных технологий практически на все процессы ЖЦИ машиностроения.

Последовательные модификации и дополнения регламентов, правил и рекомендаций привели к качественному изменению всей системы технической подготовки и организации производства. В частности, это выразилось в том, что с 01.01.2012 г. было одновременно заменено более полутора десятка основных стандартов ЕСКД/ЕСТД. В том числе, «Общие положения», «Формы и правила оформления документов», «Правила передачи электронных документов» и пр. [35—42].

При внимательном рассмотрении можно понять, что практическая реализация обновленных стандартов и правил разработки и постановки изделий машиностроения на производство связана не только с массовым переходом на автоматизированные технологии производства проектных работ на локальных рабочих местах, но и предусматривает наличие единого информационного пространства, средств

электронного документооборота и управления в масштабе всего предприятия.

Таким образом, изучение и практическое освоение современных методов и средств разработки и производства новой техники, даже на базовом уровне, задаваемом общепринятыми техническими стандартами, в полной мере уже невозможно в рамках традиционных «бумажных» или локальных методов и средств обучения. Для развития навыков автоматизированного проектирования в интегрированной информационной среде требуется, чтобы студенты использовали соответствующие по уровню и средствам обеспечения автоматизированные системы промышленного назначения.

Чтобы сформулировать и обосновать основные положения методики учебного автоматизированного проектирования в среде УНВП проведем анализ и дадим некоторые комментарии к системе общетехнических стандартов. Особо нас будут интересовать рекомендации стандартов, связанные с организацией проектных работ и использованием на всех типовых стадиях и в проектных процедурах информационных технологий и средств обеспечения комплексной автоматизации.

Краткие комментарии к цитируемым стандартам будем давать прямо по тексту (в круглых скобках), а важные элементы выделять курсивом.

### 3.1. Порядок разработки и постановки продукции на производство

Рекомендуемый стандартом ГОСТ Р 2000 г. [46] «Порядок разработки новой техники» в общем случае предусматривает три укрупненных этапа:

1. **РАЗРАБОТКУ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ (ТЗ)** на опытно-конструкторскую работу (ОКР);
2. **ПРОВЕДЕНИЕ ОКР**, включающее разработку конструкторской (КД) и технологической (ТД) документации;
3. **ПОСТАНОВКУ СПРОЕКТИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРОИЗВОДСТВО.**

Изготовление продукции в условиях УНВП, как правило, осуществляется виртуально — с использованием подсистем визуализации, входящих в состав САМ-систем. Если в составе УНВП интегрировано цифровое оборудование из состава учебно-производственных центров, то на завершающей стадии УАПР можно частично или полностью производить обработку заготовок на станках с ЧПУ. Интересные перспективы открываются при использовании новых технологий получения материальных моделей на установках быстрого прототипирования [7].

Постановку спроектированных изделий на производство, включающую подготовку и освоение производства в среде УНВП, целесообразно

моделировать с помощью имитационных моделей или вводить в условие проектной задачи как переменные производственной среды, определяющие объем установочной серии и результаты квалификационных испытаний.

С точки зрения освоения технологий автоматизации инженерного документооборота, наиболее интересными в оговариваемой стандартом методике являются процесс разработки, согласования и утверждения ТЗ, а также процедура обработки конструкции на технологичность.

По ГОСТу техническое задание может подвергнуться изменениям на любой стадии проектных работ. В наибольшей мере содержание ТЗ модифицируется и пополняется на стадии технического предложения (ТП) в процессе анализа результатов автоматизированного информационного и патентно-лицензионного поиска. Согласование, утверждение и хранение ТЗ целесообразно проводить в PDM ЛОЦМАН. А обработку конструкторского проекта на технологичность производить в среде PDM на стыке интегрированных в PLM-решение САПР КД КОМПАС и САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ.

Разработку конструкторской и технологической документации на продукцию рекомендуется проводить по правилам, установленным соответственно стандартами ЕСКД/ЕСТД, а общие требования по управлению проектированием устанавливать по ГОСТ Р ИСО 9001 «Системы менеджмента качества».

По определению стандарта по качеству, «Проект — это уникальный процесс, состоящий из совокупности скоординированной и управляемой деятельности, с начальной и конечной датами, предпринятый для достижения цели, соответствующей конкретным требованиям. ... Выходом проекта может быть одно изделие или несколько единиц продукции».

Проектирование и разработка при этом представляют собой совокупность процессов, переводящих требования ТЗ в установленные стандартами техническую документацию и описания изделия, выполненные в различных формах (*В УНВП описания и документация должны быть преимущественно в электронной форме*).

Техническую подготовку производства считают законченной, когда изготовителем продукции получена вся необходимая документация (*выполнена и занесена в электронное хранилище PDM*), отработана ТД на изготовление продукции (*пройденны все процедуры согласования и получены электронные подписи*), опробованы и отлажены средства технологического оснащения и технологические процессы (*выполнена имитация и визуализация ТП*). И что немаловажно для самой идеи УНВП, *подготовлен персонал*, принимающий деятельное участие в реализации процессов на всех проектно-производственных этапах ЖЦИ.

## 3.2. Рекомендации ЕСКД, связанные с использованием прикладных компьютерных технологий и САПР

ЕСКД — комплекс стандартов, устанавливающих «взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации», разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия.

При этом соблюдение рекомендаций ЕСКД позволяет не только установить единые для всех правила выполнения проектных работ, но и, в том числе, задать важные для УНВП условия, которые обеспечиваются [22]:

- ▶ применением *современных методов и средств проектирования* изделий;
- ▶ оптимальной комплектностью конструкторской документации;
- ▶ *автоматизацией обработки* конструкторских документов и содержащейся в них информации;
- ▶ возможностью создания и ведения *единой информационной базы*;
- ▶ возможностью *информационного обеспечения поддержки жизненного цикла изделия*.

Установленные стандартами ЕСКД нормы и правила по разработке, оформлению и обращению документации распространяются не только на все виды конструкторских и технологических документов, но и на научно-техническую и учебную литературу, в той части, в которой они могут быть для нее применимы. Последнее замечание в свете определения требований к УНВП следует отметить особо.

В действующие общие положения ЕСКД [22—31] в 2006 г. были введены принципиально новые понятия, термины и определения из области информационных технологий и комплексной автоматизации КТПП, в том числе следующие:

- ▶ Информационное обеспечение (ИО) поддержки жизненного цикла изделия (ЖЦИ);
- ▶ Единая информационная база — как основа единого информационного пространства предприятия (ЕИП);
- ▶ Электронная форма технических документов (ЭТД);
- ▶ Электронно-цифровая подпись (ЭЦП);
- ▶ Электронная модель изделия (ЭМИ);
- ▶ Электронная структура изделия (ЭСИ).

Согласно новой редакции ЕСКД конструкторские документы могут быть выполнены в бумажной и (или) *электронной формах*. То есть узаконена принципиальная возможность выполнять разработку виртуально, с использованием только электронных моделей и документов.

В том числе предусматривается наличие как содержательной части ЭТД, предназначенной для восприятия человеком, так и реквизитной части, содержащей численную информацию, необходимую для ведения баз данных и реализации ЭЦП. Установленные стандартом, согласующие и утверждающие записи в электронном конструкторском документе выполняют в виде *электронной цифровой подписи*.

Анализ изменений ЕСКД показывает, что для изучения и освоения большинства потенциальных возможностей применения информационных технологий, предусмотренных стандартами, таких, как ЭЦП, единая информационная база, использование реквизитной части ЭТД, необходимо наличие ЕИП и инструментальных средств и технологий управления ЖЦИ, действующих в комплексных PLM-решениях систем промышленной автоматизации.

### **3.2.1 ВИДЫ ИЗДЕЛИЙ, ИХ ЭЛЕКТРОННОЕ ОПИСАНИЕ В УНВП**

В теоретических разделах методических указаний к работам в среде УНВП желательно акцентировать внимание обучаемых не только на новациях, внесенных всеобщей компьютеризацией, но и на остающихся стабильными базовых терминах и определениях основ конструирования и технологии машиностроения. Так, например, внедрение новых информационных технологий не оказало существенного влияния на содержательную часть стандарта ЕСКД, устанавливающего классификацию видов промышленных изделий (ГОСТ 2.101—68).

В ЕСКД изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. В стандартах ИСО, а также компьютерной литературе применяются более универсальные термины: «продукт», или «продукция», например «программный продукт». Термины «изделие» и «продукция» в УНВП будем использовать как синонимы, подразумевая под ними не только реальные предметы производства, но и виртуальные объекты в форме компьютерных моделей или материальных макетов полученных по технологиям цифрового прототипирования (RP).

**ОБЪЕКТ** — основной структурный элемент электронной базы данных PDM ЛОЦМАН, обозначающий материальный предмет или процесс. У объекта есть наименование, и определен его тип (например, «деталь», «материал», «технология»). Объекты могут находиться в определенном состоянии (например, «проектирование», «серия»), имеют иерархическую структуру, описываемую информационными связями. У каждого типа объектов свой набор атрибутов, состояний и связей.

В базе данных PDM все стандартные виды изделий представлены следующими типами информационных объектов.



**ДЕТАЛЬ** — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, или неразборные соединения, полученные сваркой, пайкой, склейкой и т. п.

В электронном описании структуры изделия детали отображаются как простейшие неделимые информационные объекты, связанные восходящей вертикальной связью «Входит в...» со сборочными единицами. Детали могут иметь горизонтальные связи с другими деталями, например, «*Взаимозаменяемые*».

Основными атрибутами детали являются ее обозначение и наименование, а также материал, масса и пр.



**СБОРОЧНАЯ ЕДИНИЦА** — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе в процессе выполнения технологических сборочных операций. В электронном описании проекта сборочная единица, или «сборка», может представлять собой как часть более сложного изделия (узел, агрегат), так и товарный продукт полностью: например, машина или технологическое приспособление.

Объект типа «сборочная единица» взаимодействует с объектами типа «деталь» посредством нисходящих (*прямых*), вертикальных количественных связей «*Состоит из...*». В свою очередь, каждая сборочная единица может быть частью сборки более высокого уровня и при этом связывается с ней восходящей (*обратной*) связью «*Входит в...*». Сборки одного уровня иерархии могут быть связаны между собой горизонтальными связями, которые не имеют направления, поскольку являются равноправными.

Вертикальные и горизонтальные связи позволяют построить дерево объектов любой сложности, отражающее состав изделия любой сложности.



**КОМПЛЕКС** — два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но имеющие определенные функциональные отношения. При этом все составные части комплекса равно необходимы по своему значению и объединяются при выполнении своего служебного назначения в процессе совместной эксплуатации.

В электронном описании объекты, составляющие комплекс, связаны между собой связями одного уровня.



**КОМПЛЕКТ** образуют два или более изделия, не соединяемые на предприятии-изготовителе сборочными операциями и связанные отношениями, носящими вспомогательный характер (например, идущие в комплекте к основному изделию запасные части, упаковочная тара и т. п.).

То есть изделия, составляющие комплект, имеют ассоциативные связи, отражающие разноуровневые отношения подчиненности одно другому.



К **ПОКУПНЫМ ИЗДЕЛИЯМ** относятся материальные продукты, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые в готовом виде. Информационные описания стандартных и покупных изделий экспортируются в электронные хранилища предприятия в определенных форматах, которые должны позволять автоматически интегрировать их в электронную структуру изделий основного производства.

В состав комплекса, поставляемого АСКОН, входит автономная электронная база данных Корпоративный справочник Стандартные Изделия. Справочник достаточно легко интегрируется в состав УНВП и используется для освоения приемов работы с покупными изделиями в соответствующих проектных процедурах.

В УНВП имитируется только методика АПР изделий *основного производства*, предназначенных для поставки товарной продукции заказчику.

В практической части УАПР целесообразно ограничиться двумя основными видами изделий: а) деталями; б) сборочными единицами. А описание особенностей формирования комплексов (в) и комплектов (г) оставить в теоретической части курса, отметив особенности особых информационных связей, предусмотренных для этих видов изделий в системах управления инженерными данными.

Введение информационного объекта типа комплекс можно использовать в организационно-методических целях. В этом случае в типовой структуре учебной базы данных обозначение «комплекс» используется для выделения заглавного элемента нового учебного проекта. Это удобно, когда большой студенческой группе предлагается вести сразу несколько учебных проектов в одной базе данных.

### 3.2.2. КОНСТРУКТОРСКИЕ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ В УНВП

ЕСКД [24] устанавливает стадии разработки конструкторской документации и основные этапы выполнения работ на этих стадиях.

При этом укрупненно выделяются следующие стадии разработки:

- ▶ Разработка *технического предложения*;
- ▶ Разработка *эскизного проекта*;
- ▶ Разработка *технического проекта*;
- ▶ Разработка рабочей документации, или *рабочего проекта*.

С точки зрения информационных технологий существенно, что содержание проектных работ дополнено понятием «Электронный макет

изделия» [33]. Причем электронный макет (или набор макетов) может быть создан и использован на любой из стадий разработки нового продукта.

ЭМК представляет собой разновидность электронной модели изделия, «позволяющую оценить взаимодействие изделия с элементами производственного и/или эксплуатационного окружения и служащую для принятия технических решений при разработке изделия и процессов его изготовления и использования» [33].

Введение понятия «компьютерного макетирования» в методологию проектных работ, рекомендуемую базовым стандартом, дает возможность достаточно широко использовать методы и средства безбумажной виртуальной инженерии в условиях реального предприятия [7] и позволяет разрабатывать перспективные проекты в среде УНВП полностью в виртуальной компьютерной форме на всех стадиях УАПР [12—15]. Так электронные макеты могут успешно применяться в УНВП вместо традиционных чертежных эскизов на стадиях разработки технического предложения и эскизного проектирования.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ** (ПТ) [27] формируется на основе анализа технического задания и результатов информационного и патентно-лицензионного поиска. Информационное приложение к ТЗ образуется из совокупности технических документов, содержащих материалы и результаты этого анализа. Целью ПТ является выработка технического (при подготовке менеджеров — технико-экономического) обоснования возможности разработки изделия в соответствии с выставленными заказчиками требованиями и условиями. В том числе предусматривается возможность генерации и сравнительной оценки различных вариантов технического решения с учетом выявленных в результате анализа конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий.

Техническое предложение позволяет внести обоснованные коррективы в ТЗ, которое после обязательного согласования и утверждения является основанием для разработки эскизного и технического проекта. Электронный макет, который разрабатывается на стадии технического предложения с целью выявления и проверки вариантов основных конструктивных решений, не предназначается для точных расчетов и изготовления изделий, в отличие от более полных электронных описаний, формируемых на завершающих этапах проектных работ.

Применение электронных архивов, баз данных и автоматизированных справочно-информационных систем, основанных на знаниях, позволяет достаточно полно автоматизировать такие традиционно не формализуемые стадии, как разработка ТЗ и ПТ. Причем только в комплексных PLM-решениях УНВП появляется возможность автоматизации процедуры, коррекции согласования и утверждения технического задания на основе использования функционала PDM ЛОЦМАН.

**ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ (ЭП)** [28] представляет собой совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, определяющие принципы работы, структуру, компоновку и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Электронные макеты и модели, которые разрабатываются на стадии эскизного проекта, предназначены для анализа вариантов, проверки основных принципов работы, геометрических и других параметров изделия. Например, с помощью компьютерного моделирования проверяются кинематика и предельные перемещения движущихся частей, оцениваются условия размещения в отведенном пространстве полезной нагрузки силовых и стандартных элементов конструкции и т. п.

Одной из характерных особенностей развития современных полнофункциональных САПР является тенденция к смещению инженерного анализа (CAE-технологии) на ранние стадии проектных работ. Использование технологий инженерного анализа на стадии эскизного проекта позволяет автоматизировать принятие структурных и компоновочных решений, оптимизировать внешнюю форму изделий. Применение структурной оптимизации на ранних стадиях проектирования дает возможность избежать концептуальных ошибок в проектах и научным путем обосновать выбор рациональных вариантов решения сложных инженерных задач [7].

После обязательного согласования и утверждения (в УНВП в электронной форме — средствами PDM ЛОЦМАН) ЭП является основанием для разработки технического проекта.

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ (ТП)** [29] представляет собой совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия.

В процессе технического проектирования необходимо завершить выполнение всех проектных расчетов, начатых на ранних этапах. В том числе рассчитываются значения всех основных параметров изделия и его конструктивных элементов.

Применение первых программ электронно-вычислительных машин для инженерных расчетов, которые, в свою очередь, преимущественно использовались для автоматизации поверочных расчетов, исторически явилось прообразом CAE-систем. Современные CAE-технологии в интегрированных САПР могут успешно применяться для автоматизации проектировочных расчетов и проведения параметрической оптимизации [7].

Параметрическая оптимизация конструкций позволяет произвести эффективный подбор основных параметров силового набора: поперечных сечений каркаса, толщин слоев материала, углов армирующих волокон и т. д. В том числе возможна локальная модификация (в рамках заданной структуры) и элементов формы объемного тела. Например, если оптимизируются характеристики пластины, работающей на изгиб,

то в качестве параметров могут быть приняты толщины конечных элементов, на которые она разбита. Если проектируется ферма — площади сечений стержней, образующих расчетную модель.

ТП после согласования и утверждения (в УНВП в электронной форме — средствами PDM ЛОЦМАН) служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

**РАБОЧИЙ ПРОЕКТ (РП)** [24] представляет собой полное информационное описание, необходимое для дальнейшей технологической подготовки производства и изготовления изделия. Рабочий проект составляет функционально полный «комплект технической документации, не требующей для своего использования на последующих стадиях ТПП каких-либо дополнительных конструкторских разработок» [24].

Стандарт предусматривает проведение корректировки конструкторского описания изделия по результатам испытаний опытного образца, изготовления установочной серии и разработки технологического оснащения.

В условиях типового УНВП изготовление товарной продукции не предусмотрено. Но отдельные экземпляры заготовок могут быть полностью или частично обработаны в учебно-производственных центрах и лабораториях учебного заведения при подготовке технологий и инженеров-программистов станков с ЧПУ. В типовом проекте рекомендуется имитировать процесс обработки виртуально, на компьютерных моделях. А в качестве наглядных пособий могут быть использованы материальные модели, получаемые по технологиям компьютерного прототипирования [7], или промышленные образцы с базовых предприятий.

Положительный учебный эффект дает использование заранее подготовленных видеороликов или анимационных фильмов, наглядно иллюстрирующих особенности конструкции и технологию изготовления спроектированных изделий.

Этапы и операции конструкторского проектирования в среде типового вузовского УНВП должны выполняться с использованием наиболее популярных и востребованных средств и технологий автоматизированного проектирования, предлагаемых ведущими разработчиками систем промышленной автоматизации.

Для успешного выполнения комплексного учебного проекта инструментальные средства автоматизации, используемые на всех стадиях проектных работ, должны быть «бесшовно» интегрированы в УНВП. Термин «бесшовная интеграция» в САПР, прежде всего, означает, что обмен электронными документами (ЭМИ и ЭТД) между всеми программными модулями автоматизированной системы осуществляется автоматически, без потери информации при преобразовании форматов данных. Интеграция программного обеспечения — одна из самых сложных задач при создании PLM-системы. Применение фирменных комплексных PLM-решений позволяет избежать интеграционных проблем при создании УНВП.

При обучении технологиям комплексной автоматизации принципиально важно, чтобы прикладные инструментальные средства автоматизации достаточно легко и полно сочетались с выбранной PDM-системой в информационном плане. При этом в УНВП становится возможным в полной мере продемонстрировать функциональные возможности PDM-технологий, включая процедуры согласования, утверждения модификации технических документов, а также управления процессом коллективной работы над проектом. В учебных целях в интегрированной информационной среде необходимо моделировать такие особенности стадийности проектных работ, как наличие возвратных циклов, различных версий и состояний проектов, осваивается механизм прохождения изменений описаний изделий и их составных частей.

### **3.2.3. ВИДЫ И КОМПЛЕКТНОСТЬ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ В УНВП**

В соответствии с ЕСКД [23] конструкторские документы, в зависимости от стадии разработки, подразделяются на проектные и рабочие. Документы, предназначенные для внутреннего или разового использования в производстве, допускается выполнять в виде эскизов. При этом все графические и текстовые документы могут быть выполнены в электронной форме, причем, вид документа и его наименование при этом сохраняются.

Основные электронные документы выполняются в САПР на локальных автоматизированных рабочих местах (АРМ). Пользователи АРМ могут использовать PDM как рабочую среду или работать автономно. В обоих случаях в базе данных PDM, в электронном описании структуры изделия (ЭСИ) предварительно должен появиться новый информационный объект с соответствующим обозначением. Создание головного структурного элемента ЭСИ обычно инициируется руководителем проекта (в УНВП его профессиональную роль выполняет преподаватель). Пользователь развивает ЭСИ, дополняя закрепленный за ним структурный объект информационными объектами низшего уровня и подключая к ним файлы. Именно в файлах и находятся электронные документы, обсуждаемые в данном разделе.

Следует отличать структурный информационный объект с названием «Документ» и собственно ЭМИ, ЭТД и прочие электронные документы, находящиеся в файлах. В PDM ЛОЦМАН нельзя подключить автономно созданный файл непосредственно к головному структурному объекту типа «Сборочная единица» или «Деталь» – нужно сначала создать в их составе специальный структурный объект типа «Сборочный чертеж изделия» или «3D-модель детали» (рис. 3.2.1). Это необходимо для формализации процесса описания информационной структуры изделия, а также позволяет подключать сразу несколько содержательных файлов к одному структурному объекту типа «документ».

	H00.001.000 Насос	▶ головной структурный объект «сборочная единица»
	H00.001.000 Насос	▶ структурный элемент типа «документ»
	3D-модель сборки.	
	+ файлы ЭМИ	▶ файлы с содержательными документами
	H00.001.001 Плунжер	▶ головной структурный объект «деталь»
	H00.001.001 Плунжер	▶ структурный элемент типа «документ»
	3D-модель детали.	
	+ файлы ЭТД	▶ файлы с содержательными документами.

Рис. 3.2.1. Иерархия объектов при формировании ЭСИ

Если работа пользователя по проектированию нового изделия ведется в среде PDM, то прикладная инструментальная программа на автоматизированном рабочем месте конструктора вызывается автоматически, в зависимости от выбранного вида разрабатываемого документа. При этом достаточно будет указать головной структурный объект, а структурный объект типа «Документ» будет создан автоматически с предложенным по умолчанию именем родительского объекта.

Структурный объект «документ» в PDM ЛОЦМАН — особый вид объекта. Он может иметь собственные атрибуты, находится в определенных состояниях, может быть связан с другими объектами. Но в отличие от головных структурных объектов объект «документ»:

- ▶ не может иметь вертикальных связей с другими документами;
- ▶ может быть связан с одним или несколькими файлами. При этом содержательный файл позволяет привязать только к одному структурному объекту типа «Документ».

В таблице 3.2.1 приведен соответствующий ЕСКД перечень обозначений видов конструкторских документов и рекомендации по их использованию на основных стадиях КПП. В первой графе таблицы даны стандартные кодовые обозначения конструкторских документов, которых целесообразно придерживаться в УНВП. Для удобства использования в УНВП на платформе АСКОН в таблицу внесены обозначения типовых расширений файлов, содержащих соответствующие электронные документы.

Традиционно поправки, вносимые в документ, называются изменениями и описываются на отдельных листках — извещениях об изменении, прилагаемых к одному бумажному оригиналу. В электронном документообороте к структурному документу добавляется новый, исправленный, файл, который называется «версия документа». Номера изменений при этом соответствуют номерам версий документа. Все версии ЭТД хранятся в БД PDM.

Таблица 3.2.1.

**Перечень обозначений видов конструкторских документов  
и рекомендации по их использованию на основных стадиях  
КПП в УНВП**

Код документа	Наименование документа	ПТ	ЭП	ТП	РП				Примечания
					Детали	Сборки	Комплексы	Комплекты	
ЭМД (m3d)	<b>1. Электронная модель детали</b>	0	X	X	X	-	-	-	Электронный макет на стадиях ПТ и ЭП
ЭЧ (cdw)	2. Электронный 2D-документ (чертеж)	00	00	00	XX	-	-	-	Вспомогательный ЭТД на стадиях ПТ и ЭП и ТП
ЭСБ (a3d)	<b>3. Электронная модель сборки</b>	0	0	Xo	-	X	xo	xo	Электронный макет на стадиях ПТ и ЭП
СБ (cdw)	4. Сборочный чертеж	-	-	-	-	XX	-	-	-
ВО (cdw)	5. Чертеж общего вида	00	00	XXo	-	-	-	-	-
ТЧ (cdw)	6. Теоретич. чертеж	-	00	00	00	00	00	-	-
ГЧ (cdw)	7. Габаритный чертеж	00	00	00	00	00	00	-	-
МЭ (cdw)	8. Электр. чертеж	-	-	-	-	00	00	00	-
МЧ (cdw)	9. Монтажный чертеж	-	-	-	-	00	00	00	-
УЧ (cdw)	10. Упаковочн. чертеж	-	-	-	00	00	00	00	-
frw	11. Схемы	0	0	0	-	0	0	0	Виды схем по ГОСТ 2.701
KCC (frw)	12. Конструктивно-силовая схема	0	x0	0	0	0	0	0	На ранних этапах КТПП в УНВП
spw	13. Спецификация	-	-	-	-	XX	xxx	xxx	-
BC (spw)	14. Ведомость спецификаций	-	-	-	-	0	0	0	При двух или более ступенях входимости
ВД (spw)	15. Ведомость ссылочных документов	-	-	-	-	0	0	0	При имитации передачи КД изготовителю
ВП (spw)	16. Ведомость покупных изделий	-	0	0	-	0	0	0	При имитации различных условий поставки
ВИ (spw)	17. Ведомость разрешения применения покупных изделий	-	0	0	-	0	0	0	При имитации различных условий производства
ДП (spw)	18. Ведомость держателей подлинников	-	-	-	-	0	0	0	При освоении соотв. функционала PDM
ПТ (kdw или doc)	19. Ведомость технического предложения	xo	-	-	-	-	-	-	<b>Ведомости ПТ и ЭП, ТП. Пояснительную записку не составляют, если они входят в документы более высокого уровня</b>
ЭП (kdw или doc)	20. Ведомость эскизного проекта	-	xo	-	-	-	-	-	
ТП (kdw или doc)	21. Ведомость технического проекта	-	-	xo	-	-	-	-	
ПЗ (kdw или doc)	22. Пояснительная записка	X	X	X	-	-	-	-	
ВДЭ (kdw или doc)	<b>23. Ведомость электронных документов</b>	-	0	0	-	0	0	0	При освоении соотв. функционала PDM
ТУ (kdw или doc)	24. Технические условия	-	-	0	0	0	0	0	При имитации различных условий производства
ПМ (kdw или doc)	25. Программа и методика испытаний	-	0	0	0	0	0	-	При имитации различных условий производства
ТБ	26. Таблицы	0	0	0	0	0	0	0	Номенклатура документов устанавливается в зависимости от условий и задач УАПР
РР	27. Расчеты	0	0	0	0	0	0	0	
И...	28. Инструкции	-	-	-	0	0	0	0	
Д...	29. Прочие документы	0	0	0	0	0	0	0	

Условные обозначения:

x — документ, обязательный по ГОСТу; x0 — документ, исполняемый выборочно по ТЗ;

0 — документ, составленный в зависимости от методики учебного автоматизированного проектирования (УАПР) или условий ТЗ;

00 или ХХ — конструкторские документы, отмеченные двойным значком, должны,

по условиям методики УАПР, получаться на основе ЭМД или ЭСБ.

Спецификацию, ВС, ВД, ВП, ВИ, ДП, ПТ, ЭП, ТП, ВДЭ, ЗИ, ВЭ и др. рекомендуется получать как отчет из электронной структуры изделия (средствами PDM ЛОЦМАН).

С точки зрения освоения информационных технологий КТПП, важно отличать вид, форму, версию и статус содержательных технических документов.

Как правило, статус версии документа указывается как атрибут терминами: «*В разработке*», «*На согласовании*», «*Утвержден*», «*Отменен*» и т. п. Одни и те же по форме и виду документы могут иметь следующий важный для организации проектных работ статус.

**ОРИГИНАЛЫ** — электронные документы, предназначенные для изготовления подлинников и подписанные электронной цифровой подписью разработчика.

То есть оригиналы являются авторскими разработками и в УНВП могут храниться на локальных АРМ. В этом случае студент может выполнять ряд проектных работ автономно, например, на домашнем компьютере. В УНВП ЭЦП можно не использовать или только имитировать.

**ПОДЛИННИКИ** — электронные документы с ЭЦП, предназначенные для получения с них копий. Подлинники утверждаются в среде PDM (получают статус подлинника) и хранятся в электронном хранилище УНВП.

**ДУБЛИКАТЫ** — электронные документы, полученные посредством электронного копирования подлинника, подписанные установленными ЭЦП лиц, ответственных за их изготовление, и предназначенные для изготовления с них копий. Дубликаты формируются и подписываются в среде PDM, что позволяет наладить учет дубликатов.

**КОПИИ** — электронные документы, выполненные способом, обеспечивающим идентичность их с подлинниками (дубликатами), подписанные установленными ЭЦП лиц, ответственных за их изготовление. Формируются и подписываются в среде PDM, что позволяет наладить учет официальных копий и сформировать список рассылки изменений.

Основными конструкторскими документами в УНВП в зависимости от выбранной учебной методики являются:

- ▶ для деталей — электронная модель детали и/или электронный чертеж;
- ▶ для сборочных единиц — электронная спецификация, созданная в КОМПАС-3D и/или полученная из электронной структуры изделия в PDM ЛОЦМАН.

В УНВП схемы и чертежи должны преимущественно выполняться на основе электронных моделей деталей и сборок. По нашим наблюдениям, функционал конструкторских САПР, касающийся автоматизации разработки электронных 2D-чертежей, до сих пор является одним из самых востребованных на производственных предприятиях. Да и в

обозримом будущем плоские графические документы вряд ли могут быть полностью заменены на объемные модели. *(Спрос на двухмерные САД-системы падает, так как в машиностроении трехмерные САД-инструменты — это уже стандарт, а эра двухмерного проектирования подходит к концу — прим. редактора).*

Таким образом, владение компьютерными технологиями получения 2D-чертежей на основе ассоциативных видов 3D-моделей совершенно необходимо включать в перечень основных навыков автоматизированного проектирования. Кроме того, осознанное и квалифицированное формирование ассоциативных и параметрических связей между 2D- и 3D-моделями в среде УНВП позволяет автоматизировать многие процедуры модификации и изменения ЭД в комплексной системе.

Комплекс АСКОН предлагает полный набор шаблонов, форм и средств автоматизации для разработки не только графической, но и текстовой технической документации в электронной форме.

Согласно ЕСКД текстовые документы выполняют в определенных формах (в технической практике их часто называют форматками). Текстовые документы подразделяют на документы, содержащие, в основном, сплошной текст (технические условия, паспорта, расчеты, пояснительные записки, инструкции и т. п.), и документы, содержащие текст, разбитый на графы (спецификации, ведомости, таблицы и т. п.). В УНВП мы будем называть их табличными текстовыми документами.

Сплошные текстовые документы (в дальнейшем просто текстовые документы) удобнее всего формировать с помощью текстовых редакторов, например MS Word (doc) или Open Office. В состав САПР КОМПАС входит специализированный текстовый процессор, аналогичный и совместимый с Word, который позволяет оформлять документы в полном соответствии со стандартами ЕСКД (kdw). В частности, не только табличные, но и сплошные документы должны быть помещены в рамку с основной надписью внизу.

Стандарт устанавливает требования как к внешнему облику текстовых документов, так и к их содержанию. Например, пояснительная записка к проекту в общем случае должна состоять из следующих разделов:

- ▶ введение (с указанием, на основании каких документов разработан проект);
- ▶ наименование и область применения проектируемого изделия;
- ▶ техническая характеристика;
- ▶ описание и обоснование выбранной конструкции с указанием, какие части заимствованы из ранее разработанных изделий;
- ▶ расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции;
- ▶ описание организации работ с применением разрабатываемого изделия;
- ▶ ожидаемые технико-экономические показатели.

Согласно ГОСТу в зависимости от особенностей изделия отдельные разделы допускается объединять или исключать, а также вводить

новые разделы, что позволяет в УНВП достаточно гибко назначать требования к пояснительным запискам в зависимости от авторской методики УАПР, а также правил и традиций учебного заведения.

### 3.2.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНСТРУКТОРСКИЕ ДОКУМЕНТЫ В УНВП

Стандарты ЕСКД [32–34], принятые в 2006 г., достаточно подробно определяют понятия и термины электронного документооборота в промышленных автоматизированных системах (рис. 3.2.2, 3.2.3).

Причем, особо следует обратить внимание на присутствующие в тексте стандартов развернутые комментарии к терминам и определениям. Например, особо подчеркивается комплексный характер моделей, используемых в системах автоматизированного проектирования и управления инженерными данными: «Модель изделия должна содержать полный набор конструкторских, технологических и физических параметров, необходимых для выполнения расчетов, математического моделирования, разработки технологических процессов и др.».

*Электронный технический документ*, или, как обозначено в стандарте, [32] ДЭ (документ электронный), — «разработанный с использованием компьютерных технологий технический документ, выполненный как структурированный набор данных, создаваемых программно-техническим средством».

ДЭ выполняют на стадии разработки изделия и применяют *на всех стадиях жизненного цикла изделия*. ДЭ получают в результате *автоматизированного проектирования* или преобразования формы документов, выполненных в бумажной форме, в электронную форму.

Чтобы различать конструкторские и технологические электронные документы в УНВП, ведем обозначения: ЭДК и ЭДТ. А также воспользуемся часто применяемыми на практике сокращениями: ЭЧ — для обозначения электронных графических документов, содержащих плоские (2D) геометрические модели, и ЭР — для обозначения электронных рисунков, сформированных средствами изобразительной компьютерной графики [7].

У электронных документов выделяют два представления: внутреннее и внешнее. *Во внутреннем* (компьютерном) представлении ДЭ *существует только в памяти компьютера* или в виде записи информации на электронном носителе — «в виде файла, воспроизводимого только специальными программно-техническими средствами».

*Внешним* является представление ДЭ *в форме, доступной для визуального восприятия человеком*. Для получения формы внешнего представления внутреннее представление ДЭ должно быть преобразовано к требуемому виду техническими средствами отображения данных (выведено на монитор или принтер).

В отличие от компьютерной модели или чертежа электронный документ обязательно имеет две компоненты — содержательную и реквизитную.

**СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ** ДЭ состоит из одной или нескольких информационных единиц (ИЕ), включающих всю основную информацию об изделии, необходимую для компьютерной обработки и использования. Электронная модель детали (ЭМД) или ЭЧ, содержащие единственную ИЕ, могут служить примером простого ДЭ (Рис. 3.2.2, а). Пояснительная записка, содержащая тексты, ЭР и таблицы в отдельных файлах, является составным ДЭ (рис. 3.2.2, б).

**В РЕКВИЗИТНУЮ ЧАСТЬ** ДЭ входят дополнительные данные, в том числе авторские и утверждающие подписи, которые выполняются в виде электронной цифровой подписи. Если реквизитная часть присутствует в нескольких ИЕ, то тогда такой ЭД называется агрегированным (рис. 3.2.2, в). Например, электронная сборка (ЭСБ), как правило, объединяет несколько ЭМД, размещенных в различных файлах. Кроме ЭЦП, в реквизитную часть конструкторских ДЭ помещают такую важную информацию, как масса, конструкционный материал и т. п. Такие данные называют атрибутивными.

ГОСТ ЕСКД—2006 [32] вводит понятие **АТРИБУТА** ДЭ как «элемента данных, выражающих определенную характеристику электронного документа. Каждый атрибут имеет собственное наименование и значение».

**ТВЕРДАЯ КОПИЯ** ДЭ, изготовленная и подписанная в установленном порядке, может иметь то же наименование документа, но должна содержать указание, что исходным документом является ДЭ.



Рис. 3.2.2. Примеры организации данных в электронных технических документах: а — простой ДЭ; б — составной ДЭ; в — агрегированный ДЭ

### 3.2.4.1. ЭЛЕКТРОННАЯ ЦИФРОВАЯ ПОДПИСЬ (ЭЦП)

Согласно ГОСТу [32] ЭЦП является «неотъемлемой составляющей реквизитной части ДЭ и предназначена для удостоверения и подтверждения его подлинности и целостности». С точки зрения реализации электронного документооборота, под подлинностью подразумевается подтверждение аутентичности и статуса документа.

ЭЦП увязывает в одно целое содержание подписанной информации и идентификацию подписывающего лица и делает невозможным изменение информации без нарушения данной ЭЦП. Значение ЭЦП вычисляются после того, как в документ были внесены идентификационные данные.

К сожалению, применение ЭЦП не обеспечивает защиту информации от несанкционированного доступа, а выполняет только задачи аутентификации и идентификации.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ** подтверждает соответствие документа критериям поиска и его совпадение с содержанием подлинника. Идентичными являются документы, одинаковые по коду и формату данных.

**АУТЕНТИФИКАЦИЯ** подтверждает подлинность, целостность и авторскую принадлежность документа конкретному лицу, поставившему ЭЦП. При этом ДЭ могут быть выполнены на различных носителях, записаны в разных форматах, но по содержанию будут аутентичны.

ЭЦП представляет собой набор знаков, генерируемый специальной программой в процессе обработки ДЭ по определенному алгоритму, так называемое *хэширование*. Секретный ключ (код) для программы ЭЦП выдается каждому пользователю АС, имеющему право подписи, и может храниться на диске или смарт-карте. Второй ключ (открытый) используется получателями документа для проверки подлинности ЭЦП. При помощи ЭЦП можно подписывать отдельные файлы или фрагменты баз данных. В последнем случае программное обеспечение, реализующее ЭЦП, должно встраиваться в PDM.

Подтверждение подлинности и целостности ДЭ производится соответствующими программно-техническими средствами, обеспечивающими создание и проверку ЭЦП. Причем, порядок использования ЭЦП и применяемые программно-технические средства устанавливаются разработчиком [32]. Это позволяет в УНВП ограничиться использованием функций, встроенных в базовую PDM, а также программ-имитаторов.

### 3.2.4.2. ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ

Согласно положениям ЕСКД—2006 [33] «электронной моделью изделия (ЭМИ) называется модель детали или сборочной единицы, представленная в виде *набора данных, которые определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия*». Модель должна содержать полный набор конструкторских,

технологических и физических параметров, необходимых для выполнения расчетов, математического моделирования, разработки технологических процессов и др. При этом подчеркивается, что «полнота и подробность модели на различных стадиях разработки должны соответствовать требованиям стандартов ЕСКД».

В УНВП ЭМИ используется:

- ▶ как ключевой элемент интерпретации полного информационного описания изделия, формируемого на всех проектно-производственных стадиях ЖЦИ;
- ▶ как источник информации для получения визуального отображения конструкции изделия в процессе выполнения проектных работ, производственных и иных операций;
- ▶ как основа для автоматизации разработки графической конструкторской и технологической документации, выполнения функционального инженерного анализа, генерации программ для станков с ЧПУ и другого цифрового оборудования.

Основу ЭМИ, используемых в машиностроении, образует геометрическое описание изделий. Стандарт ЕСКД [33–34] подчеркивает *геометро-центрический характер моделирования*, используемого в современных машиностроительных САПР (см. рис. 3.2.3, 3.2.4). Он вводит в инженерную практику определяющий набор терминов и понятий, касающихся практического использования в проектной деятельности методов и средств компьютерной графики и геометрического моделирования. В том числе определяются такие термины, как «*геометрическая модель*», «*модельное пространство*», «*твердотельная, поверхностная и каркасная модели*», а также подробно описываются требования к графической составляющей электронного конструкторского документа и правила его выполнения. Приводятся образцовые примеры визуализации объемной геометрической модели на электронном устройстве отображения.



Рис. 3.2.3. Пример типового состава электронной модели изделия



Рис. 3.2.4. Состав геометрической электронной модели изделия

Поскольку геометрическое моделирование играет в современных технологиях САПР столь значительную роль, мы отвели ему существенное место в технологии и методике УАПР.

### 3.2.4.3. ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ИЗДЕЛИЯ (ЭСИ)

Стандартные определения электронной структуры изделия и связанных с ней терминов актуальны для всех современных САПР и исключительно важны для формирования знаний и навыков проектной деятельности в ИИС.

По ГОСТ ЕСКД—2006 [34] электронная структура изделия (ЭСИ) — это «конструкторский документ, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и иерархические отношения (связи) между его составными частями». ЭСИ связывает и упорядочивает все электронные модели и данные об изделии. Она предназначена для организации информационного взаимодействия между автоматизированными системами. ЭСИ выполняется только в электронной форме для использования в компьютерной среде.

Понятие *структуры*, определяемое как упорядоченная совокупность составных частей объекта (или системы) и связей между ними, является одним из самых универсальных и востребованных в науке и технике. В PDM-технологиях с электронной структурой изделия связываются следующие термины:

- ▶ *входимость* — характеризует иерархию связей составных частей изделия в составе конечного изделия или/и его агрегатов;
- ▶ *применяемость* — характеризует связи между объектами структуры, показывающие, при каких условиях данная составная часть может быть использована.

Электронная структура проекта, формируемая в PDM, однозначно и наглядно описывает иерархию и состав разрабатываемой машины или конструкции.

С точки зрения освоения методов и средств применения информационных технологий, для комплексной автоматизации КТПП важными являются следующие основные понятия, вводимые ЕСКД:

- ▶ *информационный объект (ИО)* — «совокупность данных, обладающая атрибутами», связанная инструментальными программными средствами, позволяющими определенным образом обрабатывать эти данные;
- ▶ *информационная модель изделия* — определяется как совокупность данных и отношений между ними, описывающая различные свойства реального изделия;
- ▶ *модель данных* — трактуется как способ представления данных информационной модели в компьютерной среде.

Различают следующие основные разновидности ЭСИ: функциональная, конструктивная, производственно-технологическая, физическая, эксплуатационная и совмещенная модели структуры изделия.

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭСИ** предназначена для определения назначения изделия и его частей, предъявляемых к ним функциональных требований. ГОСТ рекомендует формировать функциональную ЭСИ на самых ранних этапах проектных работ — начиная со стадии разработки технического предложения на изделие.

В УНВП студенты при разработке ПТ предлагают варианты структуры и исполнения изделий на основе проведенного ими информационного и патентно-лицензионного поиска.

**КОНСТРУКТИВНЫЙ СОСТАВ** изделия отображает информацию, важную для описания технических решений и состава конструкторской документации комплексов, сборочных единиц и комплектов. Конструктивная ЭСИ в УНВП выполняется на стадиях разработки эскизного проекта, технического проекта и рабочей конструкторской документации.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ** изделия предназначен для отображения особенностей технологии изготовления и сборки изделия.

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СОСТАВ** отражает производственную структуру, используемое оборудование и другие ресурсы предприятия. Производственно-технологическая ЭСИ выполняется на стадиях технологической подготовки производства в соответствии с подготовленной при развертывании УНВП имитацией производственной среды.

Между перечисленными видами ЭСИ, существуют взаимосвязи. Например, конструктивная ЭСИ может строиться на основе функциональной ЭСИ, а производственно-технологическая, физическая и эксплуатационная ЭСИ — на основе конструктивной ЭСИ.

ЭСИ формируется, как правило, автоматизированным способом на основе информации, хранящейся в *общей базе данных об изделии* (ОБДИ). На основе ЭСИ могут быть сформированы вторичные документы, например, отчеты.

Отчетами в PDM технологиях называют автоматические выборки из ОБДИ, выполняемые, как правило, в виде текстовых документов или таблиц, например, конструкторские спецификации и ведомости. Номенклатуру видов документов по ЕСКД смотрите в таблице 3.2.1.

Графически структура изделия может представляться в виде *ориентированного графа*, а также в форме многоуровневого списка (рис. 3.2.5).

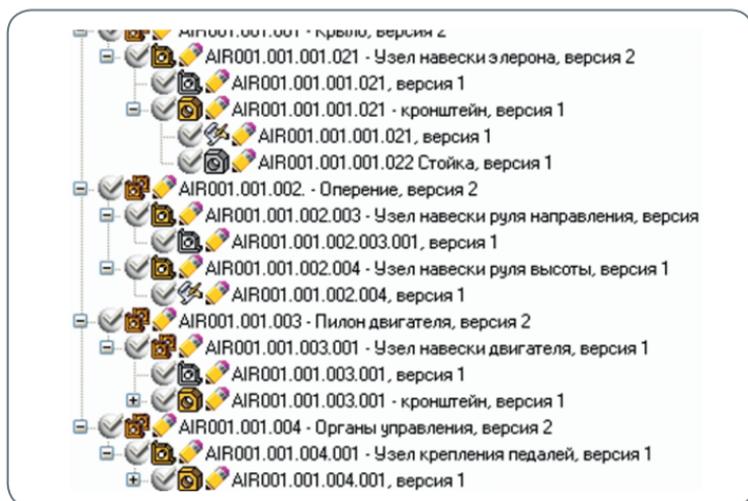


Рис. 3.2.5. Пример отображения ЭС учебных изделий в экспериментальной УНВП в среде PDM ЛОЦМАН

Сформированная в PDM электронная структура изделий позволяет автоматизировать многие процедуры, характерные для выполнения комплексных проектов. Так, документирование управления разработкой изделия выполняют посредством присоединения к ИО, отображающему состав изделия, ассоциированных с проектами документов, описывающих их обращение в процессе разработки, согласования и утверждения.

Согласно ГОСТу состав и способы представления технических данных в ЭСИ определяются назначением, стадией ЖЦИ и моделью данных. Это позволяет, не нарушив общей методологии промышленной автоматизации, сформировать в УНВП для решения образовательных задач специфический состав и структуру состава изделий, используемые в учебном проектировании. А выделение определенного контекста позволяет акцентировать внимание обучаемых на дидактически важных компонентах единого информационного пространства предприятия.

### 3.3. Рекомендации ЕСТД, связанные с использованием прикладных компьютерных технологий и САПР

Стандарты ЕСКД и ЕСТД естественным образом связаны между собой, ссылаются друг на друга и даже частично пересекаются в некоторых положениях и рекомендациях. Например, отработку конструкции на технологичность предусматривается начинать уже на стадиях ПТ, ЭП и ТП. Согласно ГОСТ Р [46] на этапе ТПП изготовитель должен выполнить работы, обеспечивающие технологическую готовность предприятия к изготовлению продукции, в соответствии с требованиями КД, в том числе завершить отработку конструкции на технологичность с учетом стандартов ЕСТД.

В свою очередь, ЕСТД расширяет действие комплекса промышленных стандартов на этапы технологической подготовки производства и логически опирается на предшествующие ей стандарты ЕСКД. Так, установленные стандартами ЕСКД [22] нормы и правила по разработке, оформлению и обращению технической документации распространяются также на всю нормативно-техническую и технологическую документацию в той части, в которой они могут быть для них применимы.

В ЕСТД—2011 приведены общие положения, определяющие Единую систему технологической документации как «комплекс стандартов и рекомендаций, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, комплектации, оформления и обращения технологической документации, применяемой при изготовлении, контроле, приемке и модернизации изделий» [39].

ЕСТД регламентирует не только перечень и форму технологической документации, но и порядок выполнения технологического проектирования, а также создания *единой информационной базы технологических документов* с использованием средств автоматизированного проектирования и управлении электронным документооборотом.

По новой редакции ЕСТД—2011 [39-43] технологические документы могут быть выполнены равно как в бумажной, так и/или электронной форме. При этом *электронный технологический документ* (ЭТД), по аналогии с ЭКД, представляет собой «структурированный набор данных, создаваемых программно-техническим средством и имеющий содержательную и реквизитную части, в том числе установленные подписи, выполненные с использованием ЭЦП».

В соответствии с ГОСТ ЕСТД [40] стадии разработки технологической документации определяются в зависимости от стадий разработки используемой конструкторской документации [24].

На стадии проектирования «техническое предложение» технологическую документацию не разрабатывают.

Последующие стадии проектных работ могут включать следующие технологические проекты.

*Предварительный проект* составляют технологические документы, «предназначенные для изготовления и испытания материального макета изделия» [40]. Предварительный технологический проект разрабатывается на основе конструкторской документации, выполненной на конструкторских стадиях ЭП и ТП.

Разработка технологических процессов изготовления опытного образца (или опытной партии), а также технологическая подготовка серийного производства относятся к стадиям рабочего проектирования технологической документации. Эти стадии соответствуют этапу рабочего конструкторского проектирования и отражают циклический характер проектных работ, подразумевающих последовательное совершенствование полного описания изделия.

По результатам испытания опытного образца производится корректировка конструкторского проекта, приводящая к изменению технологии изготовления. Отработка изделия на технологичность также приводит к изменениям конструкции, но уже по инициативе технологических служб предприятия.

В новую редакцию ЕСТД—2011 [40], вступившую в действие 01.01.2012, добавлен пункт, гласящий, что при выполнении технологической документации в форме электронного документа требования к форматам данных рекомендуется устанавливать на предшествующей стадии разработки, если это не предусмотрено техническим заданием. С учетом того обстоятельства, что в комплексной автоматизированной системе одним из самых сложных, с информационной точки зрения, является стык конструкторской и технологической подсистем, это положение представляется весьма значимым. Существенно возрастает роль и влияние САД-технологий на выбор средств и методов автоматизации технологического проектирования. Действительно, в современных САПР ТП логично и уместно использовать ЭМИ и ЭКД, созданные конструкторами без их преобразования и переформатирования.

При разработке документации на технологические процессы, выполняемые на стадиях «предварительный проект» и «опытный образец» ТД следует выполнять в *маршрутном* и/или *маршрутно-операционном* описании. Допускается разработка технологической документации в маршрутно-операционном описании при условии ее применения в мелкосерийном производстве.

При разработке документации для серийного производства предусматривается создание существенно более полного операционного описания технологических процессов.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные. К основным ТД относят документы, содержащие сводную информацию, необходимую для описания технологического процесса (операции) изготовления или ремонта изделия или его составных частей. К вспомогательным ТД относят сопутствующие документы, порождаемые в процессе разработки, внедрения, осуществления технологических процессов и выполнения операций, например, карту заказа на проектирование технологической оснастки, листки изменений и др.

Современные технологические стандарты адаптированы для выполнения разработки технологических процессов и ТД методами автоматизированного проектирования и организации электронного документооборота. Например, в стандарты ЕСТД введены определения реквизита, атрибута и версии электронного документа, аналогичные рассмотренным выше в стандартах ЕСКД [32—35]. При этом для ЭКД и ЭТД действуют общие правила управления изменениями [31].

На достаточно высоком уровне автоматизации стадии и процедуры технологического проектирования реализуются УНВП с использованием функциональных возможностей САПР ТП ВЕРИКАЛЬ, входящей в комплекс АСКОН.

### 3.4. Правила учета и внесения изменений в электронные технические документы

На любом крупном машиностроительном заводе, с многолетней историей и славными традициями подготовки и сопровождения производства сложной техники, центром и приводным ремнем инженерного документооборота является служба *технического архива*.

В архиве активно действующего предприятия документация не только учитывается и сохраняется, но и постоянно обрабатывается и изменяется. При этом может измениться ее форма, статус и даже содержание.

По стандартам, принятым на большинстве отечественных предприятий, конструкторский чертеж или технологическая карта приобретают статус *подлинника*, только пройдя через руки архивариусов.

Именно в архиве изготавливаются и строго учитываются все легитимные *копии документов*.

Через архив в обязательном порядке проходят все изменения и модификации технических описаний изделий. *Изменение*, инициированное конструктором или технологом, должно пройти этап согласования и получить необходимые подписи и визы. Даже небольшое, но принципиальное изменение изделия или технологии его изготовления может привести к необходимости пересмотра большого комплекса

документов: их модификации, отмене, замене. Прежде чем попасть на производство, все изменения должны быть учтены, обработаны, модифицирован соответствующий им документальный контекст, изготовлены контрольные копии и отправлены по списку рассылки всем заинтересованным лицам из числа проектного и производственного персонала. Поэтому специалисты по САПР говорят о необходимости автоматизации всего процесса управления изменениями проекта изделия, включая инициацию, разработку, согласование изменений, модификацию контекста документов и рассылку извещений об изменениях [7].

Ну и наконец, что важно для УНВП, в архиве накапливаются и раскладываются по полочкам не только бумага или файлы, но самое полное на предприятии описание изделия, оформленное на общепринятом техническом языке. То есть правильно организованный и эффективно действующий архив может превратиться в кладезь и незаменимый источник знаний для обучения специалистов.

Согласно ЕСКД [30] «подлинники электронных документов хранят в базах данных автоматизированных систем и/или на отдельных электронных носителях». Причем, технические документы, изготовленные ранее «в бумажной форме, могут быть преобразованы в файлы». Снабженные соответствующими реквизитами и подписанные в установленном порядке электронными цифровыми подписями, эти файлы становятся электронными документами. В свою очередь, «для использования в процессах производства, эксплуатации, ремонта и утилизации изделий электронные документы могут быть преобразованы в бумажные документы с применением средств вычислительной техники».

Таким образом, в УНВП должны появиться соответствующие методы и средства автоматизации, позволяющие продемонстрировать студентам функциональные возможности управления изменениями ЭКД на всех стадиях КТПП, а также обеспечить практическое освоение технологий электронного технического документооборота, связанных с хранением, модификацией и преобразованиями электронных моделей и документов.

Согласно стандарту [31] «под изменением технического документа понимается любое исправление, исключение или добавление каких-либо данных в этот документ. ... Любое изменение в документе, вызывающее какие-либо изменения в других документах, должно одновременно сопровождаться внесением соответствующих изменений во все взаимосвязанные документы».

Для справки укажем основные причины изменений и их коды, рекомендованные стандартом.

Таблица 3.4.1

### Основные причины внесения изменений в описания и технические документы

№	Наименование причины	Код по ГОСТу
1	Введение улучшений и усовершенствований:	
	конструктивных	1
	технологических	2
	в результате стандартизации и унификации	3
2	Внедрение и изменение стандартов и технических условий	4
3	По результатам испытаний	5
4	Отработка документов с изменением литеры	6
5	Устранение ошибок	7
6	Улучшение качества	8
7	Требования заказчика	9
8	Улучшение схемы	10
9	Улучшение электрического монтажа	11
10	Изменение средств технологического оснащения	12
11	Изменение условий труда	13
12	Введение новых технологических процессов (операций)	14
13	Замена исходной заготовки	15
14	Изменение норм расхода материалов	16

Изменение содержательных описаний на всех стадиях жизненного цикла изделия вносят на основании особых документов, называемых *извещениями об изменении (ИИ)*. Форматы ИИ и правила оформления сопутствующих им документов стандартизованы.

Если необходимо изменить само извещение, для него выпускают *дополнительное извещение (ДИ)*.

Право выпускать ИИ и вносить изменения в подлинники документов имеет только организация — держатель подлинников этих документов (например, головное конструкторское бюро). Для инициации выпуска ИИ на удаленном заводе стандартом рекомендуется оформлять *предложения об изменении (ПР)* и направлять их для дальнейшего оформления предприятию — держателю подлинников.

На основании ПР не допускается изменять документацию и проводить доработку изделия. Но в копии документов, находящихся в производстве (например, на серийном заводе), допускается вносить изменения на основании *предварительного извещения (ПИ)* и изменять ПИ по *дополнительному предварительному извещению (ДПИ)*.

По современным стандартам ЕСКД все документы, связанные с проведением изменений (ИИ, ДИ, ПИ, ДПИ), допускается выполнять как в бумажной, так и электронной форме. Причем, для электронных моделей и описаний ИИ составляют на каждый содержательный документ.

Изменение в электронной форме осуществляют заменой (перевыпуском) всего документа в целом или его отдельных листов. Изменения, вносимые в подлинники документов в электронной форме, приводят к изменению соответствующих реквизитов и атрибутов. При внесении изменений в подлинник электронного документа изменяется версия этого документа.

Изменения и соответствующие им версии электронных документов нумеруют арабскими цифрами и присваивают кодовое обозначение. Стандарт рекомендует в обозначение ИИ включать код предприятия, выпустившего ИИ, порядковый регистрационный номер и год выпуска, например, АБВГ.16.2/4—2012. В числителе дроби (в данном случае 2/4) указан порядковый номер ИИ в комплекте, а в знаменателе — общее число изменений.

Для единообразия требований в типовом УНВП целесообразно воспользоваться обширным функционалом по управлению изменениями, предлагаемым разработчиками PDM-систем [11].

Модуль *ЛОЦМАН Извещения* позволяет создавать и проводить все предусмотренные отечественным стандартом типы извещений:

- ▶ извещение об изменении (ИИ);
  - ▶ дополнительное извещение (ДИ);
  - ▶ предварительное извещение (ПИ);
  - ▶ дополнительное предварительное извещение (ДПИ),
- а также создавать предложение об изменении (ПР).

ЛОЦМАН Извещения можно использовать совместно с подсистемой ЛОЦМАН WorkFlow. При этом набор и последовательность действий, которые будут выполняться после создания извещения (согласование, проведение, проверка), целиком зависит от используемого типового бизнес-процесса. При помощи модуля ЛОЦМАН Извещения в этом случае можно будет:

- ▶ вести контроль процесса согласования;
- ▶ редактировать карту согласования;
- ▶ создавать план-график.

В отличие от большинства зарубежных систем в PDM ЛОЦМАН подготовлены все необходимые форматы извещений и механизм проведения изменений электронного описания изделий машиностроения, предусмотренный действующими Российскими стандартами.

-  Бланк извещения (бланк прикрепляется к данному документу в момент внесения изменений либо в момент введения нового документа средствами модуля ИИ).
-  Дополнительное извещение.
-  Дополнительное предварительное извещение.
-  Извещение на погашение.
-  Извещение об изменении.
-  Листок запуска.
-  Предварительное извещение.

## 4. Пример разработки авторского сценария учебного автоматизированного проектирования в среде УНВП

В данной книге описывается методика учебного автоматизированного проектирования на примере экспериментального УНВП, развернутого на базе центра компьютерного проектирования факультета машиностроения и автомобильного транспорта СамГТУ.

Центр компьютерного проектирования (ЦКП) выполняет функцию материальной базы массового учебного процесса для студентов и проведения курсов повышения квалификации для преподавателей и работников промышленных предприятий. Компьютерные классы центра оборудованы парком универсальных автоматизированных рабочих мест (рис. 4.1), объединенных в ранжированную сеть с выделенными серверами приложений. Кроме того, центр оснащен специальным оборудованием, дающим обучаемым возможность использовать технические средства, характерные для машиностроительных САПР: сканеры и принтеры-плоттеры большого формата, контрольно-измерительные машины, настольные станки с ЧПУ.

Проблема сопровождения профессионального программного обеспечения для ЦКП решена посредством открытия авторизованных учебных центров, действующих при СамГТУ по договорам с ведущими производителями ПО САПР. Фирменные авторизованные центры, как правило, не имеют штатов и самостоятельной материальной базы и, в основном, статусный характер. Сертификат, выданный известной софтверной фирмой, подтверждает высокий учебно-методический уровень ЦКП, что немаловажно на рынке образовательных услуг. А приобретенные СамГТУ программные лицензии и методическое обеспечение не только позволяют студентам успешно осваивать современные средства автоматизации, но и благодаря высокой квалификации преподавателей служат хорошим стимулом и примером для предприятий региона внедрения и эффективного использования новых компьютерных технологий и систем.

В отличие от виртуального КБ производственному цеху необходимы помещения производственного назначения, соответствующие энергетические мощности и, конечно, новейшие дорогостоящие станки. Такие ресурсы СамГТУ смог привлечь, наладив сотрудничество с ведущими промышленными предприятиями региона и представителями станкостроительных фирм. Созданный в 2003 г. на базе ФМиАта учебный центр «МАШИНОСТРОИТЕЛЬ-ВБМ» оборудован двумя высокопроизводительными металлорежущими станками с ЧПУ. А действующий с 2007 г. учебно-выставочный центр фирмы EMAG оснащен пятью современными обрабатывающими комплексами,

наглядно демонстрирующими передовые достижения мирового станкостроения (рис. 4.2).



Рис. 4.1. Центр компьютерного проектирования ФМиАТ СамГТУ.



Рис. 4.2. Современные обрабатывающие центры с ЧПУ в учебно-производственных центрах СамГТУ.

Станочные центры, которые выпускают реальную продукцию и проводят шеф-обслуживание фирменного оборудования, не предназначены для массовой учебной работы. Но они существенно дополняют возможности ЦКП ТМ, выполняя функцию центров компетенции САМ-технологий и ресурсной базы при выполнении комплексных проектов и прохождении производственной практики. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время в СамГТУ сложился комплекс учебно-промышленных центров машиностроительного направления с учебными компьютерными лабораториями, оснащенными профессиональным прикладным программным обеспечением и производственным оборудованием. Это позволяет студентам в процессе обучения не только моделировать самые сложные изделия и процессы их обработки, но и разрабатывать и отлаживать технологические программы на реальных промышленных установках и станочных комплексах [7].

Наличие соответствующего комплекса материальных, программных и образовательных ресурсов позволило успешно реализовать концепцию виртуального учебно-научного предприятия в структуре междисциплинарного центра компьютерного проектирования. УНВП ФМиАТ уже в течение ряда лет используется для обучения бакалавров и магистров техники и технологии по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с учетом специфики и учебного плана СамГТУ, а также задач и возможностей выпускающей кафедры «Технология машиностроения».

Представленная методика не является готовым решением и не претендует на роль единственно возможного и неизменяемого варианта. В определенной мере она опирается на подходы, традиции и наработки крупных преподавательских коллективов и известных научных школ, в которых авторам посчастливилось трудиться. В существенной степени описываемая методика является авторской, то есть, основана на использовании методов, средств, учебных пособий и материалов, собранных и разработанных авторами, учитывает многолетний личный опыт обучения пользователей САПР в Авторизованном учебном центре АСКОН и в ряде технических вузов Самарского региона. Более того, авторы не собираются останавливаться на достигнутом и имеют определенные творческие планы по развитию и модификации данной разработки, в том числе и по существенному расширению типов заданий и образцов объектов проектирования.

Разработчики надеются, что данная методика послужит хорошим примером и отправной точкой для авторов и организаций, начинающих самостоятельно создавать новые программы и курсы обучения технологиям автоматизированного проектирования в едином информационном пространстве учебного виртуального предприятия на платформе АСКОН.

## 4.1. **Обобщенный алгоритм комплексного УАПР в среде УНВП**

Рассмотрим сценарий комплексного УАПР в УНВП на примере сквозного проектирования типовой машиностроительной детали, например, кронштейна. Мы специально остановили выбор на достаточно простом и наглядном объекте проектирования. Кстати, это соответствует одному из важнейших дидактических принципов обучения: от простого — к сложному. Для использования в УНВП надо подбирать не слишком трудоемкие проектно-конструкторские задачи (ПКЗ), чтобы за отведенное время студенты успели пройти все стадии работ. Но при этом ПКЗ должны быть не тривиальны по инженерным решениям, разнообразны по предметным областям и служебному назначению, а также интересны в творческом плане — то есть многовариантны и неоднозначны.

Согласны, найти поучительную инженерную задачу непросто. Проектирование силового кронштейна — как раз то, что нужно. Кронштейн (от нем. *kragstein*) — консольная опорная деталь или конструкция, служащая для крепления частей машин или сооружений к несущей раме или колонне. Конструктивно кронштейны выполняются в виде самостоятельной детали или в виде значительного утолщения в базовой детали. Кронштейны широко применяются для установки навесного оборудования: рулей, люков и капотов, крепления арматуры на мачтах и опорах (рис. 4.3).

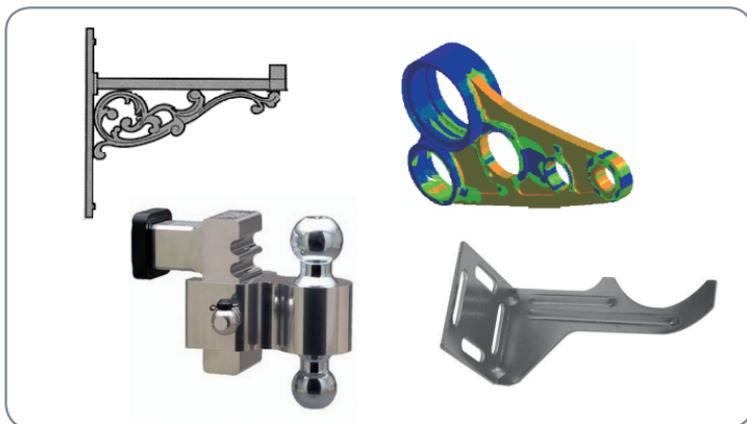


Рис. 4.3. Примеры кронштейнов из различных предметных областей

Не случайно для объекта типового ПКЗ УНВП выбраны элементы силовых конструкций, которые воспринимают и передают внешние нагрузки. Силовые детали определяют прочность и надежность машин, поэтому считаются наиболее ответственными и прорабатываются особенно тщательно. В процессе создания силовых конструкций используется весь комплекс современных технологий, составляющих классическую цепочку автоматизированного проектирования:

#### CAE/CAD/CAPP/CAM/CNS (1).

Формула (1) алгоритма комплексного автоматизированного проектирования выглядит не так, как эту систему аббревиатур принято записывать в статьях и учебниках. В отличие от исторически сложившейся нотации современные подходы, предлагаемые разработчиками полнофункциональных САПР, предлагают следующую последовательность проектных работ [7].

1. Использование технологий и систем инженерного анализа (CAE) на ранних этапах КТПП с целью выявления оптимальной структуры конструкции (конструктивно-силовой схемы — КСС). В соответствии с современными редакциями ЕСКД это рекомендуется делать на стадиях разработки технического предложения (для сложных изделий новой техники) и/или эскизного проекта (ЭП). Здесь можно выделить такие важные для освоения навыков оптимального проектирования процедуры:

- ▶ формализация и постановка проектной задачи в терминах поискового оптимального проектирования;
- ▶ разработка функциональной модели первого уровня, выполнение расчетов и оптимизации;
- ▶ визуализация результатов и принятие проектных решений на основе результатов компьютерного анализа.

На данном этапе можно использовать компьютерные АПР-тренажеры (как это показано в авторской методике) или применить CAE-подсистему, интегрированную в полнофункциональное решение.

Например, АСКОН для этой цели предлагает использовать расчетную подсистему (библиотеку) APM FEM.

**2.** Применение CAD-технологий для автоматизации основных стадий и процедур конструкторской подготовки производства (КПП). На стадии ЭП уже могут разрабатываться варианты компоновок и внешнего облика изделий с использованием параметрических объемных геометрических моделей, выполняющих функции эскизов. На стадии технического проекта (ТП) они уточняются, затем выполняются поверочные расчеты (снова CAE).

CAD/CAE-технологии совместно обеспечивают комплексную автоматизацию конструкторских работ на основе широкого применения средств компьютерной графики и геометрического моделирования и инженерного анализа. На данном этапе пользователю комплексной САПР необходимо развить и связать воедино умения и навыки:

- ▶ создания объемных электронных моделей изделий;
- ▶ использования ЭМИ для автоматизации разработки комплекта проектно-конструкторской документации на стадии рабочего проекта (РП), в том числе для полуавтоматического формирования чертежей, спецификаций и ведомостей.
- ▶ выполнения поверочных расчетов в CAE подсистеме.

САПР КОМАС-3D, оснащенный прикладными библиотеками, и интегрированное с ним APM-FEM позволяют наиболее полно выполнить в учебном проекте все регламентируемые ЕСКД процедуры КПП.

В процессе КПП электронное описание изделия может неоднократно изменяться и уточняться. При этом точные 3D-модели, созданные на стадии ТП, служат для выполнения поверочных расчетов и используются в качестве основы для автоматизации процедур РП.

**3.** Применение CAPP- и CAM- технологий для автоматизации технологической подготовки производства. ЭМИ и ЭКД, созданные в CAD-системах, в комплексном проекте должны передаваться технологам без преобразования форматов и потери данных. Пользователь комплексной системы должен научиться:

- ▶ выполнять отработку изделия на технологичность в ИИС;
- ▶ использовать полученные в CAD геометрические модели и ЭКД для автоматизации проектирования технологических процессов;
- ▶ владеть навыками использования функционала САПР для проектирования ТП и оформления регламентируемого стандартами ЕСТД комплекта электронной технологической документации;

- ▶ применять полученные ЭМИ, ЭКД и ЭТД для технологического моделирования (САМ) и автоматизации процедур разработки программ для цифрового технологического оборудования (СНС).

Стадии и процедуры технологического проектирования на достаточно высоком уровне автоматизации реализуются в УНВП с использованием функциональных возможностей САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, входящей в КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ АСКОН.

Справедливости ради следует отметить, что частные задачи подготовки и переподготовки специалистов, использующих локальные технологии и процедуры САПР на выделенных автоматизированных рабочих местах, могут быть успешно решены и вне интегрированной информационной среды. Например, хорошо отработаны локальные методики обучения инженерному анализу, компьютерному черчению, геометрическому моделированию, программированию станков с ЧПУ.

Однако в современных комплексных компьютерных системах перечисленные выше технологии и подсистемы тесно связаны и переплетены между собой. Системы управления техническим документооборотом не только обеспечивают защиту и хранение всех инженерных данных в электронном архиве, но и объединяют весь комплекс средств автоматизации и поддерживают организацию коллективной работы над проектами в едином информационном пространстве предприятия.

В качестве программной базы для реализации PLM-решения «УНВП СамГТУ» (рис. 4.4—4.8) был использован КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ АСКОН в составе: CAD-система КОМПАС-3D, САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, PDM ЛОЦ-МАН:PLM с набором корпоративных справочников и библиотек. В клиентские приложения PDM интегрированы компоненты учебной САПР силовых конструкций, а также тестирующая подсистема АОС для проведения текущего контроля знаний обучаемых (рис. 4.6).

Специально для УНВП была разработана специфическая структура информационного обеспечения (рис. 4.5). Методическое обеспечение УНВП, включая сборники заданий, инструкции по выполнению проектных процедур, справочники, учебные пособия, конвертированы и представлены в электронной форме.

В среде УНВП была реализована электронная методика организации и управления учебными проектными работами, начиная с выдачи проектных заданий, заканчивая контролем их исполнения с помощью технологии Workflow (рис. 4.7). Для выполнения всех проектных процедур применялись бесшовно интегрированные между собой CAD/САМ/САЕ/САРР-подсистемы АСКОН, использующие PDM ЛОЦМАН в качестве рабочей среды.

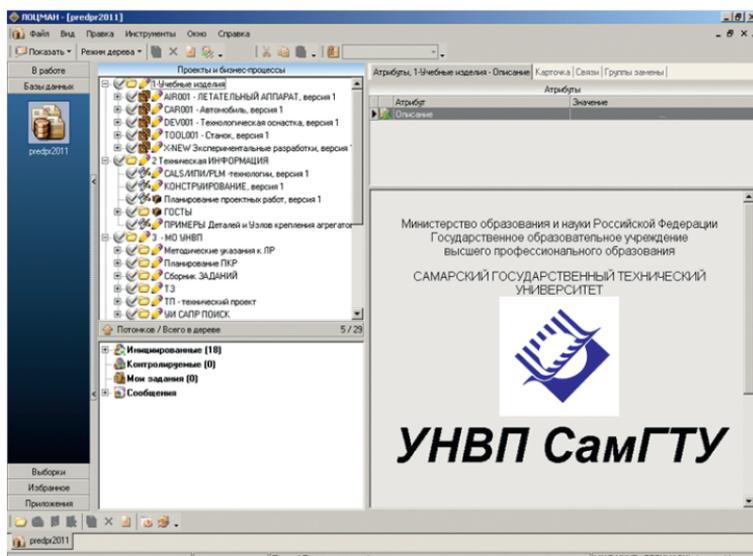


Рис. 4.4. PDM ЛОЦМАН:PLM используется как рабочая среда учебного АПР

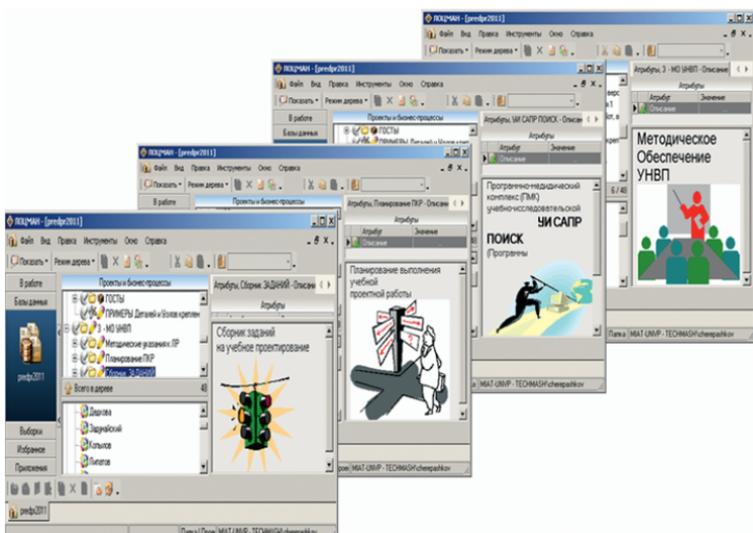


Рис. 4.5. Специальное наполнение системной среды УНВП: сборники учебных заданий, средства и методики планирования учебной работы, учебные и методические пособия в электронной форме, компоненты УИ САПР

В опытной эксплуатации УНВП участвовали студенты старших курсов, ранее прошедшие подготовку по локальным технологиям автоматизированного проектирования, включая CAD-технологии автоматизированного конструирования, САМ/САРР-технологии моделирования и проектирования технологических процессов машиностроения, САЕ-технологии инженерного анализа конструкций, что позволило сосредоточиться на приобретении знаний и умений комплексной автоматизации (PDM-технологии), а также развитии навыков комплексного автоматизированного проектирования в ИИС.

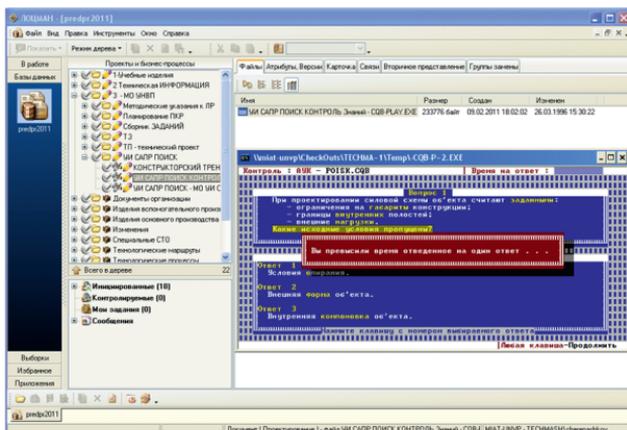


Рис. 4.6. Возможна интеграция в УНВП компонент АПР-тренажеров и АОС

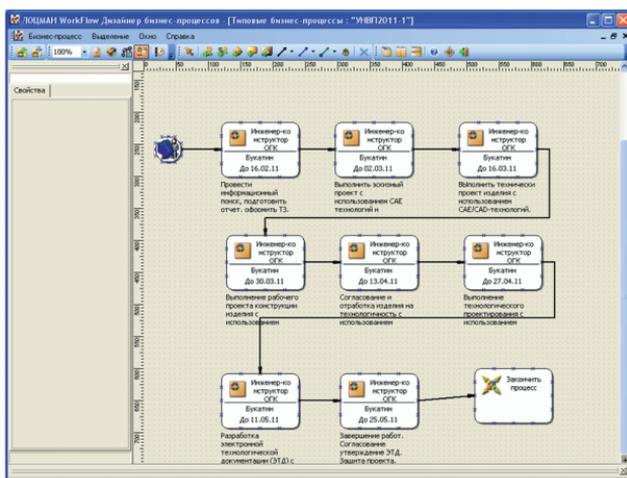


Рис 4.7. Подсистема WorkFlow используется для управления учебным проектированием

Свойство	Значение
Состояние	Поступило к исполнителю
Дата получения	31.01.2011 18:59:37
Инициатор	TECHMASH\shcherashkov (Андрей А. Черепашков)
Исполнитель	Дедкова - Инженер-конструктор ОТК
Текст задания	Поиск АИР. Выполнить информационный поиск, составить план ПКР, разработать и согласовать ТЗ на КТП...
Срок выполнения	до 16.02.2011
Плановая дата завершения	до 16.02.2011

Рис. 4.8. Механизм принятия и контроля исполнения заданий

**ЗАДАНИЕ:** Выполнить комплексное проектирование изделия в интегрированной информационной среде, включая следующие этапы:

- ▶ Провести информационный и патентно-лицензионный поиск с использованием электронных источников информации и баз данных УНВП согласно полученному варианту технического задания (ТЗ).
- ▶ Выполнить доработку и согласование ТЗ в PDM на основе выполненного в рамках самостоятельной работы технического предложения (ПТ).
- ▶ Выполнить эскизный конструкторский проект (ЭП) в электронной форме с использованием CAD/CAE/PDM-технологий.
- ▶ Выполнить технический конструкторский проект (ТП) в электронной форме с использованием CAD/CAE/PDM-технологий.
- ▶ Выполнить конструкторский рабочий проект (РП) с использованием CAD/PDM - технологий.
- ▶ Спроектировать технологический процесс изготовления типовой детали в среде САПР ТП с использованием CAD/CAE-технологии.
- ▶ Разработать учебную программу для обработки элемента технологической оснастки на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ с использованием CAD/CAM-технологий.

*Функциональное (служебное) назначение изделия:*

«Кронштейн узла крепления агрегата транспортной машины».

## 4.2. Использование CAE-технологий и систем на ранних стадиях КТПП

Применение систем инженерного анализа и структурной оптимизации наиболее эффективно на ранних стадиях конструкторско-технологической подготовки производства. В этом случае удастся избежать концептуальных ошибок в проектах и обосновать выбор рациональных вариантов решения сложных инженерных задач [7].

Постановка типовой проектной задачи на примере проектирования силового кронштейна выглядит следующим образом (рис. 4.9).

После проведенной формализации ПКЗ считаются заданными:

- ▶ очертания (границы) проектной области;
- ▶ условия нагружения (точки приложения и величины внешних нагрузок);
- ▶ условия закрепления (точки опор и/или линии заделки).

Необходимо: разработать силовую конструкцию минимальной массы. При этом соблюсти определенные условия, предъявляемые к типовым машиностроительным изделиям: работоспособность, надежность, эргономичность, технологичность и пр. (определяются и конкретизируются в ТЗ).

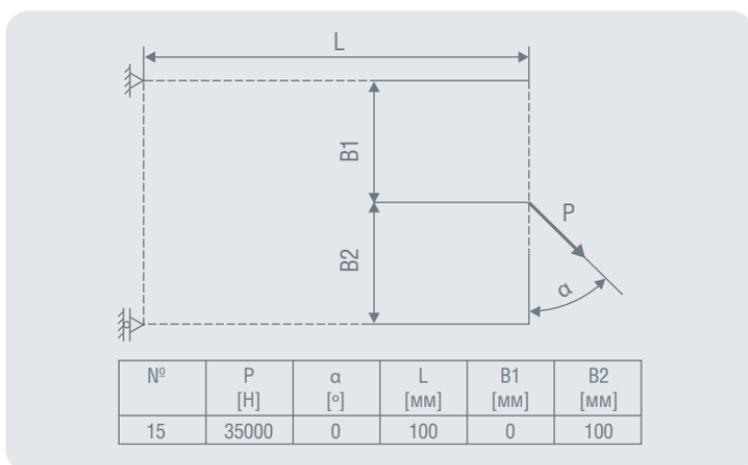


Рис. 4.9. Пример расчетной схемы проектируемого изделия

В качестве примера комплексного использования методов инженерного анализа, оптимизации и геометрического моделирования для решения типовых инженерных задач на стадиях КПП рассмотрим информационную технологию, реализованную в компьютерном тренажере по проектированию силовых машиностроительных конструкций. На рисунках 4.10—4.16 приведен последовательный ряд графических картин, полученных в процессе комплексного проектирования силового кронштейна.

На начальном этапе проектно-конструкторских работ, в процессе так называемого *концептуального проектирования*, инженер должен, прежде всего, произвести поиск рациональных вариантов силовой схемы конструкции, то есть выполнить структурную оптимизацию

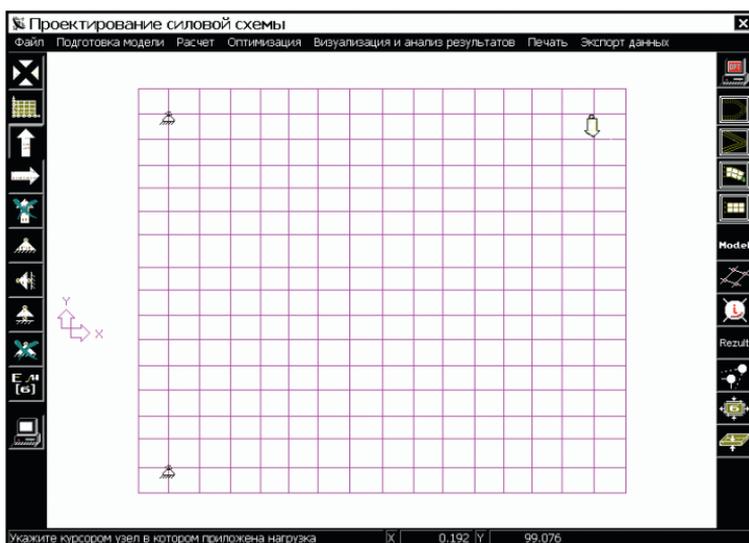


Рис. 4.10. Конечно-элементная модель первого уровня, сгенерированная в АПР-тренажере

будущего проекта. Описываемая инженерная методика *синтеза структурных схем силовых конструкций* [7] предполагает применение на ранних этапах проектирования достаточно простых и грубых конечно-элементных моделей (КЭМ-1), которые без субъективных ограничений включают континуум, заполняющий всю проектную область (рис. 4.10). На рис. 4.11 показано исходное и деформированное состояние КЭМ-1.

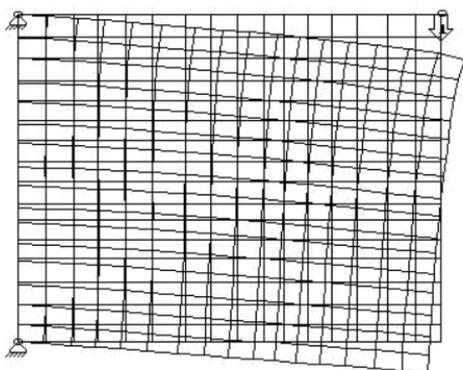


Рис. 4.11. Конечно-элементная модель (КЭМ-1) первого уровня

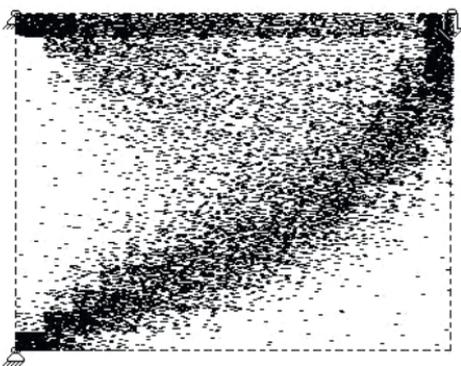


Рис. 4.12. Визуализация оптимального распределения материала

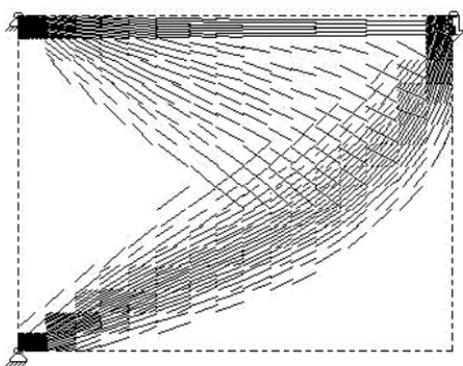


Рис. 4.13. Визуализация силовых потоков в КЭМ-1

В КЭМ-1 производится итерационная оптимизация распределения материала по всем конечным элементам. В результате обработки модели первого уровня с помощью оптимизационных алгоритмов получается так называемая теоретически оптимальная конструкция (ТОК). Часть элементов при этом вырождается, а конструкционный материал перераспределяется по конечно-элементной модели и концентрируется в напряженных зонах КЭМ-1, выделяя самый рациональный по критерию минимума массы вариант будущего изделия.

Специально разработанные методы визуализации позволяют продемонстрировать пользователю картины оптимального распределения материала (рис. 4.12) и силовых потоков (рис. 4.13) в теоретически оптимальной конструкции в наглядной и удобной для обработки человеком форме. На основе анализа таких графических изображений, отражающих качественную сторону силовой работы изделия, инженер может совершенно обоснованно выбрать рациональную структуру силовой части конструкции. Например, геометрия внешних очертаний конструкции и границы вырезов определенным образом моделируются в CAD, где графические картины, переданные из подсистемы инженерного анализа, используются уже в качестве растровой подложки для векторного графического редактора системы геометрического моделирования, как это показано на рис. 4.14.

С помощью графических картин потоков главных усилий (рис. 4.15) намечается оптимальное расположение основных силовых элементов в соответствии с характером их силовой работы и направлением потоков сил. Например, в рассматриваемой задаче в зоне концентрации одноосных усилий установлены ребра, наилучшим образом воспринимающие растяжение-сжатие, а в зоне сдвигов — тонкая стенка силового проектируемого кронштейна.

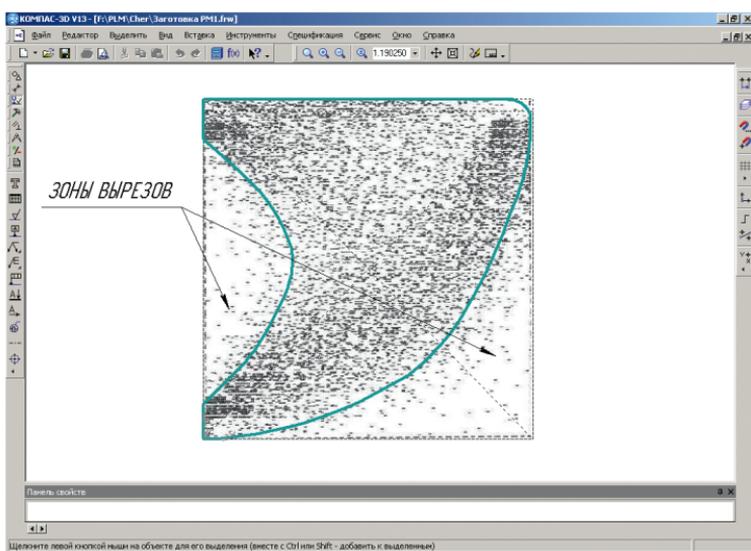


Рис. 4.14. Использование растровой подложки с графической моделью ТОК для принятия решения о рациональной форме силовой части конструкции

В свою очередь, с использованием цифровых данных, полученных по результатам расчетов КЭМ-1, на стадии ЭП может быть произведен предварительный подбор потребных по прочности площадей основных сечений силовых элементов конструкции, выполнена конструкторская проработка и создана объемная модель изделия — ЭМИ (рис. 4.16).

В дальнейшем, на стадии ТП, ЭМИ может быть использована для создания более подробной конечно-элементной модели (КЭМ второго уровня). КЭМ-2 позволяет произвести поверочный расчет изделия и при необходимости выполнить параметрическую оптимизацию конструкции.

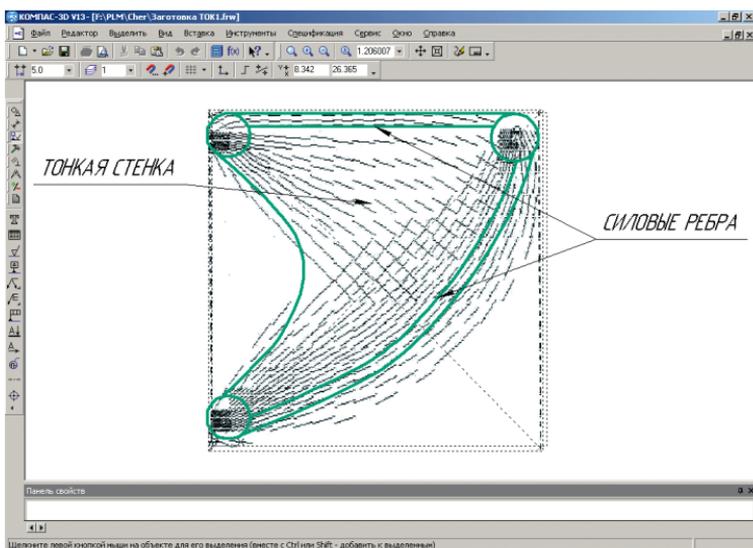


Рис. 4.15. Использование растровой подложки для принятия решения о расположении силовых элементов в конструкции

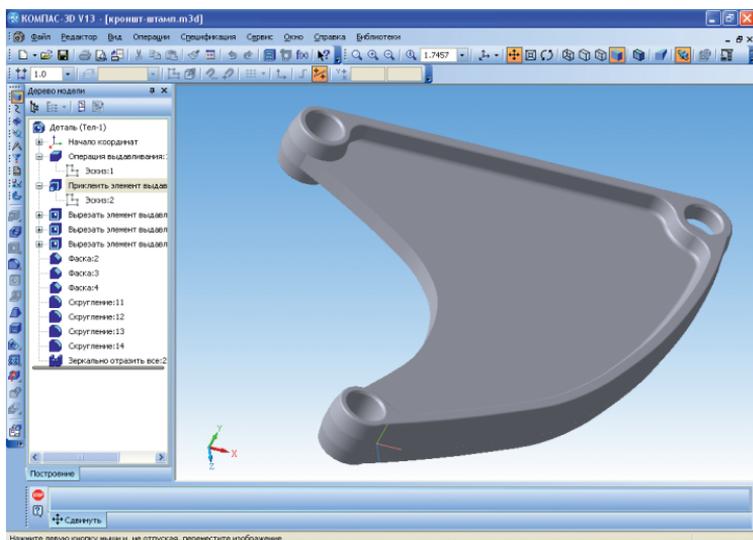


Рис. 4.16. Вариант 3D-модели, разработанный на основе результатов инженерного анализа

По итогам поверочного расчета, проведенного в САЕ-подсистемах, при необходимости вносятся соответствующие изменения в геометрию модели и итерационно уточняются результаты конструирования.

Здесь и в дальнейшем описании были использованы фрагменты комплексных студенческих работ, выполненных студентами в процессе опытной эксплуатации экспериментального УНВП.

На рис. 4.17—4.18 показаны аналогичные фрагменты, иллюстрирующие информационную технологию применения инженерного анализа на ранних стадиях проектных работ для той же задачи, полученные в среде КОМАС-3D V13 с использованием библиотеки APM FEM.

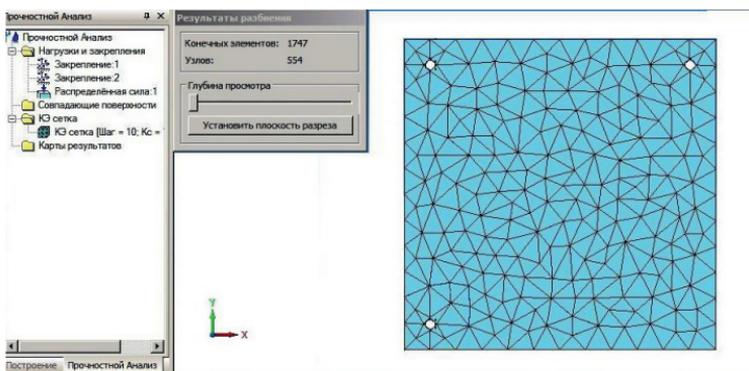


Рис. 4.17. Конечно-элементная модель первого уровня, сгенерированная в APM FEM

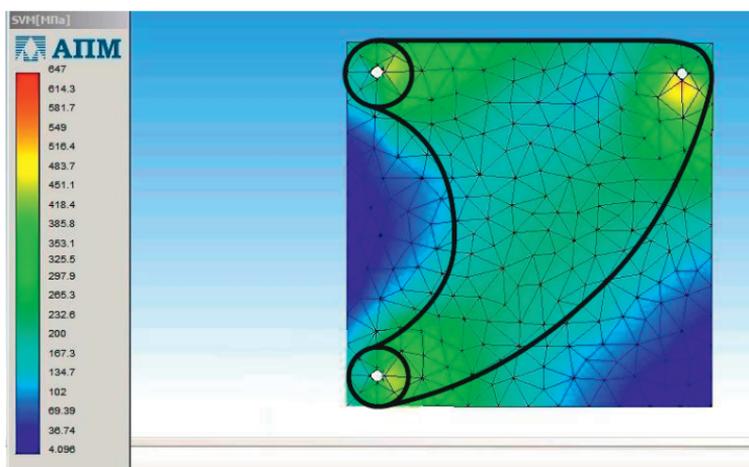


Рис. 4.18. Использование растровой подложки с графической картинкой поля эквивалентных напряжений в КЭМ-1 для принятия решения о рациональной форме силовой части конструкции

### 4.3. Применение САД-технологий для автоматизации процедур конструкторской подготовки производства в УНВП

В цикле проектно-конструкторских работ объемное моделирование выполняет функцию основного инструмента для автоматизации решения компоновочных задач. В процессе создания 3D-моделей

окончательно прорабатывается предложенное в эскизе расположение конструктивных элементов, уточняется их форма, конкретизируются все геометрические параметры изделия. Для некоторых геометрически сложных изделий только объемная модель позволяет дать полное и однозначное описание их формы и размеров.

В результате создания объемной модели автоматически могут быть вычислены массово-центровочные характеристики изделия, определены площади, габариты, геометрические характеристики всех требуемых сечений и базовых поверхностей.

В УНВП работа обучаемого ведется в PDM как основной рабочей среде. Интегрированные инструментальные системы вызываются автоматически при создании соответствующего информационного объекта (рис. 4.19).

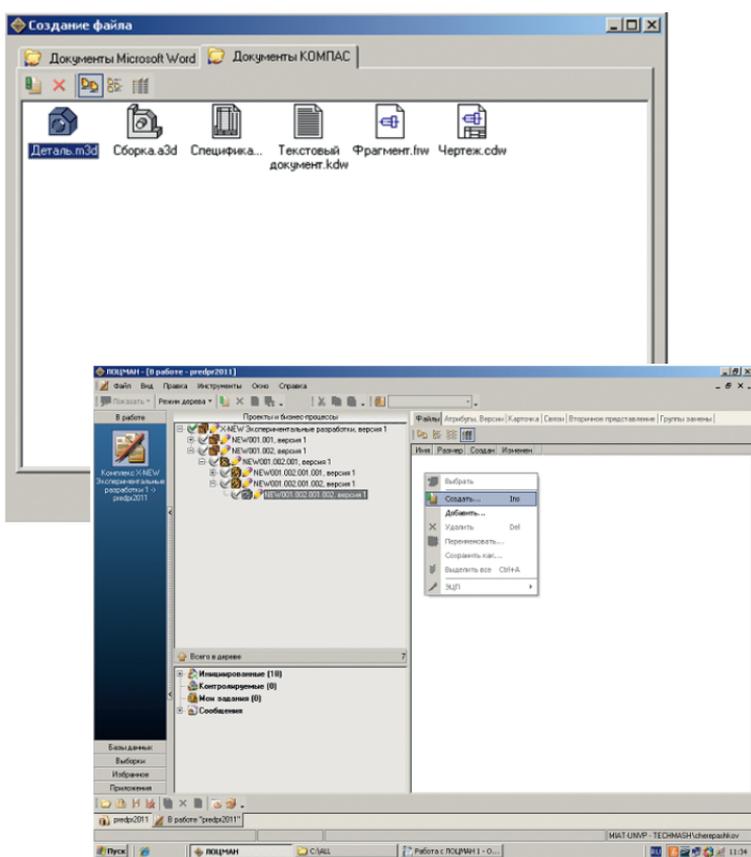
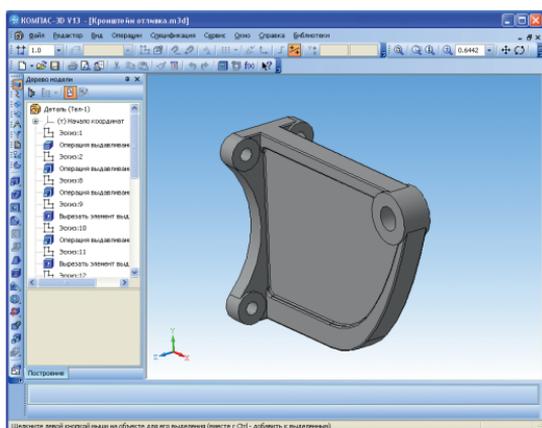
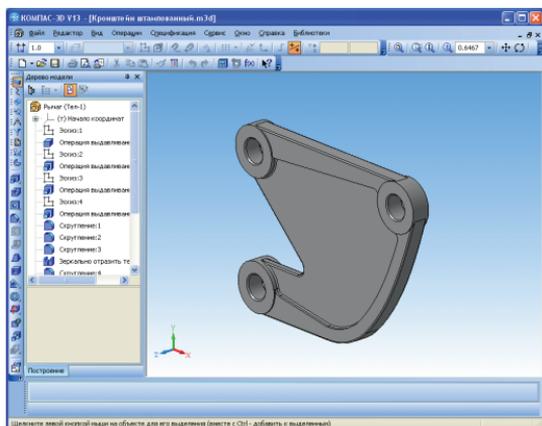


Рис. 4.19. Использование PDM ЛОЦМАН в качестве рабочей среды конструктора: а — создание нового структурного информационного объекта; б — выбор типа информационного объекта (3D-модели детали) в PDM ЛОЦМАН

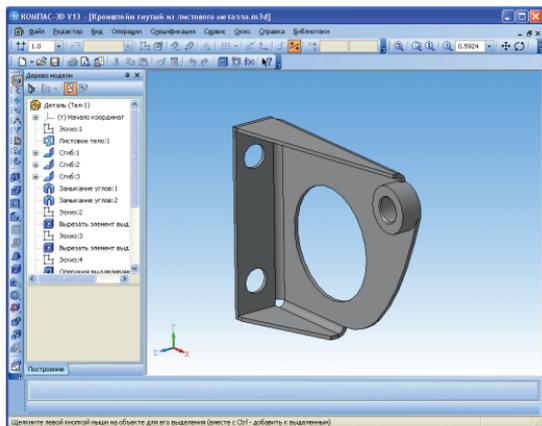
На основании анализа графических картин визуализации и цифровых результатов расчета средствами САПР КОМПАС согласно ТЗ разрабатывались эскизы трех вариантов конструкции с учетом особенностей технологии изготовления: литьем, горячей штамповкой и холодной штамповкой из листового материала (рис. 4.20 а, б, в).



а



б



в

Рис. 4.20. Варианты исполнения изделия, предложенные обучаемыми на этапе эскизного проектирования в среде УНВП

Создание объемных геометрических компьютерных моделей является одной из самых универсальных компьютерных технологий, используемых в автоматизированных системах промышленного назначения. Геометрическая и топологическая информация об изделии, наиболее полно представленная в твердотельной 3D-модели, используется на различных этапах жизненного цикла, входит целиком или частично во многие другие модели, необходимые для работы локальных программ и систем.

Согласно ЕСКД эскизы деталей, которые могут быть и объемными, являются схематическими, немасштабными изображениями технического решения и создаются с учетом соблюдения основных пропорций и конструктивных и технологических требований к изделиям машиностроительного производства.

На стадии технического проекта студенты подробно прорабатывают один из вариантов изделия. При этом производятся проектировочные расчеты основных параметров конструктивных элементов кронштейна. Выполняется разработка параметрической электронной модели изделия (рис. 4.21), которая используется для поверочного расчета, а также как основа (мастер-модель) для автоматизации разработки рабочей документации и передачи в САПР ТП.



Рис. 4.21. Параметрическая модель изделия используется для выполнения поверочного расчета и как основа для автоматизации разработки рабочей документации

3D-модели, будучи один раз созданы в САД-системе, не должны дублироваться на последующих этапах, а только использоваться для получения или пополнения описания изделия. Таким образом, в комплексных системах автоматизации 3D-модели выступают в качестве своеобразного эталона, обеспечивающего единство и неизменность основных геометрических параметров изделия.

На рис. 4.22—4.23 показаны графические картины результатов поверочного расчета детали, полученные с помощью САЕ-подсистемы APM FEM.

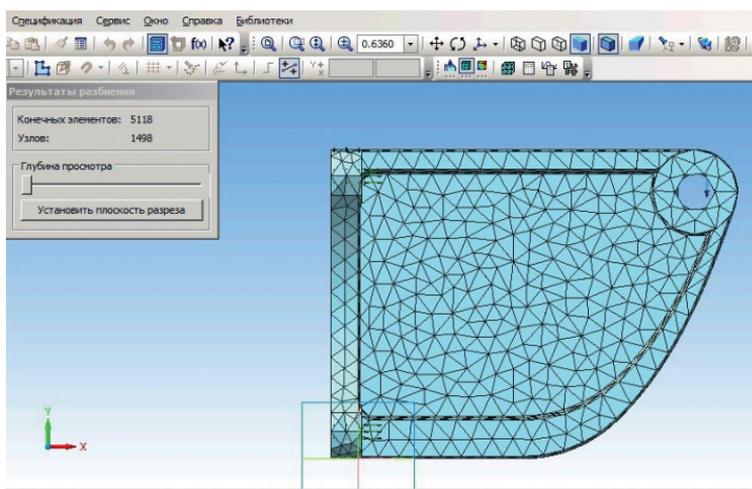


Рис. 4.22. Конечно-элементная модель второго уровня, сгенерированная в APM FEM для поверочного расчета

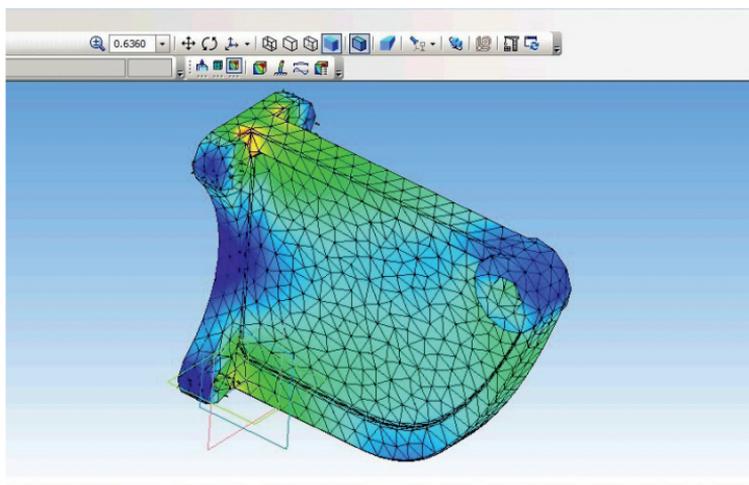


Рис. 4.23. Использование графической картины поля напряжений в КЭМ-2 для оценки прочности детали

#### 4.3.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

На основе электронных моделей, созданных в САД-системе, интегрированной с PDM, возможно максимально автоматизировать процедуры разработки комплекта конструкторской документации.

3D-модель, созданная в подсистеме геометрического моделирования, в наиболее развитых САПР может быть использована для получения ассоциативных плоских проекционных видов. При этом ассоциативные параметрические связи позволяют автоматически поддерживать соответствие изменений объемной модели и связанных с ней видов. Плоские проекционные виды применяются в качестве заготовок при разработке чертежей. В САПР КОМПАС-3D наличие объемной модели также позволяет автоматизировать формирование на чертеже разрезов, сечений, выносных и местных видов.

Использование ассоциативных связей 3D- и 2D-моделей дает возможность не только значительно ускорить разработку проектно-конструкторской документации, повысить качество ее исполнения, но и сократить число возможных ошибок при построении проекций. На рис. 4.24 приведен пример получения проекционных видов в среде КОМПАС.

Использование геометрических моделей, подготовленных в соответствии с ЕСКД, при выполнении чертежно-графических работ позволяет:

- ▶ автоматизировать получение точных и полных проекционных видов на чертежах;
- ▶ автоматизировать создание разрезов, сечений, выносных элементов и других важных для восприятия человеком элементов чертежей;
- ▶ автоматизировать проставление размеров и обозначений на чертежах;

- ▶ автоматически получать точные массо-центровочные характеристики для использования в чертежах и схемах (например, рассчитать массу детали или отметить точное положение центра тяжести на схеме строповки).

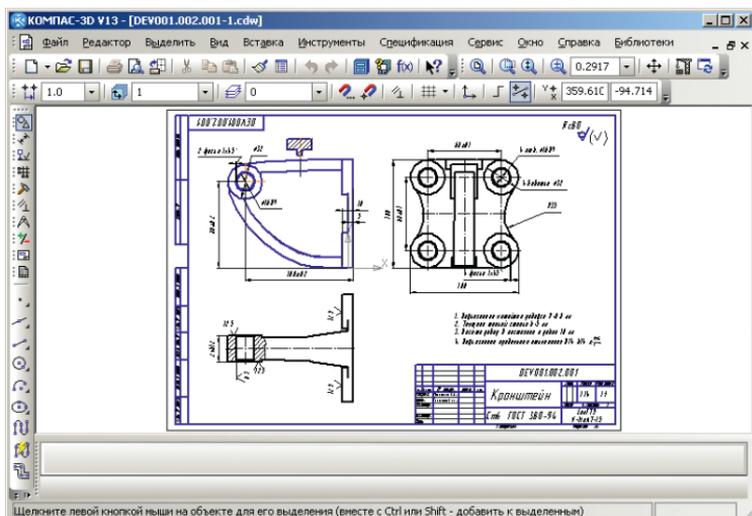


Рис. 4.24. Разработка рабочего чертежа детали с использованием ассоциативных проекционных видов ЭМИ в САПР КОМПАС-3D

#### 4.3.2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ В СРЕДЕ PDM-СИСТЕМЫ ЛОЦМАН

Большие электронные сборки эффективнее всего создавать не на локальных АРМ, а в базе данных PDM-системы (рис. 4.25—4.27). В этом случае автоматически решаются проблемы хранения, защиты, переноса, восстановления электронных документов. А самое существенное, обеспечивается возможность организации коллективной работы над проектом большой группы проектантов из числа целевого персонала САПР.

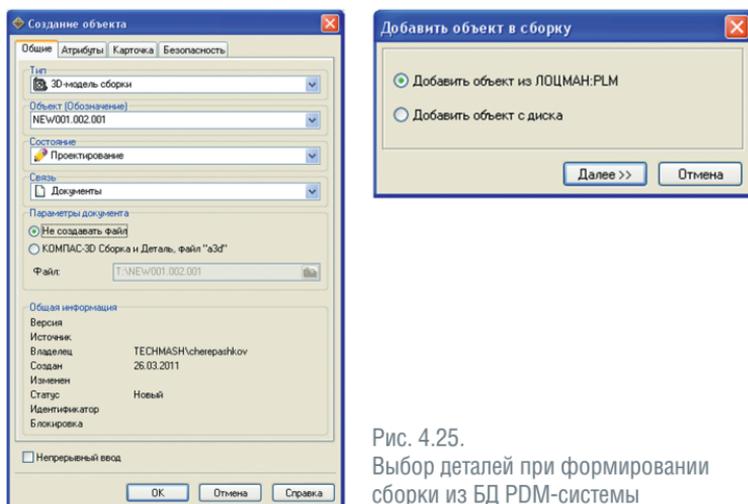


Рис. 4.25. Выбор деталей при формировании сборки из БД PDM-системы

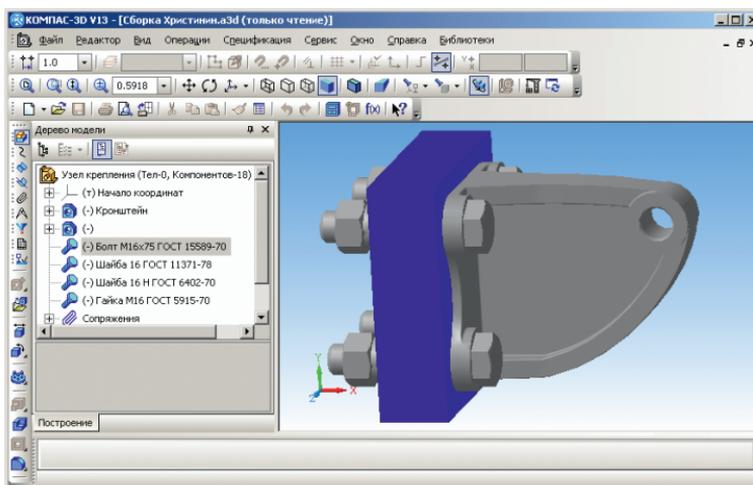


Рис. 4.26. Электронная модель сборки изделия, полученная в интегрированной среде CAD/PDM

Формат Знач Таб	Обозначение	Наименование	Кол	Приме- чание
		<i>Металлы</i>		
	1 DEV 001.002.001	Кронштейн	1	
	2 DEV 001.002.002	Стойка	1	
		<i>Стандартные изделия</i>		
		Болт М16 x 75 ГОСТ 15589-70	4	
		Гайка М16 ГОСТ 5915-70	4	
		Шайба 16 Н ГОСТ 6402-70	4	
		Шайба 16 ГОСТ 11371-78	4	
<b>DEV001.002.001</b>				
<b>Узел крепления</b>				
<i>Контракт</i>				Стор 19 V-MIA7-Б5 Фигурт 16

Рис. 4.27. Автоматизация разработки конструкторской спецификации из электронной модели сборки узла в среде PDM-системы

## 4.4. Выполнение технологического проектирования в УНВП

Проектирование технологических процессов на машиностроительных предприятиях является сложной и трудоемкой инженерной деятельностью, связанной с подробным анализом конструкторской документации, информационным поиском и планированием работ, которые требуют привлечения больших массивов справочной информации (справочников по материалам, заготовкам, оборудованию, оснастке,

инструменту и т. д.). Важную роль играют многочисленные технологические расчеты (вычисление параметров заготовок, норм расхода и коэффициентов использования материала), расчеты режимов резания для токарных, сверлильных, фрезерных и шлифовальных операций, режимов сварки и термообработки, трудовое нормирование и многое другое.

Значительную часть времени технолога занимают оформительские работы, неизбежные при создании подробной технической документации. Причем, известно, что трудовые затраты на оформление технологических документов зачастую в несколько раз превосходят по объему работ соответствующую конструкторскую часть проекта [7].

Уже ушли в прошлое «молчаливые» технологические программы, работающие в пакетном режиме. Современные САРР-системы отличаются развитым графическим интерфейсом, обеспечивающим интерактивный режим работы технолога-машиностроителя. При помощи таких средств автоматизации инженер-технолог может не только существенно снизить трудоемкость проектирования и оформления технологического процесса, но и значительно повысить качество, полноту выпускаемой документации, а также за счет увеличения вариативности проектирования, использования специальных методов и алгоритмов оптимизировать варианты изготовления изделия.

В САРР-системах ЭМИ, переданные конструкторами, используются для выполнения необходимых технологам геометрических и массово-центровочных расчетов. А плоские ЭКД, используемые при создании технологических эскизов, позволяют автоматизировать простановку размеров с назначением требуемых квалитетов и допусков на изготовление.

Полученная с помощью компьютерных технологий точная размерная цепь может быть с успехом использована для автоматизации кропотливой и трудоемкой процедуры по расчету и анализу размерных цепей выполняемой при проектировании технологических процессов.

С использованием точных 2D- и 3D-моделей ускоренно и безошибочно проектируются заготовки и карты раскроя.

На основе объемных геометрических моделей автоматически могут быть получены аксонометрические изображения деталей в технологических эскизах, наличие которых существенно повышает наглядность, сокращает число ошибок и в целом повышает производительность труда при выполнении сборочных операций.

#### **4.4.1. ПРИМЕНЕНИЕ САРР ТП ВЕРТИКАЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В рамках современной комплексной системы автоматизации КТПП задача САРР-системы состоит в том, чтобы по заданной САД-модели изделия составить план его производства, максимально автоматизировать расчеты и синтез всей необходимой технологической документации.

Следует заметить, что в российской обрабатывающей промышленности используются преимущественно отечественные САПР ТП, что объясняется значительным отличием ЕСТД и сложившейся в нашей стране системы ТПП от западных аналогов.

**ВЕРТИКАЛЬ** — САПР технологических процессов нового поколения, в которой реализован передовой подход к организации данных и использованию электронной справочной информации в технологическом проектировании. В САПР ТП **ВЕРТИКАЛЬ** предусмотрена возможность работы с трехмерными моделями изделий и всеми видами графических документов (чертежами, эскизами). Пользователь может подключить к технологическому процессу документы и модели, созданные на этапе конструирования, и использовать их при проектировании ТП (рис. 4.28).

Порядок работы пользователя САПР ТП **ВЕРТИКАЛЬ** ориентирован на привычный для технолога алгоритм формирования стандартной технологической документации (рис. 4.28 – 4.29). Использование корпоративных справочников и единых баз данных, универсальных технологических справочников (УТС) не только многократно сокращает время на поиск необходимой информации, но и гарантирует ее актуальность в рамках всего предприятия, а не только на локальном рабочем месте.

С точки зрения обучения, одной из самых интересных функциональных возможностей выступает реализация в САПР ТП **ВЕРТИКАЛЬ** методики автоматизированного проектирования техпроцессов с использованием Библиотеки конструкторско-технологических элементов (КТЭ), реализующей идеи так называемых модулей формы. Модульные подходы в настоящее время считаются одними из самых перспективных в автоматизации проектирования технологических процессов.

Система **ВЕРТИКАЛЬ** снабжена набором прикладных модулей (подсистем), автоматизирующих решение специальных задач, встающих перед технологом при проектировании разнообразных технологических процессов. Прикладные модули позволяют технологу по мере необходимости получать в диалоговом режиме необходимую справочную информацию, осуществлять расчеты и взаимодействовать с другими программами комплексной АС. Прикладные модули **ВЕРТИКАЛЬ** реализованы в виде набора автономных программ, установка которых на ПК определяется задачами данного конкретного автоматизированного рабочего места технолога и осуществляется по выбору из списка в процессе инсталляции системы.

Перечень прикладных модулей постоянно пополняется. К моменту подготовки описания в среду УНВП были включены следующие основные модули.

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК** — это пополняемая база данных, которая служит технологу основным источником информации, необходимой при проектировании техпроцессов и расчетах.

В том числе в УТС отражается организационная структура производственных цехов и участков, состав оборудования, перечни используемых инструментов и т. п. То есть благодаря штатным средствам УТС в среду УНВП может быть включена достаточно полная информационная модель завода.

**СИСТЕМА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ** автоматизирует расчет режимов обработки на металлорежущих станках, как основного (машинного), так и вспомогательного времени на основной переход. Наш опыт показывает, что требуется существенная настройка этого модуля для приведения его в соответствие с используемыми в учебном процессе методиками расчетов.

**ЛОЦМАН ТЕХНОЛОГ** предназначен для обеспечения взаимодействия САПР ТП с базами данных PDM ЛОЦМАН. Подсистема обеспечивает автоматизацию регистрации и хранение электронных вариантов технологических процессов, формирование сводных отчетов, получение информации, хранящейся в электронном техническом архиве предприятия.

**СИСТЕМА НОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ** автоматизирует расчет массы заготовки, нормы расхода и других данных по заготовке.

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТРУДОВОГО НОРМИРОВАНИЯ** по укрупненным общемашиностроительным нормативам времени позволяет произвести расчет неполного штучного времени на операции, автоматизирует расчет вспомогательного времени на установку и снятие детали, вспомогательного времени на контрольные измерения, подготовительно-заключительного и штучно-калькуляционного времени.

**МАСТЕР ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ** — одна из самых полезных и важных для технолога прикладных программ. Обеспечивает автоматическое формирование технологических карт и комплектов документации в полном соответствии с ГОСТом.

Сформированные документы можно сохранить в виде файла ВЕРТИКАЛЬ с расширением \*.vpr или экспортировать в форматы Adobe Acrobat Reader® (\*.pdf) и Microsoft Excel® (\*.xls).

**КОРПОРАТИВНЫЙ СПРАВОЧНИК МАТЕРИАЛЫ И СОРТАМЕНТЫ** является общим для комплексной САПР источником всей справочной информации о материалах и сортаментах, необходимой при проектировании техпроцессов и технологических расчетах.

Хотя стандарты ЕСТД регламентируют оформление технологической документации, однако на реальных предприятиях форма и состав комплекта технологических документов могут несколько различаться, поэтому САПР-подсистемы должны обладать гибкими возможностями по настройке и управлению информационным обеспечением технологических баз.

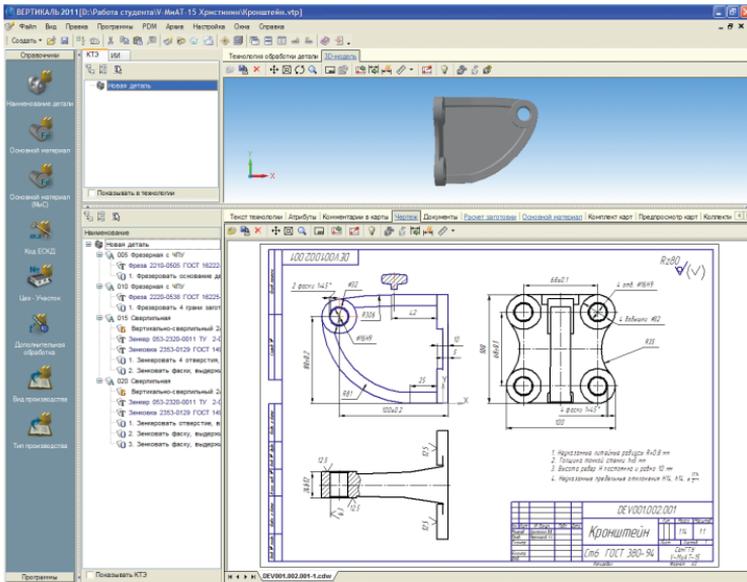


Рис. 4.28. В интегрированную САПР ТП экспортированы разработанные конструктором ЭМИ и ЭКД

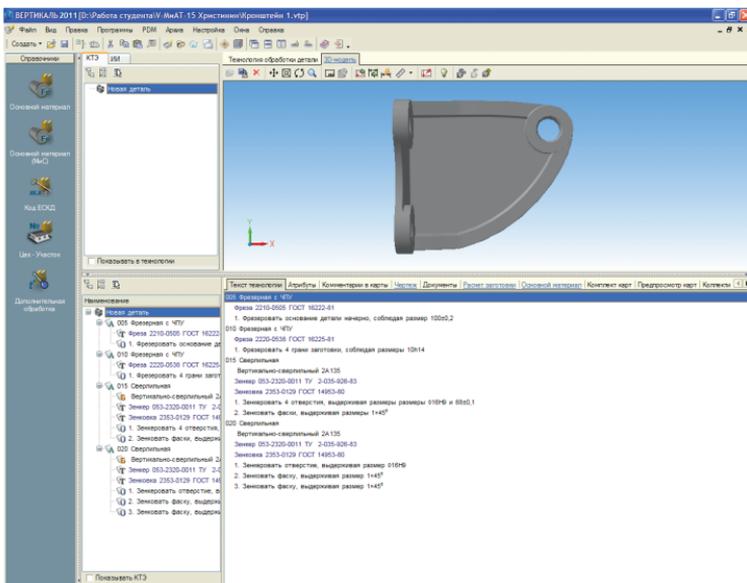


Рис. 4.29. В среде САПР ТП проектируется структура ТП, составляются тексты операций и переходов, ассоциированные с параметрами ЭМИ и ЭКД

В приведенном выше примере с использованием интегрированной среду УНВП САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ выполнялось проектирование технологического процесса механической обработки литой заготовки кронштейна.

#### 4.4.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭМИ, ЭКД И ЭТД ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Эффективным завершением учебной проектной деятельности, вносящим оживление в кропотливую инженерную работу с виртуальными электронными документами, выступает процесс изготовления материальных макетов отдельных деталей на станках, управляемых компьютерной программой (рис. 4.30—4.32).



Рис. 4.30. Автоматизированное рабочее место обучаемого в УНВП на этапе разработки программ для обрабатывающего оборудования с ЧПУ

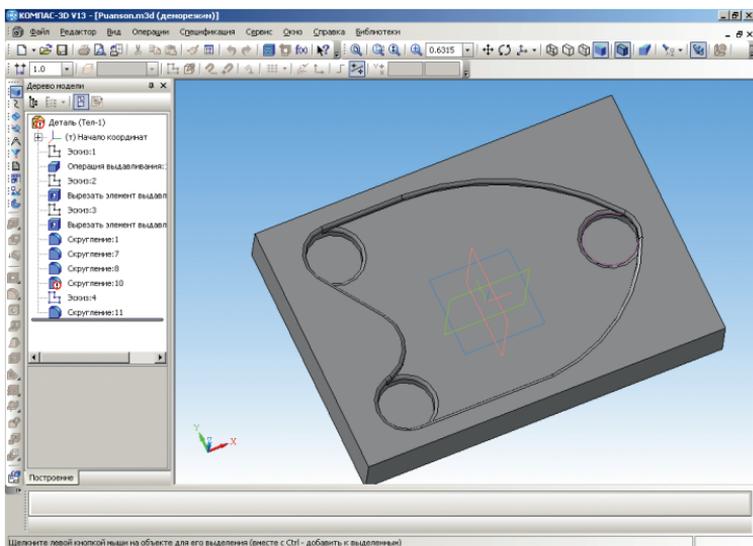


Рис. 4.31. Электронный макет технологической оснастки



Рис. 4.32. Обработка на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ макета технологической оснастки для изготовления детали горячей штамповкой

Основным назначением САМ-систем является моделирование технологических процессов производства изделий машиностроения для получения обоснованных рекомендаций по выбору параметров процессов и разработки программ для технологического оборудования с цифровым управлением (СНС).

На современных станках с ЧПУ используются мощные процессоры и встроенное прикладное программное обеспечение. В этом случае основными исходными данными станок снабжает геометрическая модель. Например, в электроэрозионных станках с ЧПУ, использующих проволочный электрод, для обеспечения работы необходим только геометрический контур вырезаемой детали, а программа движения инструмента формируется автоматически средствами электронной системы управления станка.

3D-модель изделия, разработанная в САD-системе, может быть использована в качестве эталона (мастер-модели) в процессах технического контроля. Специальное программное обеспечение позволяет автоматизировать процедуры контроля точности изготовления, автоматически сравнивая данные, полученные контрольно-измерительной машиной, с точной геометрией математической модели.

## 5. Руководства и инструкции по развертыванию, настройке и развитию средств обеспечения УНВП на платформе АСКОН

В данном разделе собраны рабочие инструкции и рекомендации по установке и настройке Комплекса решений АСКОН для его использования в форме УНВП. Приведен обобщенный вариант структуры электронных баз данных УНВП, а также рекомендации по наполнению и развитию специализированного информационно-методического обеспечения, предназначенного для поддержки авторской методики УАПР.

### 5.1. Планирование ресурсов и алгоритм развертывания комплексного решения АСКОН университетской поставки

Конечно, наиболее полное и развернутое руководство по установке программного обеспечения АСКОН, предназначенного для комплексной автоматизации промышленных предприятий и КБ, содержится в фирменной документации<sup>2</sup>.

Наличие полномасштабного системного методического обеспечения, подготовленного профессиональными разработчиками, является неотъемлемой и незаменимой частью любого коммерческого программного продукта и в значительной мере определяет результативность внедрения и эксплуатации прикладного ПО. Следует заметить, что руководства, входящие в комплект поставки компании АСКОН, отличаются от документации многих зарубежных систем глубиной и подробностью описаний, точностью терминологии, полным соответствием отечественным стандартам, а также хорошим литературным русским языком, что, несомненно, важно для учебного процесса.

В данном разделе мы сочли необходимым привести некоторые комментарии к штатному системному руководству для его пояснения и конкретизации в рамках реализации решения АСКОН для УНВП.

Практика установки и использования промышленных автоматизированных систем в учебных целях показывает, что для вузов, особенно на начальном этапе внедрения, необходим адаптированный вариант, ориентированный на использование преподавательским и учебно-вспомогательным персоналом при инсталляции комплекса на базе типовой учебной компьютерной лаборатории.

Развертывание комплексного решения АСКОН, являющегося основой УНВП, предполагает наличие в компьютерном центре учебного заведения сервера, на котором будут установлены общие базы данных

<sup>2</sup> ЛОЦМАН:PLM. Установка и первичная настройка системы. © ЗАО АСКОН.

(БД) и все серверные компоненты прикладного ПО. А также достаточно для размещения академической группы студентов числа автоматизированных рабочих мест на базе персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть. На рис. 5.1 показана архитектура компьютерной сети, рекомендуемой АСКОН для промышленных предприятий. Наша практика показывает, что в условиях вуза для УНВП достаточно одного выделенного сервера, на котором устанавливается соответствующая операционная система (ОС), система управления базами данных (СУБД), программное обеспечение серверной части приложения ЛОЦМАН, а также все общие базы данных, электронные архивы УНВП и справочники (рис. 5.2).

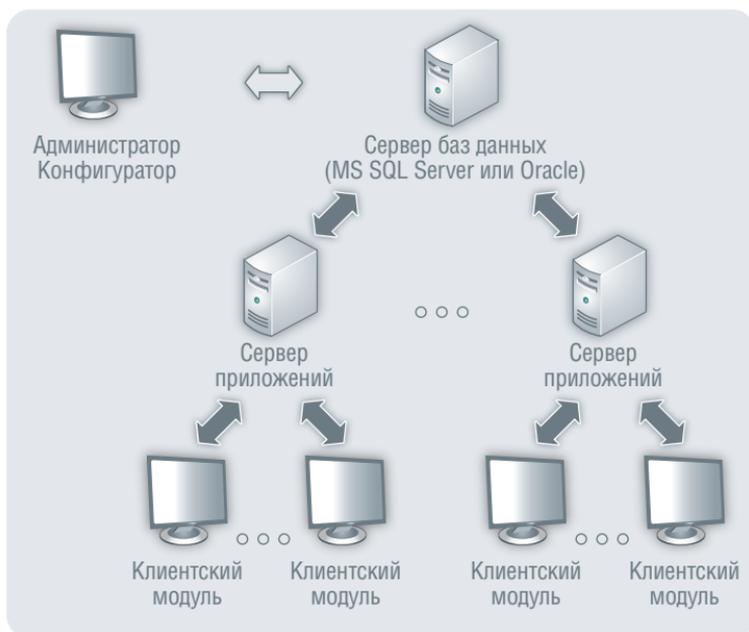


Рис. 5.1. Архитектура сети, рекомендуемая для промышленных предприятий

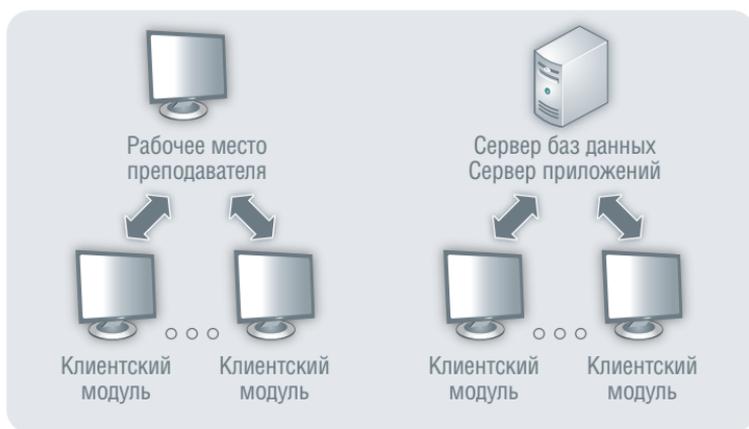


Рис. 5.2. Архитектура сети, рекомендуемая для УНВП на платформе АСКОН

### 5.1.1. ВЫБОР И УСТАНОВКА ОБЩЕСИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Компьютер в локальной сети, выполняющий функции сервера и предназначенный для установки и работы серверной части Комплекса решений АСКОН, должен отвечать определенным системным требованиям.

Требования к техническим характеристикам сервера относительно невелики, что является несомненным достоинством и характерной особенностью отечественных программных продуктов. Так, например, требования к рекомендуемой разработчиками конфигурации системного блока — около 1 гигабайта оперативной памяти и 2—4 гигабайта свободного дискового пространства. Кстати, для учебного сервера вполне достаточно встроенных сетевого и видеоадаптеров.

Однако для разворачивания электронных архивов УНВП, размещения справочной и методической информации, создания резервных копий рекомендуется выделить на сервере отдельный физический или логический диск объемом 128—256 Гбайт (впрочем, чем ресурсов больше, тем более представительным сможет стать информационное обеспечение УНВП). Это позволит сохранить ценную информацию при очень вероятных в общедоступном компьютерном классе вирусных атаках, внезапных отключениях или сбоях питания, приводящих к разрушению данных на системных дисках.

Более серьезные требования предъявляются к системному программному обеспечению сервера.

Во-первых, желательна установка серверной операционной системы. Рекомендуется использование лицензионных русскоязычных версий MS OS, начиная от Windows 2003 Server.

Во-вторых, для работы серверной части программного комплекса требуется наличие профессиональной системы управления базами данных. Наиболее распространенной на российских предприятиях и легкой в администрировании является СУБД MS SQL SERVER. Для вузов существенно, что имеется возможность установить бесплатную версию MS SQL EXPRESS, начиная с версии—2005. Среди ограничений бесплатной версии этой СУБД — урезанный объем рабочей базы данных и отсутствие некоторых сервисных функций. Однако для задач типового УНВП размера одной БД в 4 ГБ вполне достаточно. Также к числу ограничений относится невозможность настроить автоматическое резервное копирование базы данных по заданному расписанию, но в условиях реального учебного процесса это не столь критично.

Для удобства пользователей актуальная версия бесплатной СУБД записана на дистрибутивных дисках комплекса АСКОН, откуда ее можно и установить.

### 5.1.2. УСТАНОВКА ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В типовое ПО АСКОН университетской поставки входят следующие основные компоненты.

**КОМПАС-3D** — конструкторская САПР среднего класса, обладающая всеми основными функциональными возможностями и средствами обеспечения, необходимыми для освоения современных САD-технологий. В состав КОМПАС-3D входит ряд прикладных подсистем и графических библиотек, обеспечивающих автоматизацию всех основных стадий и процедур конструкторской подготовки производства (КТП), включая создание трехмерных моделей и макетов. Существенно, что система полностью и на высоком уровне автоматизации поддерживает комплекс отечественных стандартов ЕСКД, а также технологий создания и обращения электронной конструкторской документации в едином информационном пространстве.

**САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ** — система автоматизированного проектирования технологических процессов, предназначенная для автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) в соответствии с требованиями ЕСТД. Использование САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ обеспечивает подготовку студентов в области автоматизации технологического проектирования, создания и оборота электронной технологической документации в полном соответствии с требованиями образовательных стандартов нового поколения.

**PDM-СИСТЕМА ЛОЦМАН:PLM** представляется хорошим и удобным для организации учебного процесса образцом современной системы управления инженерными данными. PDM обеспечивает функционирование электронного документооборота и поддерживает ресурсы единого информационного пространства (ЕИП/ИИС) для всех инженерных подразделений виртуального предприятия.

**КОРПОРАТИВНЫЕ СПРАВОЧНИКИ И ПОДСИСТЕМЫ**, поставляемые вместе с ЛОЦМАН:PLM, позволяют организовать централизованное хранилище справочной технической информации, используемой на всех стадиях конструкторско-технологической подготовки производства. В стандартную поставку входят:

- ▶ Корпоративный справочник Единицы Измерения (ЕИ);
- ▶ Корпоративный справочник Материалы и Сортаменты (МиС);
- ▶ Корпоративный справочник Стандартные Изделия (СИ);
- ▶ Универсальный технологический справочник (УТС);
- ▶ Подсистема ЛОЦМАН Расцеховщик ;
- ▶ Подсистема нормирования материалов;
- ▶ Подсистема трудового нормирования.

Все компоненты, входящие в состав комплекса, обладают высоким уровнем информационной и программной интеграции между собой,

что позволяет избежать при создании УНВП многих проблем и дополнительных программистских работ, требуемых при использовании разнородного ПО.

### 5.1.3. УСТАНОВКА И АДМИНИСТРИРОВАНИЕ СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ КОМПЛЕКСА

Инсталляция комплекса также в значительной степени автоматизирована и осуществляется в диалоговом режиме с единого дистрибутива, поставляемого разработчиками.

Опыт показывает, что для предотвращения возможных проблем установка должна производиться от имени пользователя, не только имеющего права администратора сервера, но и права администратора домена. Кроме того, перед установкой убедитесь, что входящая в ОС версия Windows Installer не моложе, чем указанная в документации АСКОН. При необходимости программу можно установить с дистрибутивного диска комплекса.

Перед началом установки Комплекса решений АСКОН необходимо проверить, что все предыдущие версии всех его компонентов удалены с компьютера. В том числе должны быть убраны локальные справочные библиотеки, имеющие аналогичные функции в корпоративных справочниках. Например, из САПР КОМПАС должны быть удалены локальная библиотека «Материалы и сортаменты» и «Стандартные изделия».

Мастер установки Комплекса решений АСКОН выполняет первоначальную проверку автоматически и предлагает деинсталлировать устаревшее ПО, способное вызвать конфликты при установке новых версий программных продуктов. Однако желательно убедиться, что все файлы физически удалены из системных папок, и перезагрузить компьютер.

Устанавливая Комплекс решений АСКОН на сервере необходимо выбрать пункт установки «Клиентская и серверная части» раздела «Машиностроение» в соответствующем разделе диалога мастера установки (рис 5.3).

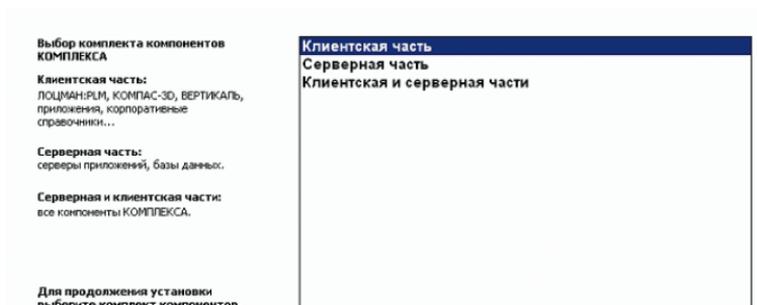


Рис. 5.3. На сервере необходимо установить сразу клиентскую и серверную части

В предложенном далее списке смело устанавливайте «галочки» на всех компонентах ПО, поскольку в вузы поставляется полный вариант комплекса, в отличие от выборки, приобретаемой коммерческими предприятиями. Если компонент недоступен для выбора, значит, соответствующий программный продукт уже установлен (это удобно при переустановке программ). Или предыдущая версия программы найдена на компьютере, и ее надо удалить.

При первой установке серверной части ЛОЦМАН:PLM в меню программы установки необходимо ввести полное имя каталога с общими данными. Он будет создан с указанным именем автоматически. В дальнейшем к общим данным должен быть открыт доступ всем группам пользователей, которые будут работать в УНВП. Имена общих папок делайте покороче и следите, чтобы системные наименования не содержали символов кириллицы (рис. 5.4).

Для устанавливаемых программных продуктов, использующих защиту FlexLM<sup>3</sup>: ЛОЦМАН:PLM, Корпоративный справочник Стандартные Изделия, САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, Универсальный технологический справочник, Система трудового нормирования, Универсальная система трудового нормирования, — потребуется настроить параметры защиты (рис. 5.5). В первой графе вводится адрес компьютера, на котором установлен аппаратный ключ, а номер порта можно оставить «по умолчанию». Если ключ и сервер лицензий АСКОН еще не установлен, его можно будет установить после установки КОМПЛЕКСа.

После успешной установки КОМПЛЕКСа автоматически запускается мастер его первичной настройки. Мастер включает в себя несколько разделов: настройки системы ЛОЦМАН:PLM, Универсального

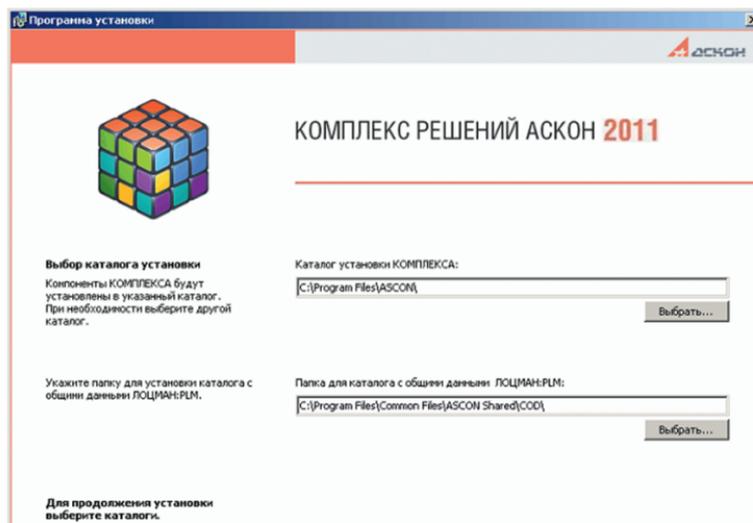


Рис. 5.4. Запишите путь к общим данным в журнале

<sup>3</sup> На момент публикации все ПО АСКОН поставляется с защитой на основе технологии Sentinel HASP от компании SafeNet.

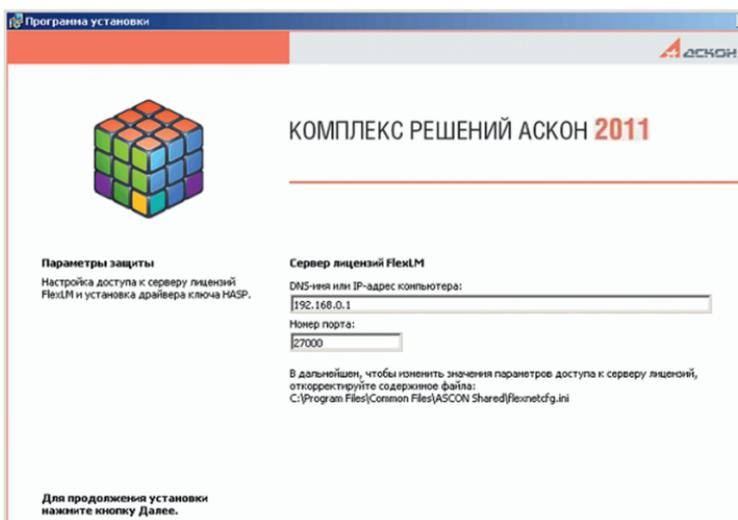


Рис. 5.5. Настройка системы аппаратной защиты

технологического справочника, справочников МиС, СИ, единицы измерения. Мастер первичной настройки комплекса служит для стартовой настройки программного обеспечения, необходимой для его корректного запуска.

Подробная инструкция по первичной настройке Комплекса решений АСКОН содержится в файле на дистрибутивном диске «Установка КОМПЛЕКСа решений АСКОН.pdf».

Дальнейшие настройки КОМПЛЕКСа осуществляются по мере необходимости и при помощи модулей администрирования:

- ▶ Центр управления комплексом (ЦУК),
- ▶ ЛОЦМАН Workflow Конфигуратор,
- ▶ ЛОЦМАН Конфигуратор.

Подробное описание работы с данными модулями приведено в соответствующих руководствах, входящих в комплект документации к Комплексу решений АСКОН, а некоторые конкретные моменты конфигурирования будут освещены в следующих разделах данного руководства.

## 5.2. Типовая структура и пример заполнения специализированного информационного обеспечения УНВП

После установки ПМК АСКОН на сервер и автоматизированные рабочие места мы получаем базовый набор системного и прикладного программного обеспечения, который для развертывания в виде УНВП необходимо дополнить авторским информационным, методическим и организационным обеспечением.

## 5.2.1. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ ЗНАНИЙ УНВП

Для виртуального предприятия, являющегося средством для обучения будущих специалистов, необходимо наличие достаточно развитого информационного обеспечения, позволяющего всесторонне поддержать процесс формирования знаний в области комплексной автоматизации КТПП (рис. 5.6). Правильно подобранное наполнение баз знаний (БЗ) позволяет обучаемым оперативно найти развернутые ответы на многочисленные вопросы в области компьютерных технологий (рис. 5.7), возникающие в ходе учебного проектирования.

Кроме того, учитывая отсутствие у студентов опыта проектно-конструкторских работ, необходимо обеспечить обучаемых всей необходимой информацией и методическими материалами по основам

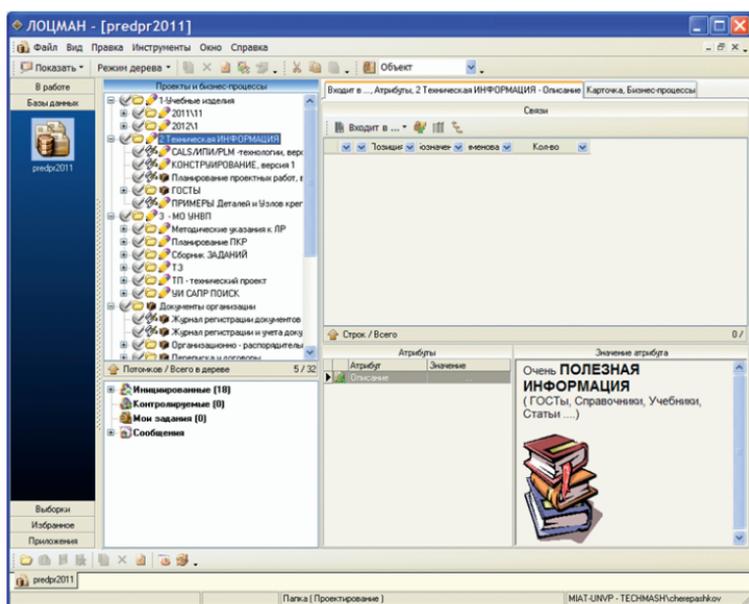


Рис. 5.6. Информационное обеспечение УНВП

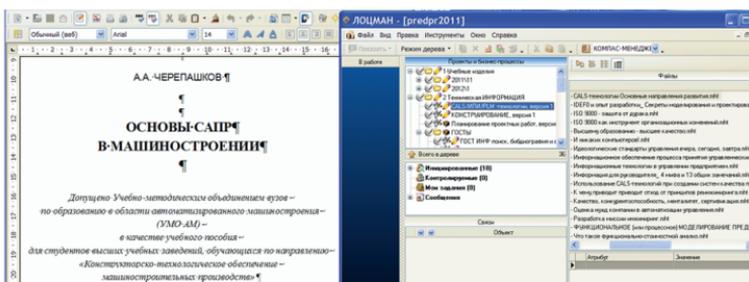


Рис. 5.7. Информационное обеспечение УНВП: примеры наполнения БЗ информационными материалами по компьютерным технологиям и САПР

конструирования и технологической подготовки производства. Важно познакомить обучаемых с аналогами и поучительными образцами изделий, а также обеспечить доступ к нормативной документации ЕСКД/ЕСТД, общетехническим и отраслевым стандартам в предметной области проектирования (рис. 5.8, 5.9).

## 5.2.2. СПЕЦИАЛЬНОЕ МЕТОДИЧЕСКОЕ И ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УНВП

Специальное методическое и организационное обеспечение УНВП составляют методические указания к проведению лабораторных работ (ЛР), сборники заданий, бланки ТЗ и других документов, календарные планы учебных работ и т. д. (рис 5.10—5.12).

Примеры методических указаний к лабораторным работам и рабочих планов учебного автоматизированного проектирования приведены в приложении.

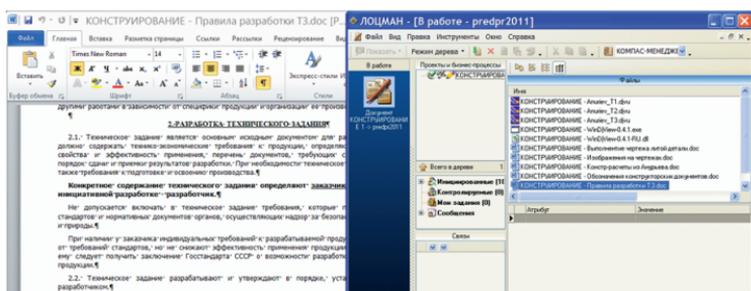


Рис. 5.8. Информационное обеспечение УНВП: примеры наполнения БЗ информационными материалами по основам конструирования

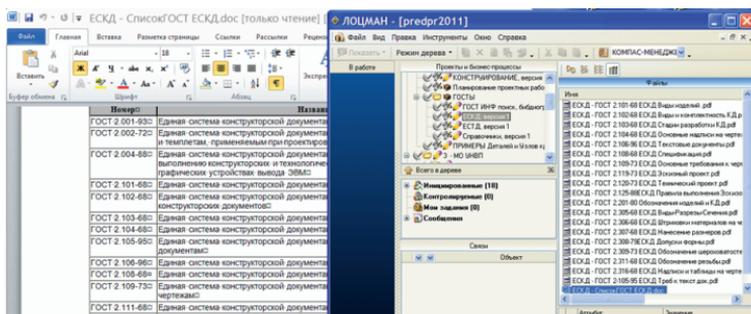


Рис. 5.9. Информационное обеспечение УНВП: примеры наполнения БЗ информационными материалами по комплексу технических стандартов ЕСКД/ЕСТД

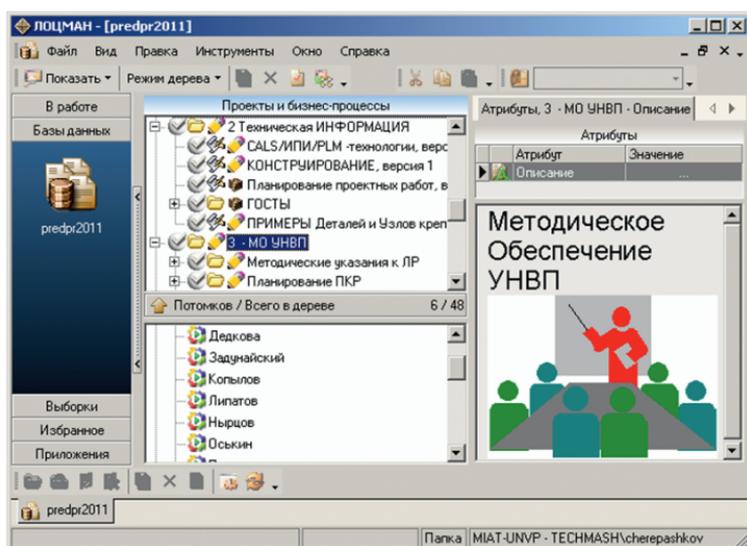


Рис. 5.10. Методическое обеспечение УНВП. МУ к ЛР

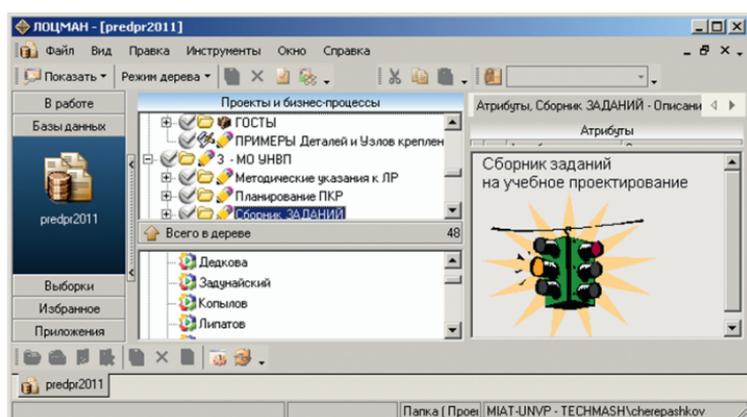


Рис. 5.11. Методическое обеспечение УНВП. Сборники заданий

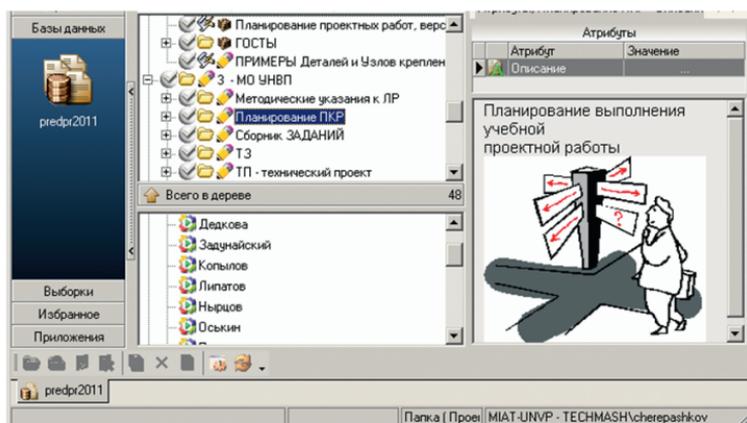


Рис. 5.12. Организационное обеспечение УНВП. Планы проектных работ

### 5.2.3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ ОБ УЧЕБНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Помимо специального информационного и методического обеспечения в едином информационном пространстве УНВП необходимо сформировать соответствующую авторской методике УАПР структуру состава изделий.

Состав изделий в существенной мере отражает предметную специфику реальных производственных предприятий и КБ. Поэтому в УНВП это одна из самых важных, причем, изменяемых составляющих. Имея одни и те же информационное, методическое и даже организационное обеспечения УНВП мы можем предложить обучаемым различные по назначению и составу изделия для учебного проектирования. Следует отметить, что выбор поучительных объектов для УАПР, безусловно, относится к творческой методической деятельности преподавателей и в значительной мере отражает личный производственный опыт составителей, специфику и традиции учебного заведения и пр.

При выборе служебного назначения и типовой структуры учебных изделий мы приняли за главный критерий выбора тематику базовых предприятий, с которыми сотрудничает университет. В примере, на рис. 5.13, приведена обобщенная схема состава изделий, используемых в описанной выше авторской методике учебного автоматизированного проектирования, разработанной для экспериментального УНВП СамГТУ.

Выбор служебного назначения учебных изделий отражает основные кластеры машиностроения Самарского региона:

- ▶ авиационное и ракетостроение (AIR), рис. 5.13, а;
- ▶ автомобилестроение (CAR), рис. 5.13, б;
- ▶ станкостроение (TOOL), рис. 5.13, в;
- ▶ двигателестроение и производство технологической оснастки для металлообработки (DEV), рис. 5.13, г.

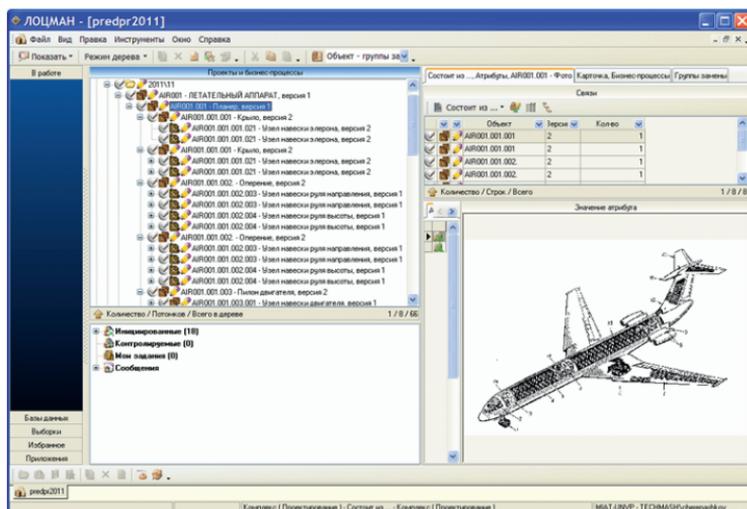


Рис. 5.13. Примеры формирования структуры изделий УНВП  
а – авиационное

В начале курса каждый обучаемый получает индивидуальное задание на проектирование узла машины или механизма из определенной предметной области. Заметим, что служебное назначение изделия должно в дальнейшем существенно повлиять на требования ТЗ и результаты проектирования. Например, в зависимости от отраслевой принадлежности выбираются различные конструкционные материалы, покрытия, выделяются различные критерии оптимальности и технологические процессы.

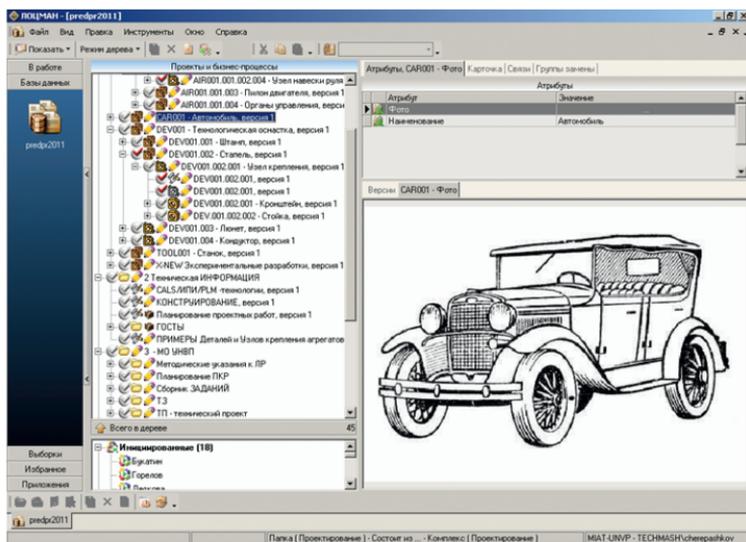


Рис. 5.13. Примеры формирования структуры изделий УНВП б – автомобилестроение

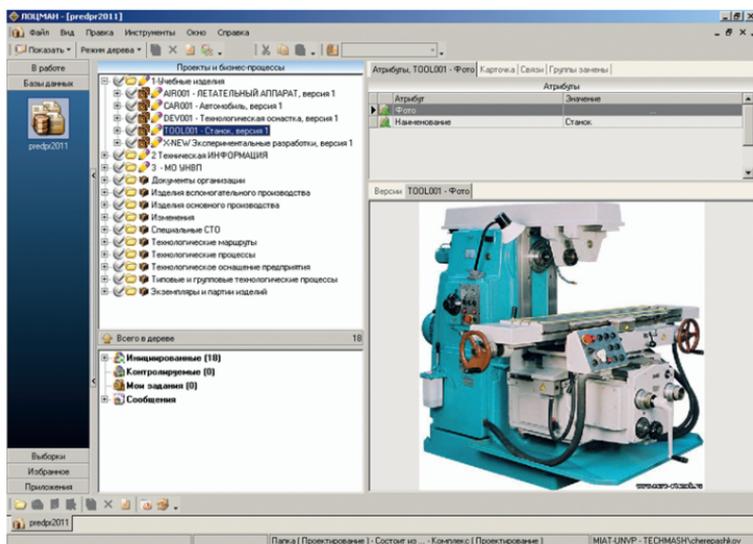


Рис. 5.13. Примеры формирования структуры изделий УНВП в – станкостроение

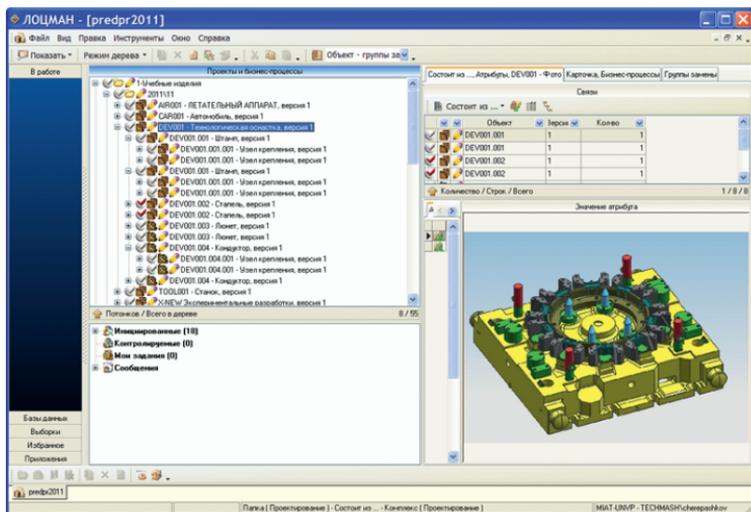


Рис. 5.13. Примеры формирования структуры изделий УНВП  
г – технологическая оснастка

Каждому информационному объекту в структуре изделий УНВП присваиваются определенные права доступа: как по профессиональным группам, так и персонально. Таким образом, у отдельно взятого студента есть возможность просматривать только разрешенную ему информацию с примерами и образцами учебных работ. Кроме того, в общем составе изделий УНВП для обучаемого выделен один персональный объект с полными правами доступа: на чтение, запись и создание объектов следующего иерархического уровня (рис. 5.14).

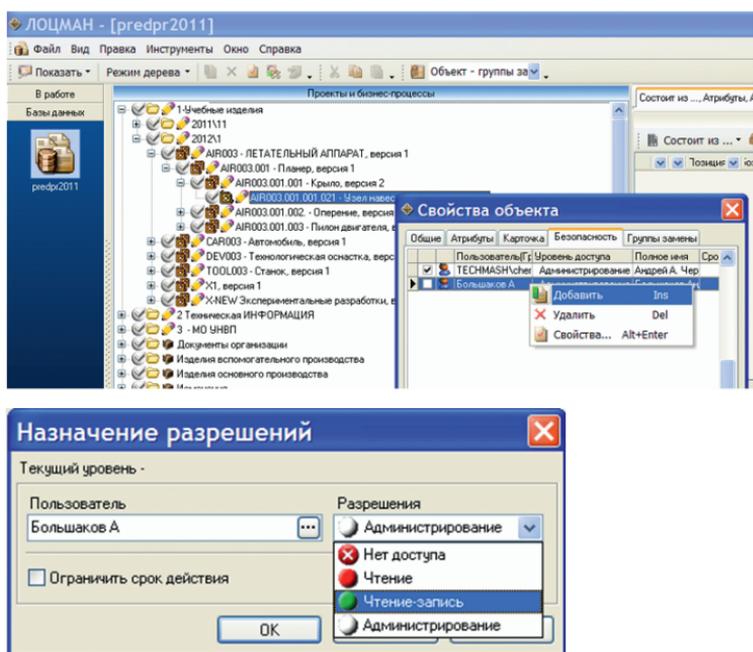


Рис. 5.14. Назначение персональных прав доступа осуществляется администратором БД

Таким образом, студент в процессе УАПР развивает структуру проектируемого изделия на своей персональной ветке информационного дерева, отражающего структуру состава изделий в PDM.

#### **5.2.4. НАПОЛНЕНИЕ И РЕЗЕРВНОЕ КОПИРОВАНИЕ ДАННЫХ ОБ УЧЕБНЫХ ИЗДЕЛИЯХ В УНВП**

Начало очередного семестра или нового курса обучения требует приведения состава изделий виртуального предприятия в исходное (начальное) состояние. Кроме того, необходимо создать бизнес-процессы для новой группы студентов и назначить индивидуальные права доступа к информационным объектам в общей структуре состава изделий.

**ПЕРВЫЙ СПОСОБ** — самый простой по исполнению, но не позволяющий сохранить в базе УНВП наработки предыдущей группы. Заключается в «откатывании» базы данных к эталону, соответствующему началу учебных проектных работ. Сделать резервную копию можно стандартными средствами СУБД либо через администраторскую программу «Центр управления комплексом» (ЦУК). Для этого предварительно необходимо разработать эталонную БД, протестировать ее и сохранить резервную копию базы в соответствующем разделе на диске сервера.

**ВТОРОЙ СПОСОБ** несколько сложнее с точки зрения реализации, но позволяет сохранить наработки предыдущих групп и в дальнейшем вести их архив.

Работа студентов ведется в папке с уникальным именем, например, «Учебные изделия — 2012». Для сохранения данных в конце курса обучения необходимо выполнить выгрузку папки с учебными изделиями в файл формата \*.xml. Для выгрузки папки на жесткий диск можно воспользоваться административной программой ЛОЦМАН Импорт-Экспорт.

Затем необходимо изменить ключевые идентификаторы (обозначения) входящих в эту папку объектов на уникальные, например, добавив к именам объектов очередной порядковый номер. И загрузить папку обратно в базу данных, воспользовавшись модулем ЛОЦМАН Импорт-Экспорт.

### **5.3. Рекомендации по использованию механизма ЛОЦМАН WorkFlow для управления учебным проектированием**

Наличие стандартного состава учебных изделий и типовой методики УАПР позволяет организовать достаточно эффективное управление учебным проектированием при помощи средств подсистемы WorkFlow, входящей в состав комплекса АСКОН.

Workflow — административная подсистема управления потоком работ, которая предназначена для формализации информационных потоков предприятия и управления процессами обмена производственными заданиями в соответствии с определенными правилами. То есть согласно определению для организации управления учебным автоматизированным проектированием необходимо формализовать процесс учебной деятельности и назначить систему правил, регламентирующих электронный документооборот УНВП.

Формализация УАПР предполагает выделить в общем процессе учебных проектных работ в комплексной интегрированной среде четко определенные этапы и правила перехода между ними. Кроме того, должны быть определены технологии исполнения работ на каждом этапе и механизм управления переходами.

В технологиях Workflow принято употреблять специальные термины из области автоматизации управления, в том числе следующие определяющие основные понятия.

**БИЗНЕС-ПРОЦЕСС (БП)** — набор логически взаимосвязанных действий, выполняемых для достижения определенной производственной цели.

**УСЛОВИЕ ПЕРЕХОДА** — операция, содержащая в себе логическое условие, от выполнения которого зависит дальнейшая последовательность перехода работ по бизнес-процессу.

**ТИПОВОЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕСС** — процесс, схема которого может быть использована в качестве шаблона при создании индивидуальных заданий.

Для разработки бизнес-процессов в CALS/ИПИ/PLM международными и отечественными стандартами предлагается использование технологий структурно-функционального моделирования IDEF. На рис. 5.15 приведена головная схема УАПР в среде типового УНВП на платформе АСКОН.

Таким образом, учебное автоматизированное проектирование в среде УНВП разбивается на следующие укрупненные этапы:

- ▶ Информационный и патентно-лицензионный поиск;
- ▶ Разработка технического предложения по выданному ТЗ;
- ▶ Разработка эскизного проекта;
- ▶ Разработка технического проекта;
- ▶ Выполнение рабочего проекта и оформление конструкторской документации в электронной форме (ЭКД);
- ▶ Технологическое проектирование;
- ▶ Оформление технологической документации в электронной форме (ЭТД). Согласование ЭКД и ЭТД.

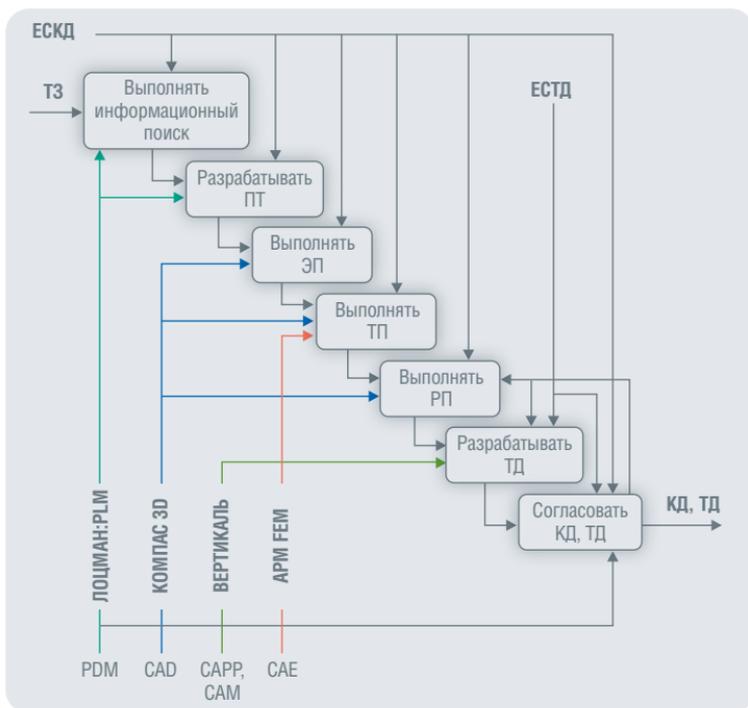


Рис. 5.15. Пример формализации бизнес-процессов в среде УНВП

Каждый из этапов в свою очередь может быть структурирован на под-этапы и проектные процедуры.

Прежде чем создавать новый бизнес-процесс, необходимо добавить пользователей УНВП в соответствующие структурные подразделения виртуального предприятия.

### 5.3.1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РОЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УНВП

Предварительно для каждого пользователя УНВП должна быть заведена персональная учетная запись в Центре управления комплексом (рис. 5.16).

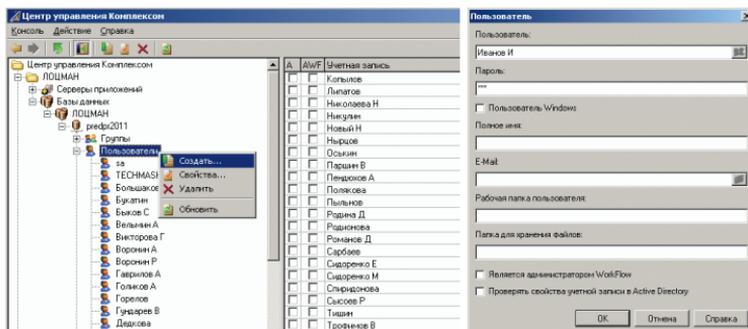


Рис. 5.16. Добавление нового пользователя УНВП

При создании учетной записи рекомендуем снять метку «Пользователь Windows», что позволит пользователю проходить SQL-аутентификацию при подключении к базам данных и корпоративным справочникам.

Обучаемые последовательно в процессе комплексного учебного проектирования исполняют различные роли операционного персонала УНВП, в том числе конструкторов, технологов и пр. Необходимо добавить их учетные записи например в такие подразделения, как отдел главного конструктора и отдел главного технолога (рис. 5.17).

Назначая пользователям различные должности в структуре УНВП, целесообразно указывать срок действия для учетных записей (например, 15 июля для первого семестра и 25 января для второго). Ограничение срока действия этих учетных записей позволит автоматически убрать их из УНВП по окончании учебного курса (рис. 5.18).

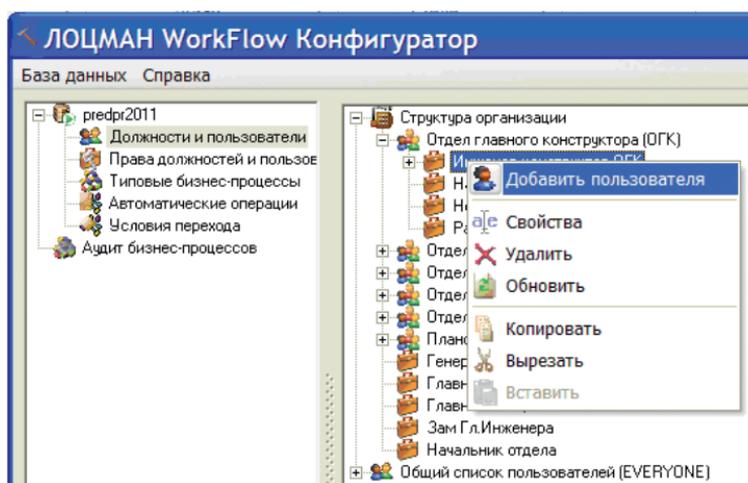


Рис. 5.17. Добавление пользователей в структуру организации

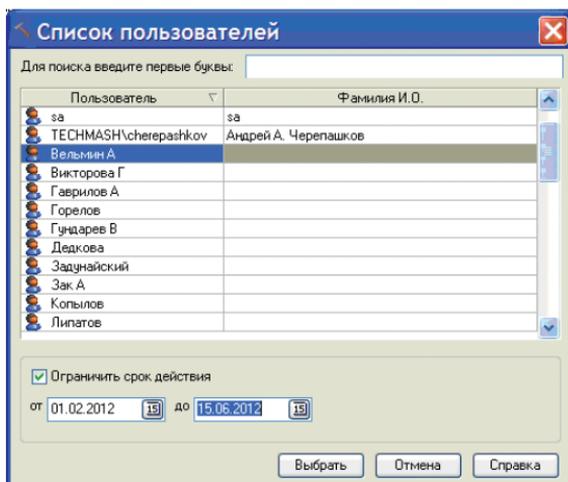


Рис. 5.18. Ограничение срока действия учетной записи

Для создания схемы типового бизнес-процесса используется входящий в стандартную поставку модуль ЛОЦМАН WorkFlow Дизайнер.

**СХЕМА БИЗНЕС-ПРОЦЕССА** — это формализованный маршрут, который проходит то или иное производственное задание. В схему вводятся участники процесса (конструкторы, проектировщики, начальники отделов, ведущие специалисты и т. п.). Для них назначаются задания и сроки их выполнения. Задаются последовательность движения электронных документов и условия перехода.

### 5.3.2. ФОРМИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИПОВОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО БИЗНЕС-ПРОЦЕССА В УНВП

Каждый комплексный бизнес-процесс может включать достаточно представительный ряд последовательно выдаваемых студенту заданий в соответствии с авторским сценарием УАПР (рис. 5.19).

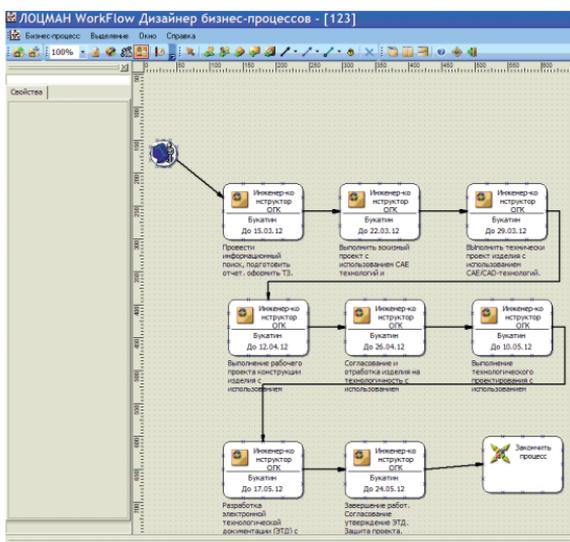


Рис. 5.19. Схема типового бизнес-процесса в УНВП

Подтверждение выполнения очередного этапа бизнес-процесса пользователем является необходимым и достаточным условием для старта следующего этапа. В конце схемы необходимо вставить в бизнес-процесс операцию «завершить бизнес-процесс».

Каждый этап бизнес-процесса снабжается текстовым комментарием с развернутым текстом задания, а также сроком выполнения (в соответствии с календарным планом лабораторных работ).

Создание индивидуального бизнес-процесса производится следующим образом. В дереве состава изделия необходимо выделить информационный объект, закрепленный за обучаемым, а в дереве проектов и бизнес-процессов из контекстного меню вызвать команду создания нового БП (рис. 5.20).

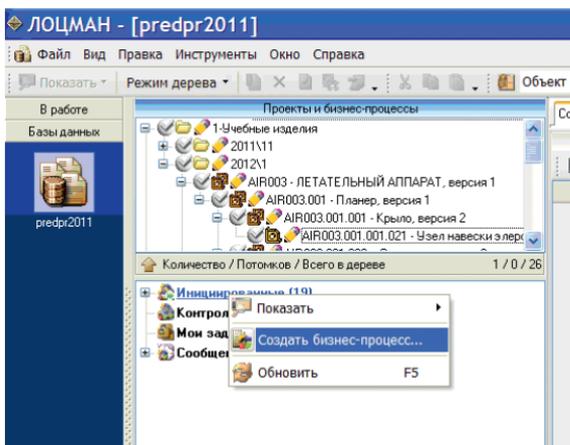


Рис. 5.20. Инициация создания индивидуального бизнес-процесса

В последующем диалоге (рис. 5.21) необходимо ввести наименование (удобнее всего имя пользователя). Затем отмечаем пункт «Создать по типовому» и выбираем типовой БП, на основе которого будем создавать индивидуальный БП.

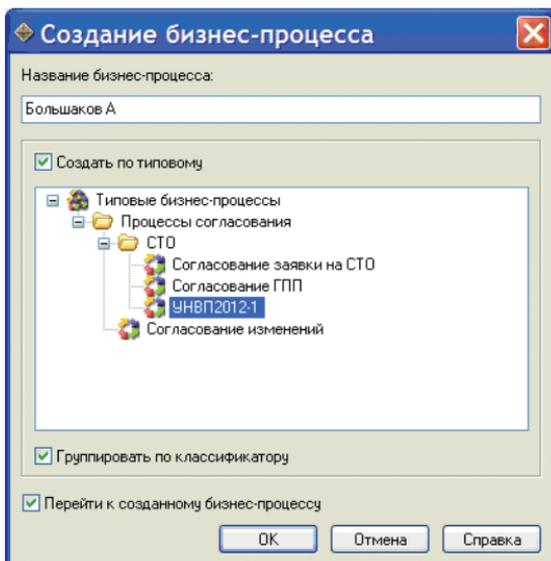


Рис. 5.21. Диалог создания нового индивидуального БП

В индивидуальном бизнес-процессе должен быть указан конкретный исполнитель для каждого этапа. В типовом процессе в качестве исполнителя указывается любое абстрактное имя пользователя. А при создании бизнес-процесса для конкретного обучаемого нам необходимо будет подставить его учетную запись. Индивидуальный бизнес-процесс создается в модуле ЛОЦМАН WorkFlow Дизайнер на основе типового путем изменения атрибута «Пользователь». Для группового изменения свойств подпроцессов рекомендуется выделить их и выбрать из панели свойств нового пользователя (рис. 5.22).

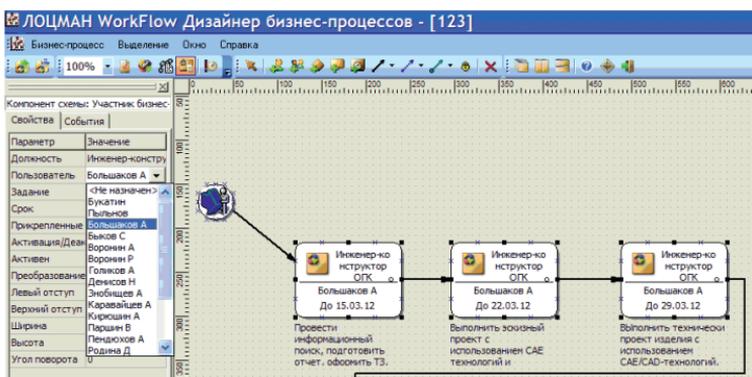


Рис. 5.22. Изменение атрибута «пользователь» для группы подпроцессов

По завершении создания индивидуального БП следует активизировать появившийся в списке новый БП командой «Запустить» из контекстного меню (рис. 5.23). Выполнение этой команды приведет к автоматической выдаче задания при первом входе пользователя в систему.

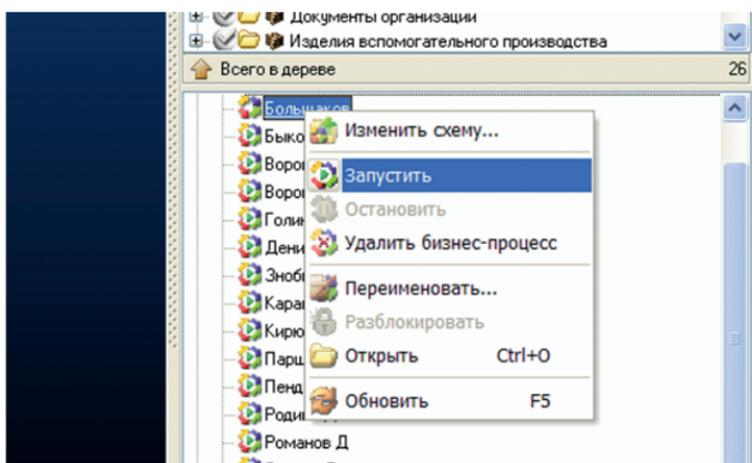


Рис. 5.23. Запуск индивидуального БП

На рис. 5.24 показано, как выглядит в УНВП процедура получения пользователем задания согласно назначенной ему схеме индивидуального бизнес-процесса.

Мы подробно описали технологию администрирования и использования механизма WorkFlow для управления автоматизированным проектированием в среде УНВП, поскольку, к сожалению, эта перспективная информационная технология достаточно редко используется на отечественных предприятиях.

Отмеченный факт, по нашим наблюдениям, вызван двумя достаточно вескими причинами. Во-первых, на реально действующих заводах до сих пор преобладают традиционные правила распределения и контроля исполнения заданий в службах технической подготовки

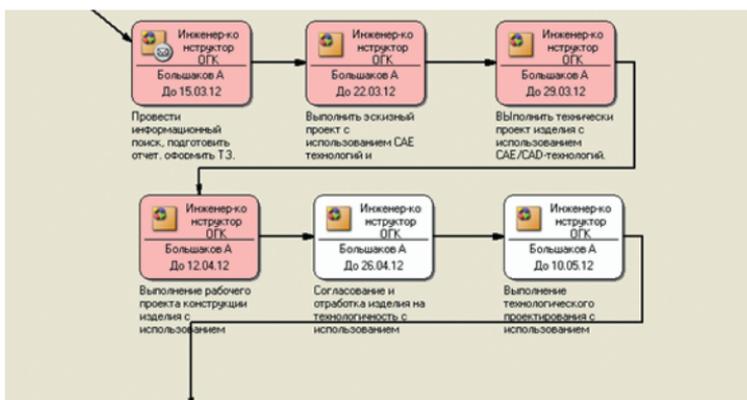
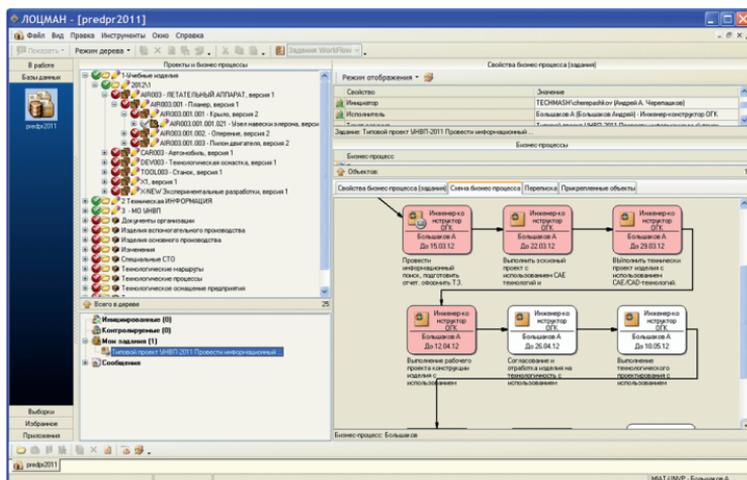


Рис. 5.24. Получение задания пользователем в процессе учебного проектирования в среде УНВП

производства. И во-вторых (а может быть, во-первых), основная масса исполнителей и руководителей всех звеньев не знакома со всеми возможностями и преимуществами единого информационного пространства.

Мы уверены, что создание и использование для подготовки и переподготовки кадров учебных виртуальных предприятий поможет техническим специалистам получить новые, необходимые им знания и навыки и будет способствовать скорейшему внедрению прогрессивных информационных технологий в отечественную промышленность.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под ред. А. Г. Братухина. Киев: Техника, 2001. — 625 с.
- 2 Норенков И. П., Кузьмик П. К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. — Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 320 с.
- 3 Управление жизненным циклом продукции. А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков. — М.: Анахарсис, 2002. — 304 с.
- 4 Информационно-вычислительные системы в машиностроении: CALS-технологии / Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, В. В. Павлов, А. В. Рыбаков. — М.: Наука, 2003. — 292 с.
- 5 Судов Е. В. Интегрированная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. — М.: Издательский дом MBM, 2003. — 264 с.
- 6 Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/МПИ / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов и др. — М.: Академия, 2007. — 304 с.
- 7 Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учебник для студ. высш. учебн. заведений / А. А. Черепашков, Н. В. Носов. — Волгоград: Издательский дом «ИнФолио». — 2009. — 650 с.  
*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)» направления «Автоматизированные технологии и производства» и направлениям подготовки: «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств, «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».*
- 8 <http://www.cals.ru/>
- 9 <http://www.sapr.ru/>
- 10 <http://www.cadcamcae.lv/>
- 11 <http://www.ascon.ru/>

- 12 Черепашков, А. А. Проблемы обучения технологиям комплексной автоматизации // Применение программных продуктов КОМПАС в высшем образовании: Сборник трудов международной конференции, Изд-во Гриф и К. — Тула. — 2005. — с. 7—10.
- 13 Черепашков А. А. Основные принципы создания учебного виртуального предприятия. — Актуальные проблемы развития университетского технического образования в России. — Самара: СГАУ, 2004. — с. 256—258.
- 14 Черепашков, А. А. Обучение автоматизированному проектированию в авторизованном учебном центре технического вуза // САПР и графика. — 2009. — № 12. С. 88—91.
- 15 Черепашков А. А., Букатин А. В. Обучение персонала в проектах внедрения САПР. Учебное виртуальное предприятие на платформе АСКОН // САПР и графика. — 2011. — № 10. С. 36—39.
- 16 ГОСТ Р 50.1.031—2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь.
- 17 ГОСТ Р ИСО 10303-1—99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы.
- 18 ГОСТ Р ИСО 10303-11—2004. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.
- 19 ГОСТ 34.003—90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения.
- 20 ГОСТ 34.601—90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Стадии создания.
- 21 Р 50.1.028—2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования.
- 22 ГОСТ 2.001—93. Единая система конструкторской документации. Общие положения.
- 23 ГОСТ 2.102—68. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.
- 24 ГОСТ 2.103—68. ЕСКД. Стадии разработки.
- 25 ГОСТ 2.105—95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

- 26 ГОСТ 2.109—73. ЕСКД. Основные требования к чертежам.
- 27 ГОСТ 2.118—73. ЕСКД. Техническое предложение.
- 28 ГОСТ 2.119—73. ЕСКД. Эскизный проект.
- 29 ГОСТ 2.120—73. ЕСКД. Технический проект.
- 30 ГОСТ 2.501—88. ЕСКД. Правила учета и хранения.
- 31 ГОСТ 2.503—90. ЕСКД. Правила внесения изменений.
- 32 ГОСТ 2.051—2006. ЕСКД. Электронные документы.  
Общие положения.
- 33 ГОСТ 2.052—2006. ЕСКД. Электронная модель изделия.  
Общие положения.
- 34 ГОСТ 2.053—2006. ЕСКД. Электронная структура изделия.  
Общие положения.
- 35 ГОСТ 2.511—2011. ЕСКД. Правила передачи электронных  
конструкторских документов. Общие положения.
- 36 ГОСТ 2.512—2011. ЕСКД. Правила выполнения пакета данных  
для передачи электронных конструкторских документов.  
Общие положения.
- 37 ГОСТ 2.611—2011. ЕСКД. Электронный каталог изделий.  
Общие положения.
- 38 ГОСТ 2.612—2011. ЕСКД. Электронный формуляр.  
Основные положения и общие требования.
- 39 ГОСТ 3.1001—2011. Единая система технологической  
документации. Общие положения.
- 40 ГОСТ 3.1102—2011. ЕСТД. Стадии разработки и виды  
документов. Общие положения.
- 41 ГОСТ 3.1103—2011. ЕСТД. Основные надписи. Общие  
положения.
- 42 ГОСТ 3.1105—2011. ЕСТД. Формы и правила оформления  
документов общего назначения.
- 43 ГОСТ 3.1116—2011. ЕСТД. Нормоконтроль.
- 44 ГОСТ 23501.101—87. Системы автоматизированного  
проектирования. Основные положения.
- 45 ГОСТ 23501.108—85. Системы автоматизированного  
проектирования. Классификация и обозначения.
- 46 ГОСТ Р 15.201—2000. Система разработки и постановки  
продукции на производство. Продукция производственно-  
технического назначения. Порядок разработки и постановки  
продукции на производство.
- 47 <http://www.gost.ru/wps/portal/pages.TechCom>.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

### СОКРАЩЕННЫЙ ПРИМЕР МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ В СРЕДЕ УНВП

*Учебный курс: «Компьютерные технологии в науке образовании и производстве».*

*Лабораторная работа № 1: «Организация, управление и информационная поддержка проектно-конструкторских работ средствами PDM–технологий».*

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью первой лабораторной работы практикума является общий обзор возможностей современной PDM-системы на примере программно-методического комплекса ЛОЦМАН:PLM, изучение пользовательского интерфейса автоматизированной системы и практическое освоение приемов работы в интерактивной среде учебно-научного виртуального предприятия (УНВП) СамГТУ.

#### 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Усвоение материала, изложенного преподавателем в процессе лекционно-практической части занятия, и демонстрация практических приемов работы с прикладным программным обеспечением PDM-системы.
2. Изучение методических материалов и технической документации программно-методического комплекса, представленных в электронной форме.
3. Выполнение упражнений согласно приложению к ЛР № 1 в электронной форме.
4. Оформление и сдача отчета по лабораторной работе в электронной форме.

#### 3. ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Содержание отчета по ЛР должно соответствовать стандартам, предусмотренным комплексной системой управления эффективностью и качеством СамГТУ.

В отчете по данной лабораторной работе должны быть следующие разделы:

1. Перечень основных режимов работы PDM-системы ЛОЦМАН-PLM;
2. Скриншоты упражнений, пройденных на аудиторном занятии и при выполнении контролируемой самостоятельной работы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите назначение PDM-системы и сформулируйте перечень основных режимов работы пользовательского приложения ЛОЦМАН Клиент.
2. Поясните схему рабочего окна ЛОЦМАН Клиент и продемонстрируйте освоенные средства управления окнами и другими элементами интерфейса.
3. Перечислите основные этапы работ целевого персонала комплексной АС при получении нового проектного задания.
4. Перечислите состав инструментальных панелей и назначение команд главного меню приложения ЛОЦМАН Клиент.
5. Поясните назначение всех вкладок рабочего окна базы данных.
6. Перечислите все окна в области информации, их назначение и режимы использования.
7. Для чего используется окно «Проекты и бизнес-процессы» (БП)? Перечислите все элементы дерева проектов и возможности управления им.
8. Что такое объект БД? Какие виды объектов используются в ЛОЦМАН? Поясните их назначение и форму представления в дереве состава изделия.
9. Что такое индикатор доступа и как им пользоваться?
10. Дайте определение атрибута объекта БД. Приведите примеры атрибутов объектов.
11. Перечислите назначение всех вкладок дерева информационной зоны бизнес-процессов.
12. Поясните механизм переписки по бизнес-процессу, для чего он используется?
13. Как взять объект на изменение и зачем необходимо возвращать измененные объекты?
14. Как создать новый объект, отредактировать, переименовать и удалить его?
15. Как создать, отредактировать или удалить атрибуты объекта?
16. Каким образом можно добавлять в БД PDM-системы различные по форматам файлы?
17. Как создать объект «документ» и поместить в него файлы?
18. Как корректно заверить работу с БД УНВП и приложением ЛОЦМАН Клиент?

## 4. СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### (ЛР № 1. ЧАСТЬ 1)

- 4.1. Изучите состав и содержание фирменных методических материалов Комплекса решений АСКОН. Внимательно прочитайте следующие документы и сделайте пометки в своем рабочем конспекте в соответствии со списком контрольных вопросов к ЛР:
  - ▶ ЛОЦМАН Клиент, Руководство пользователя;
  - ▶ Комплекс решений АСКОН, Руководство по КПП.
- 4.2. Выполните упражнения по освоению пользовательского функционала клиентской части PDM ЛОЦМАН, приведенные в электронном приложении к данной ЛР.

### ЛР № 1. Часть 2

- 4.3. Идентифицируйтесь и войдите в систему. На каждом занятии вы будете автоматически получать индивидуальные задания на все обязательные этапы проектных работ с помощью подсистемы WorkFlow.  
Откройте раздел «Мои задания» в дереве окна бизнес-процессов. Не забудьте из контекстного меню в информационном поле вкладки «Свойства бизнес процесса» выбрать пункт «Посмотреть текст задания». Во вкладке «Бизнес-процессы» приведена графическая форма алгоритма проектной деятельности в течение всего курса.
- 4.4. С помощью контекстного меню «Мои задания» в дереве окна бизнес-процессов поставленное задание необходимо «Принять к исполнению», а по завершению этапа отчитаться о его выполнении.  
PDM будет автоматически контролировать сроки исполнения проектных работ. В дальнейшем мы будем использовать возможности PDM ЛОЦМАН для организации коллективной работы и согласования разработанных электронных документов.
- 4.5. При работе с информационным и методическим обеспечением УНВП согласно плану второй части ЛР вам необходимо выполнить следующую содержательную работу:
  - ▶ Получить техническое задание (ТЗ), оформить и начать подготовку технического предложения (ПТ) по проекту (см. ГОСТ ЕСКД).
  - ▶ Познакомиться с информацией по проекту, которая содержится в БД в разделах «Техническая информация» и «Примеры работ».
- 4.5.1. Отредактируйте бланк ТЗ, добавив индивидуальные данные, переименуйте его и сохраните в личном каталоге на сервере УНВП.
- 4.5.2. Аналогично поступите со сборником заданий и планом ПКР.

**ПРИЛОЖЕНИЕ № 2**

**ПРИМЕР РАБОЧЕГО ПЛАНА УАПР В СРЕДЕ УНВП**

№	Содержание этапов учебного автоматизированного проектирования в УНВП. Методическая поддержка и средства автоматизации	Уч. неделя
1	<p><b>Уяснение целей, задач и планирование ПКР.</b> Лекционно-демонстрационное занятие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ освоение методов планирования проектных работ;</li> <li>▶ освоение приемов работы пользователя в среде PDM (ЛР № 1, часть 1).</li> </ul> <p>Используются информационное и методическое обеспечение УНВП в электронной форме. Осваивается работа с приложениями из рабочей среды PDM.</p>	1
2	<p><b>Получение проектно-конструкторского задания (ПКЗ)</b> в среде PDM. (ЛР № 1, часть 2) Продолжение освоения интерфейса и приемов работы пользователя в среде PDM:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ анализ ПКЗ, разработка плана ПКР, выполнение информационного и патентно-лицензионного поиска в электронных источниках и БД;</li> <li>▶ оформление ТЗ и начало разработки ПТ на комплексный проект.</li> </ul>	3
3	<p><b>Разработка, согласование и утверждение технического предложения (ПТ)</b> в электронной форме в среде PDM. ЛР № 2 «Применение технологий инженерного анализа на ранних стадиях проектно-конструкторских работ» (CAE-технологии):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ разработка структурной модели первого уровня с использованием APM FEM.</li> </ul>	4
4	<p><b>Выполнение эскизного проекта</b> с использованием результатов инженерного анализа (CAD/CAE-технологии). ЛР № 3 «Моделирование и ЭП в ЕИП/ИИС»:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ разработка 3D-эскизов (нескольких вариантов силовых деталей) с использованием растровой подложки в среде CAD-подсистемы КОМПАС-3D;</li> <li>▶ оформление и согласование ЭП в электронной форме в среде PDM.</li> </ul>	6
5	<p><b>Выполнение технического проекта</b> изделия с использованием CAE/CAD/PDM:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ анализ вариантов конструкции и выбор рационального варианта для дальнейшей конструкторской проработки;</li> <li>▶ выполнение технических расчетов с использованием APM FEM.</li> </ul> <p>ЛР № 4 «Моделирование и инженерные расчеты в ЕИП/ИИС».</p>	8

6	<p><b>Выполнение рабочего проекта</b> конструкции изделия с использованием CAD/PDM. ЛР № 4 «Рабочее конструкторское проектирование в ЕИП/ИИС», часть 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ подбор типовых конструктивных элементов изделия с использованием конструкторских справочников нормалей и корпоративных баз данных PDM;</li> <li>▶ разработка ассоциативной с ЭМИ электронной конструкторской документации (ЭКД) в среде КОМПАС-3D, интегрированной с PDM</li> </ul>	10
7	<p>ЛР № 4 «Рабочее конструкторское проектирование в ЕИП/ИИС», часть 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ разработка электронной сборки изделия;</li> <li>▶ формирование спецификаций и ведомостей в среде PDM.</li> </ul>	11
8	<p><b>Согласование и отработка изделия на технологичность</b> с использованием CAD/PDM-технологий. ЛР № 5 «Автоматизация проведения изменений проектов в ЕИП/ИИС», части 1, 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ освоение методов коллективной работы над проектом в среде PDM;</li> <li>▶ освоение методов взаимодействия конструкторских и технологических подразделений УНВП при проведении изменений и модификации ЭМИ и ЭКД.</li> </ul>	13
9	<p><b>Выполнение технологического проектирования</b> с использованием CAD/CAPP/PDM. ЛР № 6 «Автоматизация технологического проектирования в ЕИП/ИИС», часть 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ разработка маршрута изготовления изделия;</li> <li>▶ проектирование ТП в среде САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ.</li> </ul>	15
10	<p><b>Разработка электронной технологической документации (ЭТД)</b> с использованием CAD/CAPP/PDM-технологий. ЛР № 6 «Автоматизация технологического проектирования в ЕИП/ИИС», часть 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ завершение проектирования ТП и генерация ЭТД, включая технологические карты (МК, ОК с технологическими эскизами КЭ):</li> <li>▶ согласование и утверждение ЭТД в среде PDM.</li> </ul>	17
11	<p><b>Завершение работы. Согласование и утверждение ЭТД</b> в среде PDM: занесение итоговых данных, ЭКД, ЭТД в электронный архив УНВП. ЛР № 7 «CAD/РP/CAM-технологии»:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ разработка программ для цифрового оборудования;</li> <li>▶ имитация производства и/или изготовление прототипов и образцов деталей.</li> </ul>	18
12	<p><b>Защита комплексного проекта</b> (см. «Пособие по курсовому проектированию в среде УНВП»).</p> <p><b>Зачет или экзамен.</b></p>	

Андрей Александрович Черепашков,  
Антон Валерьевич Букатин

**Учебное виртуальное предприятие  
на платформе Комплекса АСКОН**  
(разработка и внедрение)

МОНОГРАФИЯ

Редактор А. В. Личман  
Корректор В. Ушакова  
Дизайн и верстка Т. Филиппова

199155, Санкт-Петербург, ул. Одоевского, д. 5, литер А  
Центральный офис ЗАО АСКОН  
тел.: (812) 703-39-30, 703-39-34

Подготовлено к изданию 20.12.13  
Усл. печ. л. 8.5

ЗАО АСКОН,  
тел.: (812) 703-39-34  
ascon.ru

