



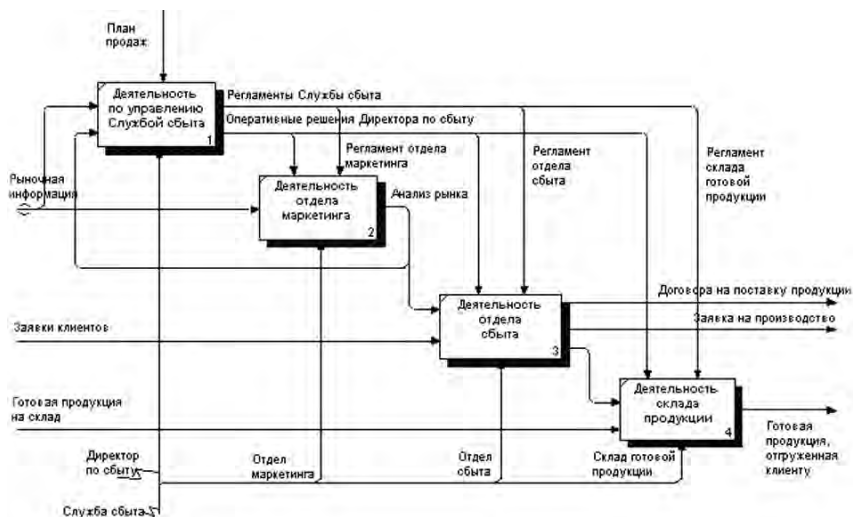
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный
технический университет

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие



Минск
БНТУ
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-40 05 01-01
«Информационные системы и технологии
(в проектировании и производстве)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области информатики и радиоэлектроники*

Минск
БНТУ
2017

УДК 658.512.22-027.44:001.895(075.8)

ББК 30.2-5-05я7

И66

Авторы:

В. А. Кочуров, А. В. Бородуля, И. Л. Ковалёва,

В. В. Напрасников, С. Е. Пекарчик

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией «Моделирование технологических процессов» ОИПИ НАН Беларуси, исполнительный директор ГНТП «Информационные технологии» *А. Г. Гривачевский;*

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры полиграфических производств УО «Белорусский государственный технологический университет» *Т. А. Долгова*

И66 **Иновационные** технологии в системах автоматизированного проектирования : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-40 05 01-01 «Информационные системы и технологии (в проектировании и производстве)» / В. А. Кочуров [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – 111 с.
ISBN 978-985-550-703-2.

Методическое пособие содержит теоретические основы информационных технологий поддержки жизненного цикла изделий, рассматриваются основные аспекты CALS-технологий в контексте основных этапов производственного процесса.

УДК 658.512.22-027.44:001.895(075.8)

ББК 30.2-5-05я7

ISBN 978-985-550-703-2

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ.....	5
1.1. Становление ИТ-технологий в контексте CALS.....	8
1.2. Принципы реализации CALS.....	12
2. МОДЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В КОНТЕКСТЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ.....	17
2.1. Жизненный цикл изделия.....	18
2.1.1. Маркетинг.....	18
2.1.2. Техническое задание.....	20
2.1.3. Проектирование изделий.....	21
2.2. Технологическая подготовка производства.....	28
2.3. Изготовление.....	32
2.4. Поставка.....	38
3. КЛЮЧЕВЫЕ ОБРАЗУЮЩИЕ БЛОКИ ЕИПП.....	40
3.1. Система информационных коммуникаций.....	40
3.2. Управление данными.....	41
3.3. Предоставление данных в условиях ЕИПП.....	43
3.4. Требования к интеграции ключевых блоков ЕИПП.....	44
3.4.1. Гетерогенность информационной среды.....	46
3.4.2. Промышленные стандарты и открытые интерфейсы.....	46
3.4.3. Уменьшение стоимости выполнения работ и сопровождения приложений.....	47
3.4.4. Адаптируемость решений.....	47
3.4.5. Постепенность ввода систем в эксплуатацию.....	47
3.4.6. Улучшение деловых процессов.....	48
3.5. Промежуточные выводы.....	49
4. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ТРАДИЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	50
4.1. Требования к содержанию проекта.....	54
4.2. Система проектирования.....	56
4.2.1. Проектные работы.....	57
4.2.2. Вспомогательные работы.....	60
4.2.3. Обслуживающие работы.....	63
4.2.4. Формализованный анализ процесса проектирования.....	67
4.3. Организационный аспект традиционного проектирования.....	67

4.4. Информационный аспект традиционного проектирования.....	69
4.4.1. Три вида процессов проектирования.....	71
4.5. Логический аспект проектирования	71
4.5.1. Структура логической модели образа объекта проектирования	72
4.6. Кибернетический анализ процесса проектирования.....	75
4.6.1. Понятие модели	75
4.6.2. Системный характер моделей	78
4.6.3. Характеристики моделей	85
4.6.4. Предметные информационные модели технических объектов	89
4.6.5. Кибернетические модели объектов проектирования.....	90
4.6.6. Модель назначения объектов проектирования.....	97
5. ТИПОВАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР	98
5.1. Поиск решения.....	98
5.2. Принятие решения.....	99
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	110

1. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

В приказе Министерства промышленности Республики Беларусь № 416 от 16.10.03, в частности, говорится: «Считать внедрение принципов и технологий информационной поддержки жизненного цикла изделий (далее – CALS-технологий) стратегическим направлением совершенствования комплексного механизма управления процессами и взаимодействием всех участников при разработке, освоении, сбыте, сервисном обслуживании и утилизации наукоемкой продукции посредством электронного обмена данными в соответствии с требованиями технических нормативных документов». Так что же такое CALS?

«Промышленное предприятие может считаться целостным только тогда, когда все технологические функции и связанные с ними функции управления на предприятии могут создаваться, преобразовываться, перемещаться и храниться посредством компьютерных технологий, а используемые этими функциями данные могут перемещаться между ними в течение всего жизненного цикла изделия, создавая возможность для предприятия работать с максимальной эффективностью» [Из доклада Национального совета по исследованиям США в NASA (NASA – государственная организация США, занимающаяся исследованием космоса), 1985 г.].

Из этой цитаты можно сделать вывод, что понимание необходимости применения компьютерных технологий для автоматизации всех функций в проектировании, производстве и управлении на протяжении всего жизненного цикла изделия рассматривалось как стратегическое направление повышения эффективности работы предприятий еще в середине 80-х годов уже прошлого века. Тогда такое компьютеризированное в целом производство обозначалось термином CIM (Computer Integrated Manufacturing), а аббревиатура CALS, расшифровываемая как Computer-Aided of Logistics Support, применялась для обозначения компьютерной поддержки материально-технического обеспечения сложных изделий военного назначения.

Следует принять во внимание, что середина 80-х годов приходится на период «холодной войны» в его заключительной стадии. Поэтому создание наукоемкой продукции в оборонном и космическом комплексах в условиях рыночной экономики США требовало

высокой степени координации поставок от всех участников производства сложнейшей продукции военного назначения. В этих условиях компьютерные технологии рассматривались как средство сокращения затрат на организацию информационного взаимодействия государственных учреждений с частными фирмами в процессах формализации требований, заказа, поставок и эксплуатации военной техники. Появилась реальная потребность в создании самостоятельной интегрированной информационной системы для обмена данными между заказчиком, производителями и потребителями военной техники для повышения управляемости и сокращения затрат.

В начале 90-х годов аббревиатуру CALS стали расшифровывать как «Computer-Aided Acquisition and Life-cycle Support» – компьютерная поддержка поставок в течение жизненного цикла продукции.

В «Проекте Руководства по применению CALS в НАТО», выпущенном 1 марта 2000 г., термин CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) определяется как «...совместная стратегия промышленности и правительства (государства), направленная на «реинжиниринг» (изменение, преобразование) существующих бизнес-процессов в единый высокоавтоматизированный и интегрированный процесс управления жизненным циклом систем военного назначения». В данном контексте жизненный цикл включает в себя разработку, производство, применение и утилизацию военной системы.

Таким образом, аббревиатура CALS получила более широкую трактовку – Continuous Acquisition and Life-cycle Support – поддержка непрерывности поставок в течение жизненного цикла продукции.

Первая часть этого определения «Поддержка непрерывности поставок» означает применение современных информационных технологий для обеспечения непрерывности процессов взаимодействия «заказчика и поставщика» в ходе разработки, проектирования и производства сложной продукции, в частности военной техники, срок жизни которой, с учетом различных модернизаций, составляет десятки лет.

Вторая часть определения CALS – «поддержка жизненного цикла» – заключается в оптимизации процессов обслуживания, ремонта, снабжения запасными частями и модернизации. Поскольку затраты на поддержку сложного наукоемкого изделия в работоспособном состоянии часто равны или превышают затраты на его приобретение, то сокращение «стоимости владения» такой продукцией приобретает принципиальное значение.

В связи с усложнением и повышением степени наукоемкости гражданской продукции, а также с ужесточением конкуренции, принципы CALS-технологий стали применяться и в промышленности вообще.

В промышленных странах CALS рассматривается как комплексная системная стратегия повышения эффективности процессов, связанных с промышленной продукцией, непосредственно влияющая на ее конкурентоспособность. Повышение конкурентоспособности достигается за счет сокращения затрат (цены изделия), сокращения сроков вывода новых образцов на рынок, повышения качества продукции благодаря внедрению современных информационных технологий на всех этапах жизненного цикла продукции. Применение стратегии CALS рассматривается как условие выживания предприятий в условиях растущей конкуренции на международных рынках в ближайшие несколько лет.

Поскольку термин CALS всегда носил военный оттенок, в гражданской сфере широкое распространение получили термины Product Life Cycle Support (PLCS) или Product Life Management (PLM) – «поддержка жизненного цикла изделия» или «управление жизненным циклом изделия».

Таким образом, идея, связанная только с компьютерной поддержкой логистических систем (систем материально-технического обеспечения), превратилась в глобальную стратегию перехода на компьютерные технологии и повышения эффективности производственных процессов за счет информационной интеграции и совместного использования информации на всех этапах жизненного цикла продукции.

В настоящее время в мире действуют более 25 национальных организаций, координирующих вопросы развития CALS-технологий, в том числе в США, Канаде, Японии, Великобритании, Германии, Швеции, Норвегии, Австралии, а также в НАТО.

Итак, основной акцент в термине CALS в его современной трактовке делается на обеспечение условий непрерывного информационного взаимодействия всех участников жизненного цикла продукции.

Здесь возникает первый вопрос – почему термин CALS громко зазвучал у нас лишь в последнее время и в несколько иной трактовке, чем он используется в западных странах? Для ответа на этот вопрос следует хотя бы кратко рассмотреть процесс становления информационных технологий (ИТ) в промышленности Советского Союза и постсоветский период.

1.1. Становление ИТ-технологий в контексте CALS

До возникновения термина CALS, начиная с 60-х годов, в Советском Союзе широко употреблялись термины:

АСУ – автоматизированные системы управления;

АСУП – автоматизированные системы управления предприятием;

АСУТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами;

САПР – системы автоматизированного проектирования;

АСТПП – автоматизированные системы технологической подготовки производства;

КАСТПП – комплексные автоматизированные системы технологической подготовки производства;

ЕСТПП – единая система технологической подготовки производства – комплекс стандартов, определяющих принципы создания комплексных автоматизированных систем технологической подготовки производства.

Несколько позднее, в конце 80-х, пришел термин CIM – Computer Integrated Manufacturing.

В условиях централизованного управления экономикой Советского Союза проблемы материально-технического обеспечения решались планово-административными мерами и в рамках автоматизированных систем управления (АСУ) соответствующих министерств и ведомств. Поэтому создание самостоятельных автоматизированных логистических систем не было необходимым и, соответственно, не было нужды в импорте термина CALS.

Автоматизированные системы управления предприятием были созданы практически на каждом промышленном предприятии и функционально строились в соответствии с планово-централизованным управлением, т. е. с преимущественным движением информации снизу вверх и спуском планово-экономических показателей сверху вниз. Оперативно-календарное планирование отставало.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами развивались достаточно успешно и, в первую очередь, были направлены на производство станков и обрабатывающих центров с числовым программным управлением и создание систем подготовки управляющих программ для них.

Системы автоматизированного проектирования (автоматизированные системы конструкторской подготовки производства) разрабатывались в многочисленных академических и отраслевых научно-исследовательских институтах, однако реального использования в производстве не получили по ряду причин, которые будут рассмотрены ниже при анализе экономической ситуации того периода.

Автоматизированные системы технологической подготовки производства доводились до стадии опытно-экспериментальных образцов, но также не получили реального широкого внедрения на промышленных предприятиях по тем же причинам, что и САПР.

Термин «комплексные автоматизированные системы технологической подготовки производства» использовался для АСТПП, которые пытались охватить более широкий спектр функций технологической подготовки производства.

Попытка интеграции различного рода автоматизированных систем в области технической подготовки производства осуществлялась посредством стандартизации как в области САПР, так и в области АСТПП, и комплекс стандартов ЕСТПП, используемый и поныне, служит тому подтверждением.

Следует отметить, что в рассматриваемый период наблюдалось определенное размежевание областей между САПР и АСТПП с одной стороны и АСУП – с другой. Хотя реализация этих систем осуществлялась в рамках общего вычислительного центра предприятия, часто входившего в состав АСУП, отделы или бюро САПР подчинялись службе главного конструктора (ОГК), отделы АСТПП и АСУТП входили в состав службы главного технолога, а АСУП дополняла планово-экономические службы предприятия. При этом монополия на информацию, содержащуюся в ЭВМ вычислительного центра, обычно принадлежала службе АСУП.

В конце 80-х – начале 90-х годов пришло понимание необходимости совместного использования стратегической информации предприятий в части управления конструкторскими и технологическими извещениями на изменения посредством создания автоматизированных систем ведения спецификаций и технологических маршрутов, которые создавались в рамках АСУП. Выходом таких систем служили ведомости входимости, применяемости и комплектовочные карты в форме бумажных документов для использования в конструкторских и технологических службах, которые приносили реальную пользу.

Здесь уместно задать второй вопрос – почему при такой мощной государственной поддержке, наличии большого числа НИИ, наличии огромного числа высококвалифицированных программистов, высокой степени оснащенности предприятий ЭВМ не произошла реальная компьютеризация промышленных предприятий? Простой ответ на этот непростой вопрос скрыт не в области компьютерных технологий, а в экономике – низкая цена интеллектуального труда, труда инженерно-технических работников. Как ни парадоксально это звучит, но обосновать автоматизацию труда инженерно-технических работников путем создания интерактивных компьютерных систем было совершенно невозможно. В конце 80-х – начале 90-х годов стоимость часа машинного времени на средних и больших ЭВМ составляла 60–80 руб., а средняя заработная плата инженерно-технических работников составляла 130–145 руб. Отсюда – требование высокого уровня автоматизации решения задач, не требующего вмешательства человека, отсюда – отсутствие термина «конечный пользователь», отсюда – отставание в развитии периферийной техники и, в частности, удаленных терминалов. Конечный потребитель компьютерных технологий: конструктор, технолог, работник планово-экономических служб – был оторван от них. От него требовалась ручная подготовка информации для решения задач, взамен он получал бумажные документы, доверять которым в полной мере не мог, они не содержали решения задачи в полном объеме и требовали ручной доработки или полной перепроверки и переработки. Именно поэтому, в результате известных событий начала 90-х годов на большинстве предприятий в первую очередь были упразднены подразделения АСУП, АСТПП, САПР как не приносящие реальной отдачи. Вскоре сошли с арены большие и средние ЭВМ, выпуск и поддержка которых прекратились. Отечественные персональные компьютеры «Искра», ЕС-1840, ЕС-1841, ЕС-1842 не выдерживали конкуренцию с IBM-совместимыми XT и затем AT-286, AT-386 тоже сошли с арены. В результате была разрушена теоретическая, системная, кадровая и физическая инфраструктура отечественных информационных технологий на промышленных предприятиях.

В этот же период в развитых западных странах большие ЭВМ, которые стали называть mainframe, продолжая повышать свою производительность, просто уменьшались в размерах. ЭВМ среднего класса типа PDP-11 и Vax стали вытесняться специальными рабо-

чими станциями на платформе Unix стоимостью 10–15 тысяч долларов, которые составили основу для реальных систем автоматизированного конструирования и технологического проектирования, и, наконец, настольные персоналки просто заменили удаленные неинтеллектуальные терминалы. Весь этот процесс происходил эволюционно, естественным путем, поскольку цена труда инженерно-технических работников была достаточно высока, чтобы эффективность его автоматизации путем создания интерактивных компьютерных систем не вызвала сомнений.

В результате этих процессов, протекавших в противоположных направлениях, к концу 90-х годов большинство промышленных предприятий постсоветского пространства оказались оснащенными персональными компьютерами среднего класса и серверами в единичных экземплярах. К настоящему времени кардинального изменения ситуации не произошло, на отдельных предприятиях она изменилась лишь в количественном отношении. Наблюдается развитие сетевой инфраструктуры и увеличение числа персональных компьютеров, улучшение технических характеристик которых при сохранении приемлемой для промышленных предприятий цены в определенной степени позволяет использовать на них программное обеспечение CALS-технологий.

В результате нашего краткого экскурса в историю становления информационных технологий на промышленных предприятиях можно сделать вывод о том, что понятие «Computer Integrated Manufacturing» – компьютеризированное в целом предприятие конца 80-х годов прошлого века, во многом тождественно понятию CALS в его современной интерпретации как глобальной стратегии перехода на компьютерную технологию и повышения эффективности производственных процессов за счет информационной интеграции и совместного использования информации на всех этапах жизненного цикла продукции.

Таким образом, привлечением внимания к термину CALS мы обязаны в первую очередь Российскому ВПК, который вышел на зарубежные рынки вооружений со старыми технологиями послепродажного сопровождения на основе бумажной документации. Потенциальные покупатели потребовали перестройки на современные информационные технологии, точнее, CALS-технологии, в части непрерывного информационного взаимодействия покупателя и производителя.

1.2. Принципы реализации CALS

Пора задать очередной вопрос – что составляет основу CALS? Строительными блоками CALS принято считать:

- основные принципы CALS;
- стандарты CALS, направленные на обеспечение основных принципов;
 - программно-технические решения, выполненные на основе стандартов CALS;
 - организационно-технические решения и мероприятия, базирующиеся на программно-технических решениях.

Основными принципами CALS служат:

- контроль и управление информацией об изделии и его окружающей среде в течение всего жизненного цикла (ЖЦИ);
- понятие ЖЦИ как совокупности этапов, через которые проходит изделие за время своего существования: маркетинговые исследования, составление технического задания, проектирование, технологическая подготовка производства, изготовление, поставка, эксплуатация, утилизация;
 - обеспечение единого информационного пространства для всех участников жизненного цикла изделия, построенного на совокупности распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия;
 - обеспечение единообразных способов информационного взаимодействия всех участников ЖЦИ посредством единого информационного пространства;
 - обеспечение обмена информацией между всеми участниками ЖЦИ преимущественно посредством электронного обмена данными.

Стандарты CALS описывают правила электронного представления данных об изделиях, среде и производственных процессах, а также правила обмена этими данными и представляют собой международный непрерывно развивающийся набор стандартов весьма большого объема.

Программно-технические решения, выполненные на основе стандартов CALS, представлены программными продуктами нескольких категорий, которые принято обозначать в форме следующих аббревиатур:

ERP/MRP II (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия, или MRP II (Manufacturing Resource Planning) – планирование ресурсов производства. Системы ERP ориентированы на предприятие в целом, а MRP – на его технологические подразделения, т. е. в старой терминологии – это задачи АСУП. В соответствии с [ISO/IEC 2382–24:1995] системы класса MRP должны выполнять следующие функции:

- управление финансовыми ресурсами (Financial Management);
- управление персоналом (Human Resources);
- ведение портфеля заказов (Customer Orders);
- управление запасами (Inventory Management);
- управление складами (Warehouse Management);
- управление закупками (Purchasing);
- управление продажами (Sales);
- управление сервисным обслуживанием (Service);
- прогнозирование объема реализации и продаж (Forecasting);
- объемное планирование (Master Production Scheduling);
- расчет потребностей в материалах (Materials Requirement Planning);
- оперативно-производственное планирование (Finite Scheduling);
- оперативное управление производством (Production Activity Control);
- управление техническим обслуживанием оборудования (Equipment Maintenance);
- расчет себестоимости продукции и затрат (Cost Accounting);
- управление транспортировкой готовой продукции (Transportation).

Характерными примерами современных ERP являются системы: R/3 (SAP), BAAN IV (BAAN), Oracle Applications (Oracle Corporation), MFG/PRO (QAD), People Soft (People Soft Inc), OneWorld (J. D. Edwards), BPCS (System Software Associates), Syteline (Symix Systems) и др. Следует упомянуть целый ряд интегрированных информационных систем, приближающихся по функциональности к ERP, представленных на рынке российскими компаниями: «БОСС» (компания АйТи), «Парус» («Корпорация Парус»), «Галактика» («Корпорация Галактика») и др.

CAD (Computer-Aided Design) – программно-технические комплексы, обеспечивающие процессы конструирования изделий. Современные CAD-технологии представлены широко известными программными системами автоматизированного проектирования: CATIA, Pro/Engineer, Unigraphics, («тяжелые» CAD-системы), SolidWorks, SolidEdge (средние) и AutoDesk Mechanical Desktop, Компас, T-FLEX CAD («легкие» CAD-системы).

CAE (Computer-Aided Engineering). Компьютерные технологии инженерного анализа (CAE-технологии) в первую очередь опираются на семейство программных систем для решения прикладных задач механики:

ANSYS, MSC/NASTRAN – для решения пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, механики связанных полей;

LS-DYNA, ABAQUS, MSC/MARC – для решения задач о сильно нелинейных и быстропротекающих процессах в деформируемых средах;

STAR-CD, FLUENT – для решения трехмерных задач механики жидкости и газа;

ADAMS – для решения задач кинематического и динамического моделирования и анализа сложных механических систем.

CAM (Computer-Aided Manufacturing) – программно-технические решения, обеспечивающие технологическое проектирование, представлены двумя классами систем: «тяжелыми» CAD/CAM системами Unigraphics от Siemens AG и CATIA от «Dassault Systemes» и системами среднего класса от российских и белорусских производителей. CAM-функциональность «тяжелых» систем обеспечивается большим числом дополнительных подключаемых модулей технологического проектирования и программирования обработки на станках с ЧПУ, которые опираются на трехмерную модель изделия, создаваемую в процессе конструирования. Системы среднего класса технологического проектирования (например, T-FLEX Технология, Вертикаль, IPS Techcard, CAM Express) предназначены для решения широкого спектра задач, технологической подготовки производства: автоматизированного проектирования технологических процессов, расчета оптимального количества материалов для производства изделия, расчета режимов обработки для различных видов

производств, расчета оптимальных затрат труда, формирования необходимого комплекта технологических документов, передачи технологической информации из программного комплекса в различные системы планирования и управления ресурсами MRP/ERP.

PDM (Project Data Management) – компьютерные интегрированные системы для управления данными о машиностроительном изделии в процессе проектирования. В качестве примеров можно привести: Enovia (Dassault Systemes) [2], Teamcenter (Siemens AG) [5] и [6], ЛОЦМАН (АСКОН) [8], IPS Search (ИНТЕРМЕХ) [12], T-FLEX DOCs (Топ Системы) [18] и др.

MES (Manufacturing Execution Systems). К системам MES принято относить приложения, отвечающие:

- за управление производственными и людскими ресурсами в рамках технологического процесса;
- планирование и контроль последовательности операций технологического процесса;
- управление качеством продукции;
- хранение исходных материалов и произведенной продукции по технологическим подразделениям;
- техническое обслуживание производственного оборудования.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) или **DCS (Distributed Control Systems)** обозначают «нижнюю» группу задач в иерархии управления производством. Оба указанных типа систем принадлежат классу MMI (Man-Machine Interface), что означает «человеко-машинный интерфейс» в смысле обеспечения двусторонней связи «оператор – технологическое оборудование». Эта группа задач управления промышленным предприятием именовалась ранее АСУТП (Автоматизированные системы управления технологическими процессами).

Организационно-технические решения и мероприятия, базирующиеся на программно-технических решениях, в первую очередь содержат:

- реинжиниринг бизнес-процессов. Концепция CALS предполагает последовательное, непрерывное изменение и совершенствование процессов разработки, проектирования, производства и эксплуатации изделия. Постоянное усложнение производственно-технических и организационно-экономических систем – фирм, предприятий, производств,

и других субъектов производственно-хозяйственной деятельности и необходимость их анализа с целью совершенствования функционирования и повышения эффективности обуславливают необходимость применения специальных средств описания и анализа таких систем;

- параллельный инжиниринг. Принцип параллельного инжиниринга (concurrent engineering) предполагает выполнение процессов разработки и проектирования одновременно с моделированием процессов изготовления и эксплуатации. Сюда же относится одновременное проектирование различных компонентов сложного изделия. При параллельном инжиниринге многие проблемы, которые могут возникнуть на более поздних стадиях ЖЦИ, выявляются и решаются на стадии проектирования. Такой подход позволяет улучшить качество изделия, сократить время его вывода на рынок, сократить затраты.

Отличиями параллельного инжиниринга от традиционного подхода к организации процессов инженерной деятельности являются:

- ликвидация традиционных барьеров между функциями отдельных специалистов и организаций путем создания, а при необходимости – последующего преобразования многопрофильных рабочих групп, в том числе территориально распределенных;

- итеративность процесса приближения к необходимому результату.

- интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) – информационная и организационная поддержка послепроизводственных стадий жизненного цикла изделий, таких как закупка и поставка изделий, ввод их в действие, эксплуатация, сервисное обслуживание и ремонт, поставка запасных частей и т. д. Реализация ИЛП должна осуществляться на всех стадиях ЖЦИ.

2. МОДЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В КОНТЕКСТЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

Прежде чем рассматривать более подробно эти этапы, будет уместно привести здесь укрупненную модель абстрактного предприятия (рис. 2.1) и рассматривать эти этапы в контексте функциональной, организационной и информационной структуры промышленного предприятия.



Рис. 2.1. Укрупненная модель абстрактного предприятия

2.1. Жизненный цикл изделия

Выше было дано определение ЖЦИ как совокупности этапов, через которые проходит изделие за время своего существования: маркетинговые исследования, составление технического задания, проектирование, технологическая подготовка производства, изготовление, поставка, эксплуатация, утилизация (рис. 2.1). Однако следует отметить, что в западной культуре производства этапы жизненного цикла изделия выглядят несколько иначе (рис. 2.2)



Рис. 2.2. Концептуальная схема ЖЦИ

2.1.1. Маркетинг

Итак, в качестве первого этапа жизненного цикла выступают маркетинговые исследования. В модели предприятия (рис. 2.1) они представлены самостоятельным блоком, содержание которого раскрывается на рис. 2.3.

Маркетинг обеспечивает первичный контакт предприятия со своими заказчиками и целый ряд функций по достижению ключевых

целей предприятия в увеличении уровня продаж своей продукции. Эти функции включают:

- исследование рынка;
- прогнозирование потребностей и продаж;
- анализ продаж;
- отслеживание готовности продукции;
- обеспечение рекламных компаний;
- информационная поддержка дилеров;
- разработка и управление каналами сбыта продукции;
- контроль доходов и прибыли;
- планирование продаж и содействие им.

Исходная информация для обеспечения перечисленных функций поступает из *служб управления предприятием* и от *заказчиков* и включает данные о заказах и данные прогнозирования из отдела маркетинга или непосредственно от клиентов, а также предварительную оценку возможностей производства из отдела производственного планирования.

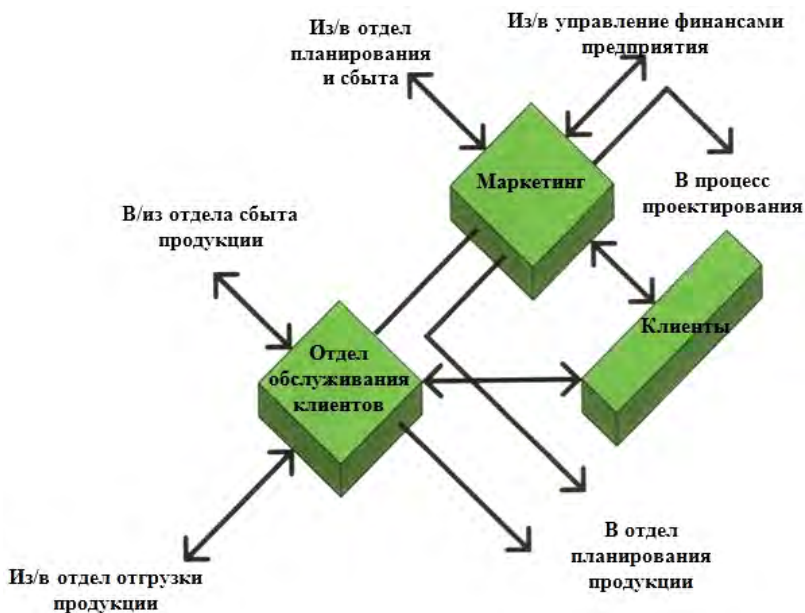


Рис. 2.3. Поток работ в сфере маркетинга

Выходная информация может включать распределение заказов, расценки для индивидуальных заказов, согласование индивидуальных заказов со службами технической подготовки производства. Выходная информация передается заказчикам, в конструкторские службы, отдел обслуживания заказчиков и головной отдел планирования выпуска продукции. Отдел обслуживания клиентов обеспечивает прием, сопровождение и отгрузку заказов клиентов. Это могут быть заказы на стандартную продукцию или индивидуальные заказы. В деятельность этого отдела также входит определение расценок на продукцию, проверка кредитоспособности клиентов, калькуляция цен, распределение заказов и определение транспортных потребностей.

В процессах маркетинга CALS-технологии способствуют исполнению обязательств предприятия перед своими заказчиками, обеспечивая электронный прием заказов, ускорение ответов на запросы заказчиков и внесение изменений в заказы и, тем самым, более точное формирование портфеля договоров, заказов и др.

Следует напомнить, что в предыдущем разделе при определении функций программно-технических решений функция ведения портфеля заказов была отнесена к области систем **ERP/MRP II**.

Ключевой проблемой реализации этого этапа ЖЦИ в контексте CALS-технологий является проблема организации информационного взаимодействия между клиентами и предприятием с одной стороны и между большим числом служб предприятия различной функциональности – с другой.

2.1.2. Техническое задание

Вторым этапом ЖЦИ является разработка технического задания. Существующая практика проектирования в машиностроении и ГОСТ 2.103–68 выделяют следующие этапы создания образа проектируемого изделия:

- техническое задание;
- техническое предложение;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочий проект.

Выделение в терминологическом словаре [1] технического задания в самостоятельный этап ЖЦИ обосновывается, по-видимому, тем, что оно утверждается заказчиком, хотя этот комплекс работ выполняется в тесном сотрудничестве с исполнителем. На рис. 2.1 этот этап изображен символически как «идея».

Техническое задание на разработку проекта изделия освещает следующий комплекс вопросов:

- цель создания изделия (механизация новых или существующих производственных процессов или операций, замена морально устаревших изделий и т. д.);
- параметры, режимы и условия работы изделия, увязку параметров с типажом;
- данные об экспериментальных работах, сравнительную оценку технического уровня изделия;
- указания по принципиальному устройству изделия и принципам его действия;
 - степень механизации и автоматизации изделия;
 - особые условия его эксплуатации;
 - перечень совместно используемых изделий;
 - сроки выполнения проекта;
 - серийность выпуска;
 - указания об изготовителе;
 - технические требования к машине и проекту.

Ключевой проблемой реализации этого этапа ЖЦИ в контексте CALS-технологий является проблема организации информационного взаимодействия между заказчиком, службами маркетинга и организационной структурой, выполняющей собственно процесс проектирования.

2.1.3. Проектирование изделий

На рис. 2.2 этот этап представлен четырьмя позициями: «концепция», «планирование кооперации и сотрудничества», «разработка» и «выпуск документации». На рис. 2.1, изображающем модель предприятия, описываемый этап входит в блок «техническая подготовка и исследование», содержание которого представлено рис. 2.4.



Рис. 2.4. Поток работ в сфере технической подготовки производства

Таким образом, блок «исследования» на рис. 2.4 содержит в себе комплексы вспомогательных и обслуживающих работ. Результаты этих работ передаются в блок собственно проектирования изделий.

Что меняется в традиционном конструировании изделий с приходом в него CALS-технологий? Сегодня именно эта сфера деятельности в наибольшей степени испытывает на себе влияние современных информационных технологий в форме использования CAD/CAE/CAM/PDM-систем, о которых уже упоминалось в предыдущем разделе.

Прежде всего, следует обратить внимание на то, что системы трехмерного твердотельного и поверхностного моделирования, применяемые большинством CAD-систем, радикально изменяют технику выполнения процессов проектирования (рис. 2.5), а параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Также следует обратить внимание, что чертежи получают на основе предварительно созданных 3D-моделей сборочных единиц. Работа с такими системами, помимо знания предметной области, требует также *знаний и умений*, владения инструментарием, в качестве которого выступает не кульман и карандаш с резинкой, а весьма сложные многофункциональные про-

граммные комплексы, основанные на самых современных информационных технологиях. *Методики проектирования в среде CAD сегодня не достаточно отражены в учебных планах и программах по машиностроительному черчению и другим общетехническим и специальным дисциплинам, относящимся к инженерному проектированию.*

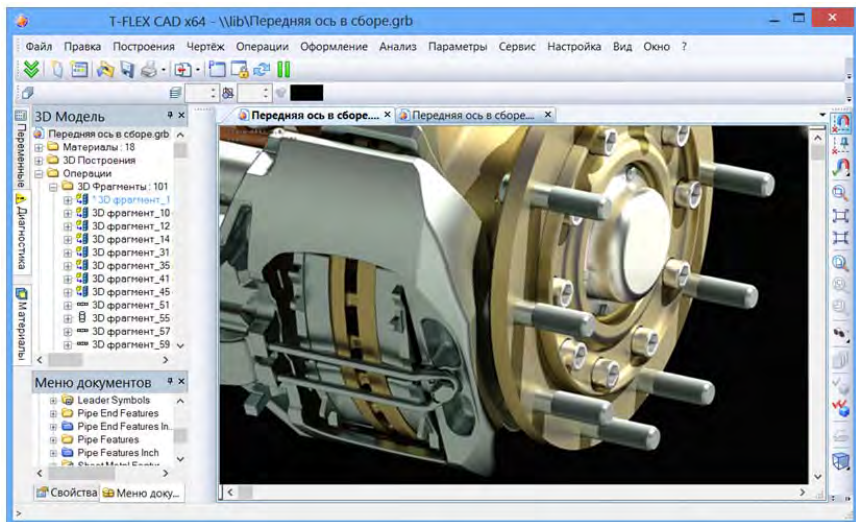


Рис. 2.5. Пример 3D-моделирования в T-FLEX CAD

Вторым важным фактором, изменяющем «правила игры на поле конструирования изделий», является стандартизация на международном уровне представления информации о продукте. Стандарт ISO/IEC 10303 Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) – один из первых в семействе специализированных CALS-стандартов – является характерным примером информационного стандарта нового поколения, по образу и подобию которого строятся последующие CALS-стандарты. В соответствии с названием стандарта STEP определяет «нейтральный» формат представления данных об изделии в виде информационной модели. Данные об изделии включают в себя:

- состав и конфигурацию изделия;
- геометрические модели разных типов;
- административные данные;
- специальные данные.

Любая продукция включает в себя комплектующие изделия, получаемые от поставщиков. Одновременно одни и те же комплектующие могут входить в разную продукцию, поэтому существует потребность в средствах их самостоятельного информационного описания. ISO 13584 Parts Library – это серия международных стандартов для представления и обмена доступными для компьютерной интерпретации данными о поставляемых компонентах и комплектующих изделиях (узлах, деталях). Стандарт ISO 13584 PLIB включает семь разделов:

- концептуальная модель библиотеки деталей;
- интегрированные ресурсы;
- логическая модель библиотеки поставщика;
- программный интерфейс к данным;
- данные о поставщике;
- методология структуризации классов (семейств) деталей.

В стандарте ISO 13584 PLIB регламентируются:

- средства описания и технология представления информации о компонентах и комплектующих;
- технология обработки данных, в том числе хранения, передачи, доступа, изменения и архивирования;
- стандартные детали, определенные международными или национальными стандартами, например: крепежные детали, уплотнения, подшипники;
- библиотеки (базы) данных о деталях конкретного поставщика.

В отличие от стандарта ISO 10303 STEP, предназначенного для описания конкретного экземпляра продукции, стандарт ISO 13584 PLIB позволяет описывать классы продукции (компонентов и комплектующих).

Следствием появления стандартов ISO 10303 STEP и ISO 13584 PLIB являются изменения стандартов ЕСКД в части регламентации безбумажного представления и обмена данными. Поскольку все процессы информационного обмена в соответствии с принципами CALS имеют своей конечной целью максимально возможное исключение из деловой практики традиционных бумажных документов и переход к прямому безбумажному обмену данными, тем не менее, на переходном периоде нужно обеспечить сосуществование и совместное использование как бумажной, так и электронной форм представления информации. Новые формы представления кон-

структурной информации представлены на рис. 2.6, а определения применяемых на рис. 2.6 терминов приводятся в табл. 2.1.

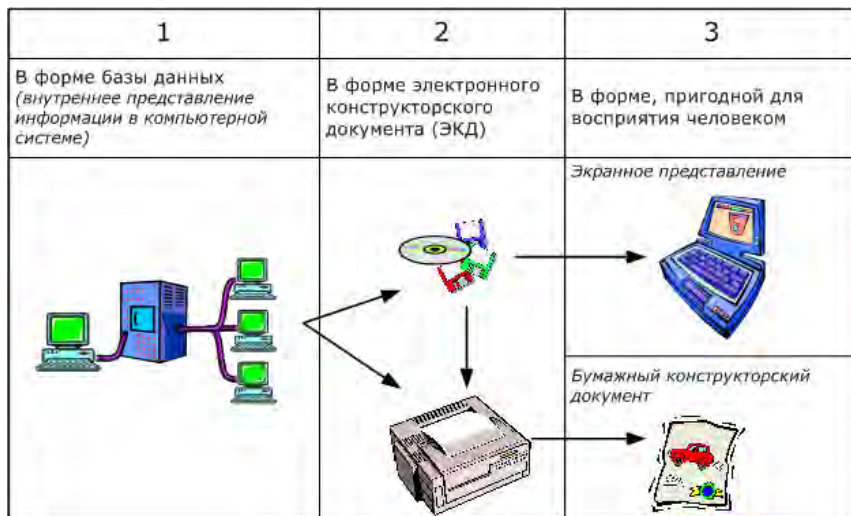


Рис. 2.6 Новые формы представления конструкторской информации

Таблица 2.1

Термин	Определение
База Данных об изделии	Хранилище информации, требуемой для выпуска конструкторской документации, необходимой на всех стадиях жизненного цикла изделия [Р50.1.031–2001]
Электронный конструкторский документ (ЭКД)	Структурированный набор данных, необходимых для разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта, снабженный заголовком и подписанный электронно-цифровой подписью (ЭЦП)
Экранное представление данных	Отображение конструкторской информации на экране компьютера в форме, воспринимаемой человеком
Бумажный конструкторский документ	Графический и (или) текстовый документ, содержащий данные, необходимые для разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта [ГОСТ 2.102–93]

Третий фактор, меняющий правила традиционного конструирования – это наличие мощных CAE-систем (систем инженерного анализа) как в форме отдельных программных продуктов, так и в форме встроенных в CAD-системы модулей. Предоставляемая этими пакетами возможность проведения сложнейших расчетов непосредственно в процессе конструирования (рис. 2.7) и возможность, например, визуальной оценки интенсивности напряжений в критических зонах еще в большей степени меняют технологию выполнения конструкторских работ, требуют от конструктора не только традиционных знаний, но и умения управлять такими пакетами и оперативно привлекать, при необходимости, специалистов-консультантов.

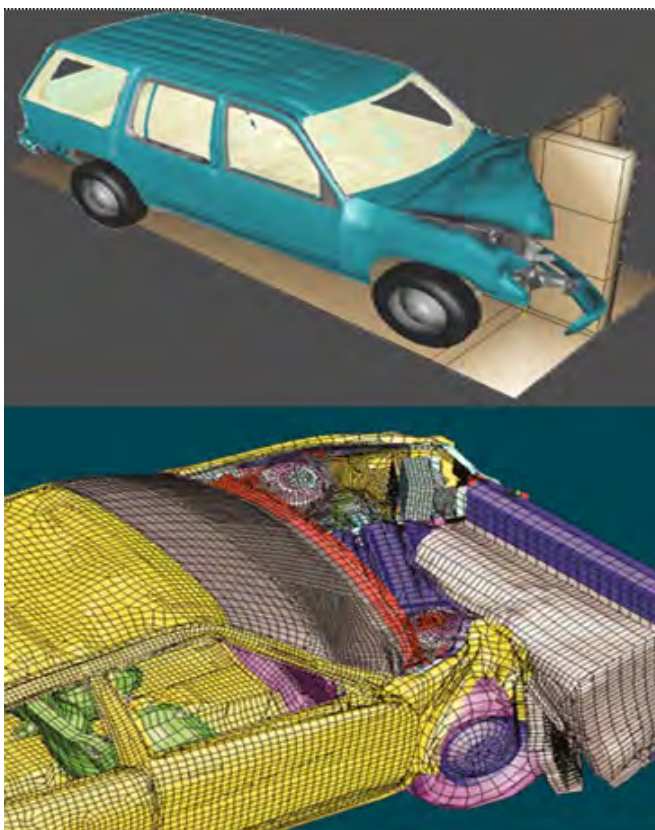


Рис. 2.7. Иллюстрация некоторых возможностей программного продукта LS-Dyna

И, наконец, четвертый фактор – это появление реальной возможности управления всем объемом разнородных данных, которые порождаются, хранятся и используются в различных существующих на предприятии информационных системах, связанных с информационной поддержкой продукции в течение ее жизненного цикла посредством внедрения компьютерной интегрированной системы для управления данными о машиностроительном изделии (PDM – Product Data Management) (рис. 2.8).

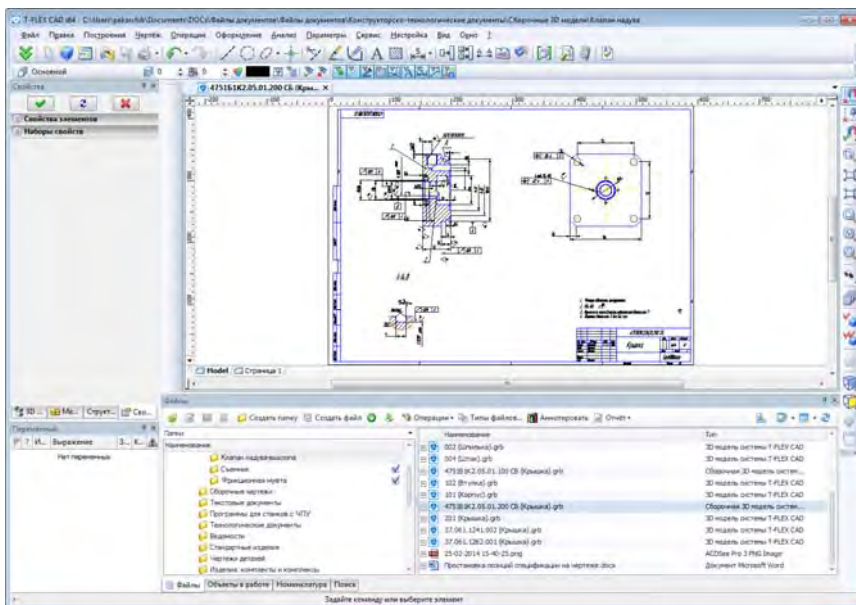


Рис. 2.8. Пример рабочего места конструктора со встроенным окном состава изделия из PDM-системы

Можно указать на ряд проблем реализации этапа ЖЦИ «Конструирование изделия» в контексте CALS-технологий:

- длительный этап параллельного существования традиционных форм выполнения проектных работ, а также хранения и передачи данных в форме бумажных документов и выполнения проектных работ посредством CAD/CAE/PDM-систем;
- высокая трудоемкость начального создания интегрированной базы данных PDM/PLM-системы;

- интеграция программных продуктов от разных производителей в единую среду проектирования;
- проблема подготовки квалифицированных кадров для выполнения проектных работ в среде CAD/CAE/PDM-систем, наладки и администрирования таких систем.

2.2. Технологическая подготовка производства

Технологическая подготовка производства (ТПП) – это совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах. На рис. 2.1 этот этап входит в блок «Техническая подготовка и исследования», а на рис. 2.9 он представлен четырьмя блоками: проектирование технологических процессов, проектирование оборудования и оснастки, выходной контроль документации и управление проектированием.

Технологическое проектирование представляет собой организационно-техническую подсистему в составе технологической подготовки производства, функционирование которой направлено на подготовку и выпуск технологической документации, а также проведение в ней изменений (рис. 2.9).

Что меняется в традиционном технологическом проектировании с приходом в него CALS-технологий?

Сегодня эта сфера деятельности в значительной степени подготовлена к использованию современных информационных технологий в форме использования САМ/PDM-систем, о которых уже упоминалось в предыдущих разделах. Рынок программных продуктов по технологическому проектированию представлен двумя классами систем: «тяжелыми» CAD/CAM-системами Unigraphics [2], CATIA, ProEngineer и системами среднего класса от российских и белорусских производителей.

САМ-функциональность «тяжелых» САД-систем обеспечивается большим числом дополнительных подключаемых модулей технологического проектирования и программирования обработки на станках с ЧПУ.

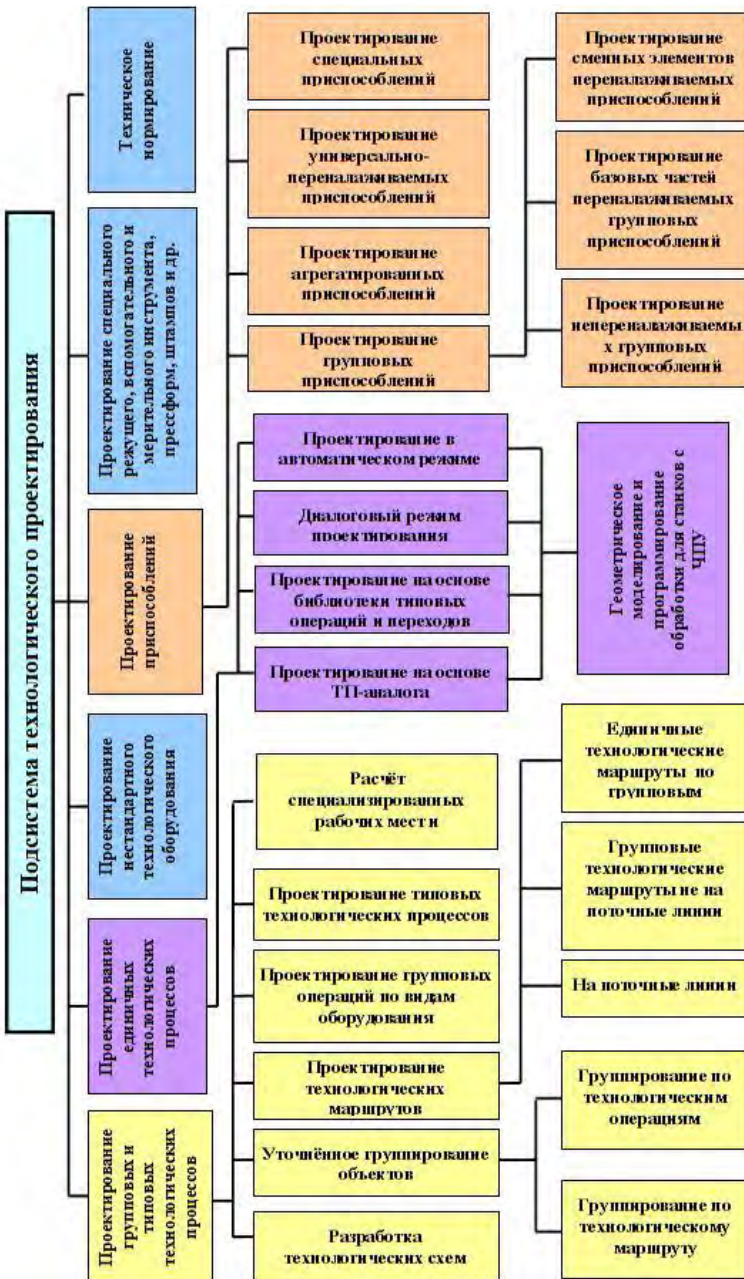


Рис. 2.9. Схема технологического проектирования

Рассмотрим кратко системы технологического проектирования среднего класса. Так, система технологического проектирования ВЕРТИКАЛЬ предназначена для решения широкого спектра задач технологической подготовки производства: автоматизированного проектирования технологических процессов, расчета оптимального количества материалов для производства изделия, расчета режимов обработки для различных видов производств, расчета оптимальных затрат труда, формирования необходимого комплекта технологических документов. Технологическая информация передается из программного комплекса в различные системы планирования и управления ресурсами MRP/ERP, а также в систему PDM.

Система технологического проектирования T-FLEX Технология (Россия) занимает ту же нишу, что и ВЕРТИКАЛЬ и имеет похожую функциональность:

- разработка технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, создание маршрутных, маршрутно-операционных и операционных технологических процессов;
- создание технологических документов для любых технологических переделов в полном соответствии с ЕСТД;
- организация коллективной работы с конструкторско-технологической, нормативно-справочной и прочей информацией;
- ведение всех необходимых технологических справочников;
- составление технологического процесса из прототипов, создание библиотек прототипов технологических процессов и их фрагментов;
- поиск любой технологической информации, подбор техпроцессов и оснащения по заданным условиям;
- расчет временных и материальных нормативов;
- защита технологической информации и разграничение прав доступа к ней;
- контроль готовности технологических процессов, автоматизированное согласование и утверждение;
- обеспечение интеграции с PDM-системами, как своими, так и с PDM, используемыми заказчиком.

Поддерживаются различные методы проектирования:

- диалоговое проектирование с использованием баз технологических данных;
- проектирование на основе техпроцесса-аналога;

- заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий;
- проектирование с использованием библиотеки технологических решений;
- проектирование групповых и типовых технологических процессов;
- проектирование общих технологических процессов;
- автоматическое проектирование с использованием библиотеки технологических решений.

Информационная база упомянутых систем содержит каталоги всех составляющих технологических процессов: наименования операций, оборудование, приспособления, вспомогательные материалы, тексты переходов, режущие, измерительные, вспомогательные инструменты, заготовки, комплектующие для сборочных технологических процессов.

Широкое распространение в России и широкую известность в Беларуси получила система геометрического моделирования и программирования обработки для станков с ЧПУ Гемма от НТЦ Гемма (Россия).

Нельзя не отметить систему технологического проектирования TechCard от «Intermech» (Беларусь) [12], имеющую тесную интеграцию с Autocad.

Особое место занимает набор программных продуктов для объемной механообработки от английской фирмы DELCAM, который ориентирован в первую очередь на подготовку инструментального производства.

Три остальных блока, представленные на рис. 2.2, мы не будем рассматривать подробно, поскольку:

- задачи конструирования оборудования и оснастки относятся к области конструирования изделий, только в области вспомогательного производства;
- задачи выходного контроля документации в значительной мере берут на себя PDM-системы, функциональность которых рассматривалась в предыдущих разделах;
- задачи управления проектированием решаются посредством модуля WorkFlow в составе PDM-систем, рассмотреть который в рамках данного пособия не представляется возможным.

Таким образом, в технической подготовке производства CALS-технологии способствуют ускорению проектирования, обеспечивая прототипирование и испытания, ускоряют доступ к текущей и архивной информации об изделии и освобождают от бумажной технологии в процессах конструирования, технологического проектирования и процессах внесения изменений. Здесь также выполняются и все работы по анализу логистической поддержки.

Однако можно видеть, что из далеко не полного перечисления имеющихся на рынке программных продуктов для обеспечения технологического проектирования следует ряд проблем при внедрении CALS-технологий в этой сфере:

- интегрированные «тяжелые» CAD/CAM-системы очень дороги для оснащения ими всего числа потребных рабочих мест технологов-проектировщиков, и, кроме того, они в очень большой степени ориентированы на использование станков с ЧПУ и западную технологическую культуру;
- системы технологического проектирования ВЕРТИКАЛЬ, T-FLEX Технология [18], TechCard [12] хотя и ориентированы на условия наших предприятий, не обеспечивают решения всех возникающих задач, в определенной степени привязаны к «родным» CAD-системам и требуют адаптации к условиям конкретного предприятия в части применяемых технологических решений;
- при любом выборе программно-технических решений в сфере технологического проектирования формируется неоднородная информационная среда, содержащая процессы традиционного и автоматизированного проектирования с использованием программных продуктов от различных производителей.

Отсюда следует необходимость решения задачи интеграции различных программных продуктов в общую подсистему технической подготовки производства для реализации основных принципов CALS-технологий.

2.3. Изготовление

Следующим этапом ЖЦИ является «Изготовление». В модели предприятия (рис. 2.1) этот этап представлен двумя блоками: производственное планирование и производство изделий и услуг, поскольку

в реальном предприятии эти функции выполняются разными структурными подразделениями, работающими в тесном взаимодействии.

Процесс планирования продукции (рис. 2.10) состоит из пяти функциональных областей (бизнес-процессов):

1. Головной отдел планирования производства. В нем сосредотачивается (объединяется) прогнозируемая информация от предполагаемых заказчиков, центров распределения (продажи) продукции и от многочисленных заводов с целью предугадать запросы и потребности продукции предприятия. Выходная информация представляет собой расписанные по времени (календарные) требования, направляемые в сферу материального планирования, а также календарный план сборки конечной продукции.

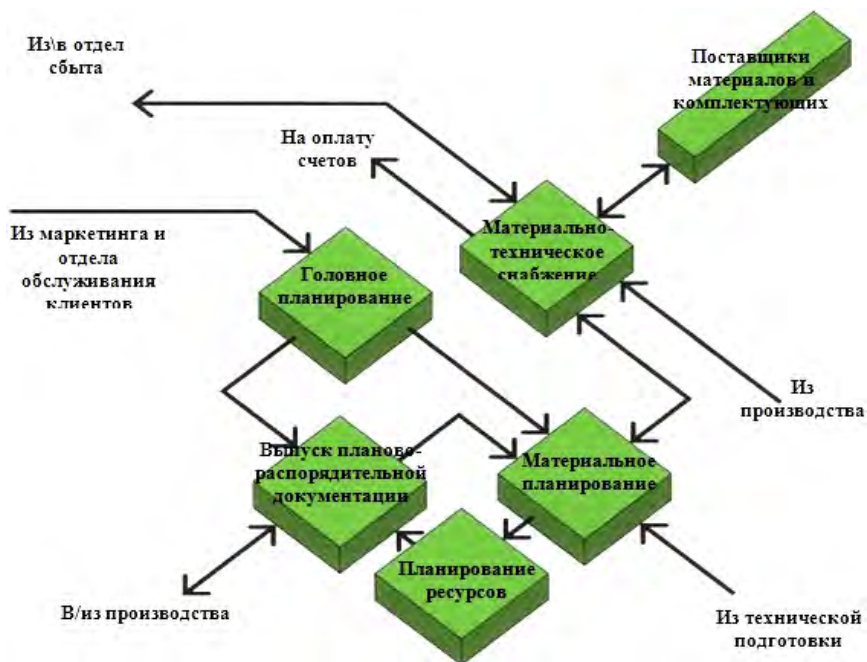


Рис. 2.10. Поток работ в сфере планирования

2. Материальное и календарное планирование. Эти две области требуют своевременной и достоверной информации: о календарных потребностях в ресурсах, об обязательствах по выпуску

продукции, о состоянии материально-производственных запасов, об отходах, о действительных версиях технологических приемов (методов), дефицитах, поломках оборудования – все это для того, чтобы поддерживать планирование в точном соответствии с текущими потребностями производства.

3. Материально-техническое снабжение включает выбор поставщиков и управление закупками реквизитов и покупных комплектов изделий и материалов. Входную информацию составляют материальные требования, поступающие от материального планирования, а также оперативные запросы основного производства. Дополнительную входную информацию составляют товаро-транспортные накладные, счета-фактуры, счета за провоз. Выходная информация включает контракты, календарные графики, чертежи, заказы на поставку, уведомления, требования к расценкам, оплату поставщикам, а также технические требования к деталям и технологическим процессам. С целью упрощения обмена выходной информацией, а также концепцией своевременного получения информации многие предприятия делают ставку на электронный обмен данными с поставщиками – *непосредственное требование CALS-технологий*.

4. Выпуск плано-распорядительной документации. Эта функциональная область варьируется в зависимости от специфики (типа) производства. Например, для производств с непрерывным характером технологических процессов результатом деятельности служат приемы оптимизации загрузки мощностей, технические условия и порядок обслуживания оборудования. Для производств с дискретным характером результатом деятельности этой функциональной области является формирование рабочей документации в электронном и/или бумажном вариантах, содержащей извещения о конструкторских и технологических изменениях, деталях и сборочных единицах, результатах контрольных испытаний и технических условиях, порядке текущего обслуживания производства, контрольных числах, штрих-кодах и других идентификационных документах. Входной информацией для рассматриваемой функциональной области служит детальный производственный план выпуска продукции, приходящий из сферы планирования материальных ресурсов и головного планирования. Выходом служат календарные графики, технология и рабочая документация для непосредственного использования в производстве.

Рис. 2.10 убедительно демонстрирует целесообразность реализации принципов CALS-технологий в данной сфере для рациональной информационной интеграции всех ее участников, как людей, так и программных продуктов.

5. Производство изделий и услуг (рис. 2.11) описывается в терминах девяти основных функций.

Управление производством – набор функций, обеспечивающий оперативное календарное планирование для цехов посредством установления очередности выполнения всех операций как персоналом, так и оборудованием. Ряд функций обеспечивает также оперативное выполнение запросов по доставке производству материалов и инструмента.

Получение материалов – набор функций, осуществляющих получение и распределение оборудования и материалов, поступающих от внешних поставщиков и из других источников внутри предприятия. Входную информацию для этой функциональной области составляют акты о приемке поступивших материалов и уведомления о заказах на поставку материалов и комплектующих.

Выходом является учет поступающих материалов с оформлением соответствующей документации и последующая маршрутизация по назначению. Данные передаются также в бухгалтерию, отдел снабжения и управление производством. Управление производством может также перенаправлять материалы, основываясь на более срочных нуждах.

Склад – это управление запасами с обеспечением доступа к ним от рабочих мест. Запасы включают готовые изделия, сырые материалы, детали, детали незавершенного производства, а также непроизводственные материалы и оборудование. Функции хранения включают подготовку идентификаторов и этикеток (бирок), управление местами хранения, обслуживание запросов, подбор и комплектацию материалов, проведение плановых инвентаризаций. Входом для данной функциональной области являются комплекты необходимых материалов согласно оперативному календарному плану. Выходом служат акты о приемке и платежные поручения, направляемые в управление производством и бухгалтерию.



Рис. 2.11. Структура процессов в сфере производства

Производственный процесс. Функции производственного процесса содержат управление самим производственным процессом, обработку материалов, изготовление деталей, отбраковку и дополнительную обработку, сборку конечной продукции и упаковку для отгрузки. Информация, циркулирующая внутри производственного процесса и подлежащая управлению, может быть представлена в форме аналоговых и цифровых данных, текста, графических и геометрических моделей, прикладных программ. Обработка этих данных может выполняться и в режиме реального времени. Входом в эту функциональную область служат комплекты технологической документации и инструкций, календарные планы, а также программы для оборудования с ЧПУ. Выход представляет собой требования на материалы и инструменты, на обслуживание оборудования, на

перемещение (транспортировку) материалов, отчеты о выпуске продукции для управления производством, производственные отчеты и отчеты по использованию рабочей силы для расчета себестоимости зарплаты, а также статистические отчеты для управления производством и технологических служб.

Контроль качества. Проверка соответствия всех позиций техническим требованиям – главное содержание этой функции. Она включает анализ и быстрое принятие решений с целью уменьшения брака и стоимости дополнительных работ. Требования к контролю качества и технические требования поступают из служб технической подготовки производства. Основную выходную информацию составляют результаты входного контроля исходных материалов и комплектующих для службы снабжения, а также результаты текущего контроля на стадии производства, передаваемые в производственные службы и управление производством. Отчет о результатах контроля поступает в службы расчета себестоимости. Бракованные детали и места обнаружения брака передаются в службу транспортировки материалов и деталей.

Служба транспортировки. Эта служба обеспечивает транспортировку материалов, инструмента, деталей и изделий между цехами, участками и рабочими местами. Транспортные функции могут быть неавтоматизированными, автоматизированными и автоматическими. Входной информацией могут служить требования в традиционной форме, либо они могут или генерироваться системой. Выход составляют уведомления о выполненных операциях, передаваемые в службу управления производством.

Отгрузка продукции. В этой службе выполняются операции по отгрузке (доставке) продукции заказчикам, дистрибьюторам, на товарные склады и другие заводы. Среди этих операций следует выделить средства отгрузки и доставки, подготовку сопроводительной документации и т. п. Первичная входная информация поступает из отдела обслуживания клиентов и содержит номенклатуру продукции, способ и дату отгрузки. Выходную информацию составляют уведомления в отдел обслуживания заказчиков о произведенной отгрузке, выдача товаротранспортных накладных, счетов к получению.

Производственное обслуживание включает функции, гарантирующие надлежащее состояние оборудования и оснастки. Обслуживание делят на категории: текущее обслуживание, срочное (чрез-

вычайное), профилактическое и контрольное. Ряд передовых предприятий внедряет средства диагностики на основе экспертных систем, позволяющих упростить оборудование. Входная информация или запросы на обслуживание могут поступать от персонала, из планов проведения профилактики и контроля, а также специализированных служб мониторинга. Выходная информация включает требования на закупку необходимых для проведения обслуживания материалов, графики обслуживания для учета в службах управления производством, заказы на оснастку в отдел проектирования спецоснастки и, наконец, стоимость работ по обслуживанию для отдела расчета себестоимости продукции.

Вспомогательные службы являются последней функциональной областью в производственном процессе. Они обеспечивают энергетическое обслуживание, охрану, охрану окружающей среды, обслуживание компьютерного и сетевого оборудования.

2.4. Поставка

Поставка является заключительным этапом ЖЦИ, относящимся к структуре промышленного предприятия. На рис. 2.1 она представлена блоком «Реализация продукции и услуг», содержание которого приводится на рис. 2.12. В этой сфере деятельности можно выделить две функциональные области:

- службу планирования реализации продукции, обеспечивающую планирование и управление внешними потоками деталей и изделий на склады, центры распределения, другие производственные места и торговые точки. Эта служба также может иметь функции распределения заказов, планирования окончательных отделочных операций (упаковку) и график транспортных операций. Некоторые типы производств требуют другого набора основных функций, относящихся к логистической поддержке, т. е. обеспечения запасными частями, эксплуатационной и технической документацией;

- службу распределения продукции. Эта служба принимает, обеспечивает временное хранение и последующую отправку продукции в распределительные центры или склады.

В соответствии с поступившей оплатой продукция отгружается заказчикам или дилерам. Дополнительные функции могут включать составление графика перевозок и выдачу заказов на перевозки, прием

возвратной продукции, гарантийное обслуживание и ремонт. Входная информация поступает с места отгрузки, службы снабжения, службы планирования реализации продукции и от службы работы с клиентами. Выходом служат подтверждения, направляемые на отгрузочную площадку и в службу снабжения, а также данные для обновления базы данных, направленные в службу планирования реализации и службу работы с клиентами.



Рис. 2.12. Поток работ в службе реализации продукции

3. КЛЮЧЕВЫЕ ОБРАЗУЮЩИЕ БЛОКИ ЕИПП

Из приведенного поверхностного обзора потоков работ и взаимного обмена информацией всех участников ЖЦИ в структуре предприятия можно сделать вывод о нетривиальности задачи реализации принципов CALS-технологий на промышленном предприятии.

Системные конфигурации и технологии информационной среды промышленного предприятия подвергаются частым изменениям, что требует и соответствующей архитектуры образующих ЕИПП средств. Гибкость структуры должна обеспечиваться модульным принципом построения, который позволяет информационным системам легче приспосабливаться к изменяющимся потребностям предприятия.

Структуру ЕИПП составляют три ключевых образующих блока:

- система информационных коммуникаций или корпоративная сеть;
- управление данными – определение, хранение и использование данных;
- предоставление данных (информации) конечным пользователям и устройствам в масштабе всего предприятия.

Посредством этих образующих блоков архитектуры ЕИПП может быть обеспечено *последовательное* объединение данных о процессах, изделиях и коммерческой деятельности, что позволит определить структуру технического и программного обеспечения, а также служб, обеспечивающих поддержку составляющих ЕИПП средств. При этом следует решить одну из главных проблем – *создание возможности использования одних и тех же данных людьми, устройствами и программами по всему предприятию.*

3.1. Система информационных коммуникаций

Корпоративная сеть обеспечивает доставку данных персоналу, системам и устройствам и является основополагающим компонентом архитектуры ЕИПП. Это объясняется тем, что на реальном промышленном предприятии присутствует широкий спектр компьютерных систем, технологий, системных архитектур, операционных систем и прикладных программ.

Особенность сетевых коммуникаций промышленного предприятия состоит в широком диапазоне передаваемых данных – от больших блоков, представляющих трехмерные геометрические модели изделий до разовых битовых сообщений от устройств с цифровым управлением. В этих условиях чрезвычайно трудно обеспечить взаимодействие людей и устройств, особенно когда они используют разные протоколы и форматы данных. На решение этой проблемы сегодня направлены усилия различных консорциумов, отдельные решения и стандарты. Здесь уместно упомянуть сетевой протокол TCP/IP, интернет-протоколы FTP и HTTP, технологии XML и технологии WEB-служб.

Следует обратить внимание на необходимость обеспечения доступа в ЕИПП со стороны внешних пользователей: заказчиков, поставщиков, субподрядчиков, дилеров, а также сервисных, ремонтных и эксплуатационных служб, обеспечивающих послепродажное сопровождение продукции.

3.2. Управление данными

Вторым образующим блоком архитектуры ЕИПП является управление данными (рис. 3.1). Сюда входят способы определения данных, связь различных элементов данных между собой, их место хранения и права доступа. Управление данными особенно важно для сегодняшних промышленных условий, поскольку имеется очень много различных баз данных, форматов, методик хранения и доступа.

Появляются новые стандарты и платформы для создания распределенных информационных систем. От языка SQL (Structured Query Language) – структурного языка запросов, обеспечивающего доступ и управление реляционными базами данных с помощью технологии ODBC (Open Database Connectivity), последующей технологии OLE DB и затем платформы Microsoft.Net и технологии (платформы) J2EE от Sun Microsystems до Веб-служб, реализуемых посредством протоколов XML и SOAP. Описанию этих технологий следует отвести отдельные статьи.

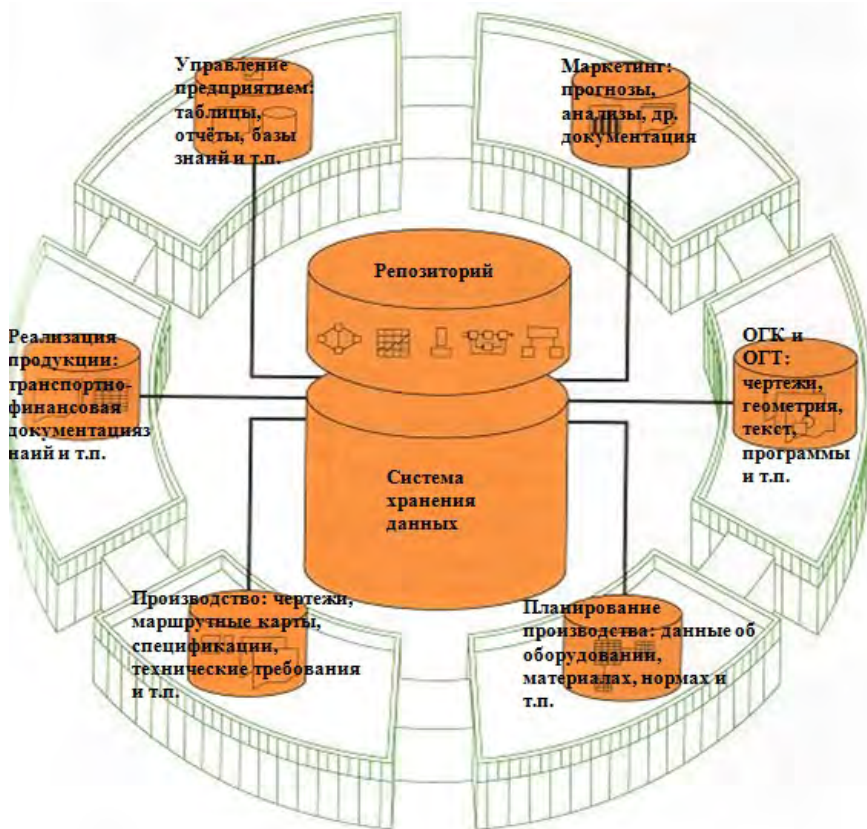


Рис. 3.1. Упрощенная схема управления данными

Именно это многообразие стандартов и платформ требует для создания ЕИПП системы управления данными *специальной архитектуры*, посредством которой определяются и заносятся в репозиторий все источники и потребители данных – деловые процессы (функции) предприятия.

Управление данными также включает предоставление пользователям возможности получать необходимые данные, не зная о том, где эти данные находятся. В системе управления данными хранятся и определяются все взаимосвязи между блоками данных, которые подлежат совместному использованию.

Здесь следует заметить, что решение задачи управления данными в масштабе предприятия посредством их глобальной интеграции в одной корпоративной базе данных, например, посредством самой мощной СУБД Oracle, является утопией.

Управление данными в архитектуре ЕИПП может осуществляться посредством трех составляющих:

- репозитория. Репозиторий «знает» местоположение данных, зависимости между элементами данных и представления (выборки), используемые пользователями и в приложениях. Создание модели предприятия посредством создания моделей процессов и данных позволяет увидеть в деталях, как отдельные процессы взаимодействуют друг с другом. Одним из результатов такого моделирования является возможность создания точного определения данных и отношений между элементами данных;

- системы хранения. В корпоративной базе данных хранятся только данные, используемые совместно несколькими приложениями или пользователями регулярно. Данные, используемые лишь в одном приложении или редко используемые несколькими приложениями, остаются в месте их создания, однако находятся под централизованным контролем доступа;

- локальных файлов данных. Локальные файлы с разделяемыми данными должны управляться файловыми серверами, обеспечивающими авторизованный доступ к этим файлам.

3.3. Предоставление данных в условиях ЕИПП

Предоставление данных в условиях ЕИПП означает обеспечение необходимой информацией всех участников производственных процессов и получение данных как от них, так и от устройств. Поскольку на современных промышленных предприятиях информационные потребности представлены широким спектром, то следует выбрать непротиворечивый способ распределения и предоставления информации как персоналу, работающему за терминалами и рабочими станциями, так и различного рода устройствам с микропроцессорным управлением. Диапазон этой информации охватывает все от простых сообщений между людьми до больших блоков данных, представляющих трехмерные модели изделий. Кроме того, следует иметь в виду, что информация может передаваться из одной сферы предприятия в

совершенно другую как на непрограммируемые терминалы, так и на компьютеры и рабочие станции с разным программным обеспечением и разными техническими характеристиками (возможностями).

Например, в документах службы планирования производства некоторая деталь может быть представлена только своим обозначением, в службе ОГК эта деталь должна быть представлена и электронным чертежом, и трехмерной моделью, и, наверное, чертежом на бумажном носителе, а в сфере производства к этому добавятся программы для станков с ЧПУ. Отсюда следует необходимость либо всеобъемлющей стандартизации, что обычно не достижимо, либо использования наряду со стандартизацией большого числа программ-конвертеров, преобразующих данные к форматам и целям получателей этих данных.

3.4. Требования к интеграции ключевых блоков ЕИПП

Система коммуникации, управление данными, предоставление данных имеют собственные технические требования и ограничения, для которых должен быть найден компромисс в процессе объединения их в ЕИПП. Кроме того, архитектура ЕИПП сама по себе предъявляет к составляющим компонентам собственные требования, в частности:

- должны использоваться стандартные компьютерные платформы;
- должна быть обеспечена возможность интеграции данных;
- должна быть обеспечена защита базовых инвестиций в создание ЕИПП;
- должна быть обеспечена возможность работы в гетерогенной информационной среде, т. е. возможность работы с различными системами;
- следует использовать индустриальные стандарты и открытые интерфейсы;
- необходимо уменьшить стоимость сопровождения приложений (стоимость владения);
- необходимо обеспечить адаптируемость решений;
- должна быть обеспечена возможность постепенного ввода систем в эксплуатацию;
- деловые процессы не должны усложняться из-за внедрения информационных систем.

Рассмотрим эти требования более подробно.

Использование стандартных компьютерных платформ – первый шаг на пути создания ЕИПП. Существует много доступных программных продуктов, созданных на базе стандартных платформ: процессоров, операционных систем, систем управления базами данных и систем предоставления данных.

Интеграция данных часто осуществляется посредством мостов. Мост обычно копирует совокупность данных, созданных в одном приложении, преобразует их к требуемому формату и передает другому приложению. Например, мост между приложениями, используемыми в ОГК с одной стороны, и приложениями, применяемыми в службе планирования производства, с другой стороны, позволяет коллективно использовать справочник материалов. Однако применение мостов порождает как минимум две проблемы. Первая проблема связана с устареванием данных, поскольку изменение данных в источнике не приведет автоматически к изменениям связанных данных в приемнике. Эта проблема может быть решена основе репликации данных – технологии, поддерживаемой большинством СУБД. Однако это достаточно неординарная технология. Вторая проблема заключается в резком усложнении структуры программного обеспечения с увеличением числа взаимодействующих приложений и, следовательно, увеличением числа мостов.

Защита базовых инвестиций. Способом решения этой проблемы может быть организация взаимодействия на основе централизованной модели, *означающей, что каждый разделяемый элемент данных существует в единственном экземпляре в месте его создания определенным деловым процессом.*

Во всех других приложениях такие данные используются в форме удаленных представлений (копий, время жизни которых определено только временем их текущего использования).

Современные промышленные предприятия вынуждены тратить значительные финансовые ресурсы на приобретение, освоение и сопровождение программно-информационных комплексов. Только в США предприятия ежегодно тратят миллиарды долларов на техническое и программное обеспечение информационных систем. Поэтому требование защиты инвестиций, вложенных в программное и информационное обеспечение, приобретает особое значение. ***Архитектура ЕИПП должна строиться таким образом, чтобы***

обеспечивалась возможность интеграции в свою среду существующего программного и информационного обеспечения.

3.4.1. Гетерогенность информационной среды

Из требования защиты инвестиций вытекает и требование обеспечения возможности интеграции неоднородных систем в единое информационное пространство предприятия. На наших предприятиях сегодня уже эксплуатируются различные САД-системы (Autocad, SolidWorks, Unigraphics, ProEngineer, T-Flex, КОМПАС), используются информационные системы, построенные на основе разных СУБД (Clipper, Foxpro, Paradox, Access, Interbase, MS SQL Server, Oracle).

3.4.2. Промышленные стандарты и открытые интерфейсы

Объединение программных и информационных систем предприятия в интегрированную информационную среду невозможно без всеобъемлющей стандартизации описания, представления и обмена данными. Базовыми международными стандартами являются:

- при проектировании изделия – стандарты ISO серии STEP;
- при производстве, логистической поддержке изделий и взаимодействии с поставщиками – стандарты ISO серии PLIB, MANDATE, а также нормативные документы МО США, предназначенные для представления и обмена доступными для компьютерной интерпретации данными о поставляемых компонентах и комплектующих изделиях (узлах, деталях и т. д.), технологии изготовления, форматах представления и методах использования информации о производстве и используемых производственных ресурсах, их характеристиках и ограничениях с точки зрения управления производством;
- при проектировании деловых процессов – стандарты IDEF, предназначенные для функционального моделирования жизненного цикла и выполняемых деловых процессов, в том числе правил и методики структурированного графического представления системы или организации, создания информационной модели со структурированной информацией, необходимой для поддержки функций производственной системы или среды.

3.4.3. Уменьшение стоимости выполнения работ и сопровождения приложений

В результате построения ЕИПП должна быть уменьшена стоимость выполнения работ по сравнению с традиционным автономным применением компьютерных систем. Сюда входит сокращение времени и рабочей силы, необходимых для выполнения тех же работ в интегрированной информационной среде по сравнению с традиционными методами. Также предполагается сокращение времени и усилий, затрачиваемых на поддержание интегрированной информационной среды в актуальном состоянии при изменениях, происходящих в производственной среде и деловых процессах.

3.4.4. Адаптируемость решений

Каждое предприятие имеет свои цели и задачи, совместно используемые данные, системные ресурсы и приложения. Например, одно предприятие при построении ЕИПП может сделать акцент на уменьшении времени цикла разработки изделия. Такая цель может быть достигнута посредством более полной информационной интеграции служб ОГК и ОГТ, а также автоматизации процессов конструирования и технологического проектирования.

Целью другого предприятия при построении ЕИПП может быть сокращение времени на доставку заказа заказчику. Такая цель может быть достигнута путем налаживания тесного обмена данными между службой производственного планирования и основным производством и автоматизацией службы отгрузки продукции.

Архитектура ЕИПП должна уметь приспосабливаться к различным целям предприятий.

3.4.5. Постепенность ввода систем в эксплуатацию

Интеграция различных систем и подсистем в ЕИПП должна осуществляться постепенными этапами, а не единым вводом в действие. Это обуславливается тем, что сами методики интеграции находятся в постоянном развитии, очередность внедрения задач автоматизации различна, создаваемые базы данных вводятся в действие с разной скоростью, обучение новых пользователей проходит на экспериментальных проектах.

Обеспечение этого требования позволит предприятию объединить в интегрированной информационной среде существовавшие и новые приложения, а также предусмотреть возможное развитие систем в будущем.

3.4.6. Улучшение деловых процессов

Конечно же, предприятие не будет осуществлять интеграцию систем ради просто самой интеграции. Создание ЕИПП должно обеспечить необходимую коммерческую выгоду от вложенных инвестиций. Объединение информационных систем в единую среду должно улучшать взаимодействие между деловыми функциями и автоматизацией деловых процессов. Это будет решением вопроса при условии, что корпоративными целями служат повышение оперативности реагирования на требования заказчика и уменьшение себестоимости.

Создание ЕИПП направлено на создание средств, благодаря которым предприятие сможет уменьшить время циклов деловых процессов на обработку заказов, предложений покупателей и создание новой продукции. Кроме того, должно сокращаться время на внесение изменений в сами деловые процессы и деловые цели.

Сегодня существуют и продолжают создаваться многочисленные программные продукты универсального назначения, т. е. пригодные для использования на любом предприятии. Они ориентированы на стандартные решения. Однако наряду со стандартными решениями на каждом рабочем месте персоналу приходится принимать и оригинальные решения, присущие именно этому участку работы. Поэтому большинство подобного рода продуктов содержит язык программирования, макроязык или библиотеку API-функций, посредством которых можно адаптировать данный программный продукт к оригинальной функциональности конкретного рабочего места. Примеры:

- набор программных продуктов MS Office располагает языком программирования VBA – Visual Basic for Application, состоящим из подмножеств Microsoft Excel VB, Microsoft Access VB, Microsoft Word VB, посредством которых создаются конкретные приложения, автоматизирующие деятельность, присущую данному рабочему месту;
- всем известная среда конструирования AutoCad содержит макроязык AutoLisp, посредством которого можно разрабатывать программы для автоматизации рутинной деятельности конструктора;

- большинство современных программных продуктов выполняется по технологии программирования COM или COM+, .Net, благодаря которым можно создавать приложения на любом языке программирования, поддерживающем данную технологию, и интегрировать это приложение с данным программным продуктом.

Вопрос заключается в том, кто должен разрабатывать такие специализированные приложения – сторонние организации или ИТ-специалисты предприятия? Практика показывает, что разработку приложения, размещаемого на многих рабочих местах, целесообразнее поручить специализированной сторонней организации, в то время как частные решения дешевле выполнять собственными силами.

Стратегия (и возможность) создания единого информационного пространства предприятия заключается в интеграции существующих и работающих на данном предприятии приложений в единую информационную систему. В процессе такой интеграции возникает необходимость программной реализации большого числа частных решений, которую должны выполнять ИТ-специалисты данного предприятия.

Потребность администрирования корпоративной сетью предприятия, сопровождения программных продуктов, их адаптации и интеграции в общую информационную систему существует постоянно и поэтому должна выполняться собственной службой предприятия – ИТ-отделом, который должен относиться к числу привилегированных служб предприятия, поскольку обеспечивает его стратегический ресурс – информацию.

3.5. Промежуточные выводы

Рассмотренные выше принципы и технологии информационного сопровождения изделий в течение его жизненного цикла убедительно говорят о том, что система автоматизированного проектирования является всего лишь одним из этапов ЖЦИ и не может существовать изолированно от остальных его этапов. Однако при этом мы не рассматривали содержание процесса проектирования как объекта, являющегося центральным звеном ЖЦИ, от которого зависят все последующие этапы и конечный результат – цена владения. Кроме того для эффективной реализации принципов и программно-технических решений CALS-технологий в процесс проектирования необходимо отчетливо представлять его функциональную, информационную и логическую структуру. Этому и посвящаются последующие разделы.

4. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ТРАДИЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование – это комплекс взаимосвязанных работ по созданию, дополнению и преобразованию образа объекта проектирования (изделия или процесса) со всей необходимостью для целей его изготовления (реализации) или обслуживания информационной полнотой.

Информацию, определяющую образ объекта на любой стадии проектирования и зафиксированную в любой из общеупотребительных форм (графической, технической, математической, устной и т. д.) называют описанием объекта проектирования.

Объект проектирования (ОП) на данном этапе изложения мы не определяем и понимаем под этим термином результат выполнения любой проектной работы. Этим результатом может являться образ всего объекта в целом или любой его структурной части вплоть до функциональной поверхности отдельной детали или нахождения значения отдельной характеристики.

В ходе выполнения любой проектной работы происходит переход от предшествующего к последующему описанию образа объекта посредством преобразования или добавления информации. Можно выделить три вида описания объекта проектирования:

- начальное, или первичное описание;
- промежуточное описание;
- конечное, или заключительное описание.

Начальное описание объекта проектирования определяет образ объекта как неизвестный элемент множества возможных объектов посредством выделения границ этого множества и обычно укрупнено включает:

- назначение объекта проектирования;
- условия его эксплуатации или использования;
- функциональные, эксплуатационные и технико-экономические характеристики;
- рекомендуемые или обязательные к применению в объекте конструктивные элементы;
- ограничения на способы изготовления объекта.

Промежуточное описание объекта проектирования фиксирует совокупность сведений, выражающих структуру или взаимодействие

элементов структуры объекта, представляя их с полнотой, достаточной для его дальнейшей детализации.

Промежуточное описание создается на основе предшествующего описания, к которому в процессе выполнения проектной работы добавляется информация из информационной среды (не следует смешивать это понятие с базой данных и базой знаний). Дополнение осуществляется в процессе выполнения проектной работы посредством некоторого преобразования предшествующего описания либо простым добавлением сведений к нему.

Конечное описание объекта проектирования представляет собой комплект документов установленной формы, содержащий информацию, достаточную для изготовления (реализации) или обслуживания объекта в заданных условиях.

На этапе формулирования проектной работы проектировщик определяет ее в общем, не вникая в детали, выделяет начальное и конечное ее состояние. Начальное состояние проектной работы – это представление о том, что уже есть, а конечное состояние – то, что требуется.

На этом этапе от проектировщика требуется как можно подробнее определить начальное и конечное состояние проектной работы, т. е. сформулировать проектную задачу, и убедиться, что выполнены следующие условия:

- задача рассмотрена всесторонне;
- при рассмотрении задачи исключены влияния имеющихся решений.

На этапе анализа проектировщик определяет все детали задачи, производит необходимые исследования для получения сведений о ее специфических особенностях. При этом систематизируется информация о задаче в следующих аспектах:

- состояние дел, существующее перед решением задачи (например, обеспечение заданного крутящего момента, обеспечение технологии изготовления заданного класса деталей) – вход;
- изменяемые во времени характеристики входа (например, изменение чисел оборотов, габаритов изготавливаемых деталей);
- ограничения свойств изменяемых характеристик (например, длина детали не более двух диаметров, предельные значения чисел оборотов);

- изменяемые характеристики решения задачи (например, габариты изделия, время изготовления детали);
- ограничения характеристик решения задачи (например, предельный вес изделия, предельная трудоемкость изготовления детали);
- критерии выбора решений (например, себестоимость изготовления, коэффициенты загрузки оборудования);
- масштаб выпуска изделия;
- продолжительность применения изделия или процесса.

При поиске решений проектировщик изобретает сам или берет из литературы некоторые решения. На этом этапе чаще всего находятся частные решения задачи. Проектировщик оценивает каждое частное решение, отбрасывает явно негодные и, в конечном счете, синтезирует полное решение, представляющее собой комбинацию частных.

На этапе принятия решения проектировщик оценивает возможные решения, сравнивает их и находит (выбирает) наилучшие. Этот процесс простирается от тщательнейших и исчерпывающих оценок вариантов решения, включающих массу изменений, исследований, предсказаний и сравнений, до беглых простых неофициальных суждений. В общем случае принятие решения включает четыре основных шага:

- выделение критерия;
- предсказание эффективности возможных решений;
- сравнение предсказанных эффективностей;
- осуществление выбора.

Основу для выбора предпочтительного решения создают критерии. Их определяют, по крайней мере, в общих словах, и они являются частью анализа задачи.

Предсказание эффективности возможных решений – это основной вопрос на рассматриваемом этапе. От проектировщика требуется предсказать, как будут выполняться определенные критерии в том случае, когда будет принято одно из возможных решений. Для ответа на этот вопрос проектировщик использует мнения других, экспериментирует с прототипами, математическими моделями и т. д. При этом проверяется срок службы машины, потребность в топливе, трудоемкость изготовления и т. п.

Для сравнения возможных решений с точки зрения выполнения критериев проектировщик выполняет множество расчетов, относя-

щихся к широкой области знаний и имеющих основополагающее значение в проектном деле.

Завершающий шаг – выбор решения осуществляется проектировщиком для конкретной обстановки в сфере проектирования (ресурсы), изготовления (возможности) и эксплуатации (надежность и удобство).

Работа проектировщика редко заканчивается только детализацией и фиксацией решения. Часто в его обязанности входит завоевание признания изделия или процесса, наблюдение за его внедрением и применением, контроль и оценка работы изделия или процесса, а также принятие решения (или помощь в принятии решения) о целесообразности переработки объекта. Эти работы образуют цикл проектирования, изображенный схематично на рис. 4.1.

В цикл помимо собственно проектных работ включены также комплексы работ по доведению проекта до конца и возобновлению проектирования.

Процесс выполнения проекта охватывает содействие утверждению решения и наблюдение за ходом выполнения проекта (освоение выпуска). Эти комплексы работ необходимы вследствие того, что проектировщику требуется, с одной стороны, убедиться в том, что разработанное изделие или процесс будут успешно применяться. С другой стороны, процесс освоения постоянно требует участия в нем проектировщика для решения различных оперативных вопросов по изменению конструкции или структуры. При этом проектировщик способствует признанию разработанного объекта, а также исправляет недостатки конструкции, затрудняющие процесс освоения.

Любой проект, будь то изделие или технологический процесс, должен подвергаться периодической проверке со стороны его создателя. Это позволяет постоянно проверять правильность выбранного решения и обоснованность его оценки. Участие проектировщика в этом комплексе работ увеличивает его опыт для последующих проектов.

Периодическая оценка эффективности освоенного изделия создает основу для принятия решения о том, насколько выгодно тратить время и деньги на новую разработку (пересмотр проекта). Ни одно из решений практических задач никогда не бывает постоянно наилучшим. Находятся лучшие решения, возникают новые требования, накапливаются новые знания, изменяются условия, происходит физический износ и т. д. Поэтому обязательно наступит время, когда становится целесообразным пересмотр проекта

в поисках лучшего решения. Принятие решения о пересмотре проекта замыкает цикл проектирования.

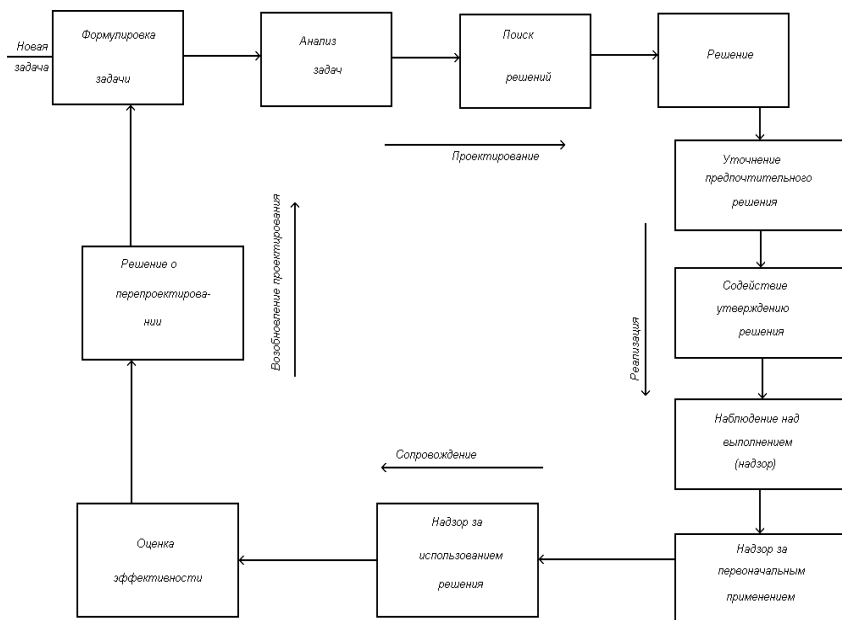


Рис. 4.1. Схема типичного жизненного цикла проектного решения

4.1. Требования к содержанию проекта

Как отмечалось, создание изделия является комплексным процессом, требующим участия в нем специалистов различных профилей. Главной составной частью этого процесса является разработка проекта изделия, который окончательно определяет конструктивно-технологическое оформление выполняемых им функций. Проектировщики обобщают труд различных специалистов, занятых на предшествующих проектированию стадиях, и выносят окончательное решение на основании результатов, полученных на ранних этапах проектирования изделий.

Проект изделия включает полный комплект графической и текстовой документации, на основе которой возможно изготовить изделие, провести его испытание, убедиться в правильности принятых технических и конструктивных решений, а также наладить единичное,

серийное или массовое производство таких изделий; разобраться в процессе эксплуатации, в принципах его работы, правилах использования и ремонта. При этом изделие должно отвечать современным требованиям конкурентоспособности, надежности, художественно-эстетическим требованиям, технологичности в современных условиях производства, эргономичности и безопасности при изготовлении и эксплуатации.

Поставка изделий на зарубежный рынок и их сбыт в условиях конкуренции требуют особого подхода к созданию изделий новых конструкций. В наше время для повышения конкурентоспособности изделий в ходе их проектирования уделяется много внимания вопросам технического обслуживания. Проектировщики ищут такие конструктивные решения механизмов, узлов и деталей, которые до минимума упрощают технический уход, удешевляют стоимость обслуживания и ремонта. Выпускающиеся в продажу машины снабжаются руководствами и инструкциями, в которых указаны периодичность и места смазки, даются рекомендации по регулировке и замене изношенных деталей, а также по частичной разработке, осмотру и сборке.

Известно, что качество изделия, его технические показатели ценны лишь в том случае, если они постоянны в течение длительного времени в условиях нормальной эксплуатации. Надежность изделия зависит от его принципиального устройства и конструктивного оформления всех элементов. Для обеспечения надежности проектировщики используют такие средства как: поиск оптимальной кинематической структуры, стандартизованные узлы и детали, внедрение системы контроля неисправности, удобный доступ ко всем элементам, требующим периодического осмотра и ремонта и т. д. Кроме того, проектировщики стремятся максимально упростить изделия и использовать для этого типовые схемы, принцип действия которых хорошо проверен, скомпоновать эти схемы из стандартных деталей и унифицированных узлов, имеющих гарантийную надежность. Наконец, существуют случайные нагрузки, вызывающие напряжение, превышающие допустимые. Учет проектировщиком всего этого многообразия факторов и средств достижения надежной работы представляется весьма трудоемкой задачей.

Развитие технической эстетики налагает свои требования на создаваемые изделия. Красивый внешний вид изделия может быть

достигнут только в результате использования в ходе проектирования определенных художественных принципов или так называемых эстетико-технических элементов (симметрия, ритм, контрастность, членение, пропорциональность, композиция и т. д.). Хотя применение этих элементов в каждом конкретном случае относится к компетенции дизайнеров, общие представления о них необходимы и проектировщикам. Разрабатывая основные формы изделия, проектировщик исходит из соображений наиболее приемлемой компоновки с точки зрения его конструкции и технологичности. Однако всегда есть возможность предложения равноценных по этим показателям вариантов, которые неравноценны с позиции художественного оформления изделия.

Под технологичностью конструкции понимается возможность ее изготовления с наименьшими трудовыми затратами при рациональном расходовании материалов. Это понятие обладает относительностью, обусловленной уровнем технологии и организационной структурой изготовления (станочный парк, масштаб, выпуск и т. д.). С точки зрения технологичности детали изделия должны быть спроектированы с таким расчетом, чтобы их формы и размеры как можно больше соответствовали имеющимся заготовкам, а обработка производилась бы на станках (желательно с одного установа) с исключением ручного труда. Технологичность изделия резко повышается при использовании в конструкции стандартизованных и унифицированных деталей, изделий и механизмов.

4.2. Система проектирования

Любой процесс проектирования выполняется в рамках определенной организационно-технической системы проектирования (СП). СП содержит организационную структуру, персонал (исполнителей работ) и комплекс технических средств, необходимых для осуществления деятельности с целью создания проектной документации на изделие с полнотой, достаточной для его изготовления (реализации) в заданных условиях.

Исполнителями работ в системе проектирования могут являться:

- субъект;
- коллектив исполнителей;
- техническое устройство;

- программно-информационная система под управлением специалиста-проектировщика.

В процессе функционирования системы проектирования выполняются три категории работ:

- проектные;
- вспомогательные;
- обеспечивающие.

4.2.1. Проектные работы

Организационная совокупность исполнителей проектных работ, результатом функционирования которой является законченная проектная документация – главная подсистема реальной проектной организации.

К проектным работам относятся работы по созданию образа изделия или процесса. Существующая практика проектирования в машиностроении и ГОСТ 2.103–68 выделяют следующие этапы создания образа проектируемого изделия:

- техническое задание;
- техническое предложение;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочий проект.

Работа конструктора над созданием нового изделия обычно начинается с получения технического задания. Этот документ определяет творческий поиск конструкторов в нужном направлении и утверждается заказчиком.

Техническое задание на разработку проекта изделия освещает следующий комплекс вопросов:

- цель создания изделия (механизация новых или существующих производственных процессов или операций, замена морально устаревших изделий и т. д.);
- параметры, режимы и условия работы изделия, увязку параметров с типажом;
- данные об экспериментальных работах, сравнительную оценку технического уровня изделия;
- указания по принципиальному устройству изделия и принципам его действия;

- степень механизации и автоматизации изделия; особые условия его эксплуатации;
- перечень совместно используемых изделий;
- сроки выполнения проекта;
- серийность выпуска;
- указания об изготовителе;
- технические требования к машине и проекту.

На первом этапе создания образа проектируемого изделия конструктор уточняет и дополняет техническое задание.

Техническое предложение. На основе утвержденного и принятого технического задания конструкторы-разработчики проекта изделия готовят техническое предложение, отражающее техническое направление, принятое в проекте.

Техническое предложение включает указания и обоснования по принципиальному устройству изделия, целесообразности использования в его конструкции тех или иных технических решений, а также сравнительную оценку вариантов решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей. Сюда же включают сведения о технико-экономической оценке принятых решений, их надежности, необходимости их полной или частичной экспериментальной проверки и т. д., а также объем и стадийность разработки проекта. На этом этапе конструктор осуществляет поиск общего решения по принципу действия изделия и выбирает решения для их дальнейшей детализации.

Эскизный проект. На этапе эскизного проектирования конструктор уточняет принцип работы изделия с целью получения общего представления об изделии, разрабатываемом уже на основе решений, принятых на этапе технического предложения.

Поскольку эскизный проект должен давать общее представление об устройстве и принципе работы изделия, конструкторские документы отражают лишь принципиальные вопросы конструкции. Общий вид изделия чаще всего выполняется в виде схематической компоновки сборочных единиц, агрегатов и механизмов. В ряде случаев в состав эскизного проекта включаются схемы (кинематические, электрические, гидравлические и т. д.), поясняющие принцип работы изделия. При необходимости в состав проекта входят сборочные чертежи принципиально новых сборочных единиц и механизмов, даю-

щие представление об их устройстве. Текстовый материал отражает обоснования заложенных в конструкцию технических идей. Этот этап является начальным этапом детализации решения задачи.

Технический проект. После согласования и утверждения эскизного проекта начинается разработка технического проекта. Здесь уже все конструктивные решения разрабатываются полностью. При этом документация проекта должна давать не общее, а полное и окончательное представление об устройстве изделия, включая все необходимые данные для разработки рабочей документации и определения гарантийной прочности основных элементов конструкции при указанных в проекте размерах и сечениях.

В сравнении с эскизным проектом, рамки технического проекта по составу и качеству исходящей документации значительно шире. В нем дается полное и окончательное решение конструкции изделия и его сборочных единиц. Сообразно этому на данном этапе оформляется и документация, разрабатываются чертежи общих видов на все составные части (сборочные единицы, агрегаты и т. п.), причем на этих чертежах указываются конкретные размеры деталей, подтверждаемые соответствующими расчетами, материалы, из которых должны изготавливаться детали, порядок сборки, крепления, смазки, возможность регулировки и другие мероприятия. Каждая составная часть конструкции изделия приобретает при этом конкретную конфигурацию и размеры, что вызывает необходимость уточненной компоновки всего изделия на чертеже общего вида и определения точных габаритных размеров. По покупным изделиям проводятся согласования со сбытовыми организациями, при этом протоколы согласования также включают в состав проекта.

На этом этапе работ конструктор создает требуемый образ изделия, но по описанию образа изделия, созданного на этапе технического проектирования, еще нельзя изготовить изделие вследствие недостаточной полноты описания.

Рабочий проект. Утвержденный технический проект служит основанием для перехода на последний этап детализации – рабочий проект, который предусматривает полную детализацию конструкции, подлежащей изготовлению, и включает наибольшее число документов. Резкое возрастание объема документации на этом этапе вызвано тем, что предыдущие описания изделия не давали возможности изготовления в планируемых производственных условиях.

Для изготовления изделия необходимо иметь чертежи деталей, сборочные чертежи, технические условия на изготовление и поставку и т. д. При этом в проекте должно быть предусмотрено: оптимальное применение стандартных и покупных изделий, а также других изделий, ранее освоенных производством и отвечающих современному уровню техники; рациональное ограничение номенклатуры размеров, предельных отклонений, резьб, шлицев и других конструктивных элементов, а также марок и сортов материалов, покрытий, а также необходимая степень взаимозаменяемости.

В рабочем проекте число сборочных чертежей должно быть минимальным, но достаточным для проведения по ним сборки составных частей и изделия в целом.

4.2.2. Вспомогательные работы

В связи с повышенными требованиями к качеству выполнения проектных работ изменился круг обязанностей проектировщиков в части порядка выполнения некоторых элементов проектных работ. Выполнение этих элементов было возложено на специализированные подразделения. В проектной организации в общем случае существуют такие подразделения, как расчетные подразделения, научно-техническая библиотека, патентное бюро, испытательная станция, опытное производство, технический архив и т. д. Эти подразделения выполняют специальные виды работ, называемые вспомогательными работами. Их характерным признаком является то, что они не создают конечного продукта определенного вида деятельности.

Организованная совокупность исполнителей вспомогательных работ является вспомогательной подсистемой и составляет вторую функционально-самостоятельную часть проектной организации.

Важным условием успешного решения творческих инженерных задач, обеспечивающих создание новых изделий, является наличие у проектировщика сведений о существующих способах достижения поставленных перед ним целей, об имеющихся ранее решениях подобных задач, даже если они не были доведены до воплощения в «металл» или были отвергнуты практикой на определенном этапе развития техники. То, что могло быть неверным или нецелесообразным в одних условиях, может оказаться оправданным или более

эффективным в других. Такие сведения предоставляются проектировщику в результате информационного обслуживания.

Сбор и предварительный анализ научно-технической информации – один из важных, обязательных этапов процесса проектирования. Эффективность поиска и использования научно-технической информации во многом зависит от творческого или формального труда в информационных подразделениях, то есть от умения найти, правильно зарегистрировать, довести до внимания проектировщиков полезную им информацию. Всю эту информацию условно подразделяют на следующие группы:

- отечественная литература;
- зарубежные издания;
- патентные материалы;
- нормативно-справочная документация;
- конструкторская документация;
- отчеты по испытаниям;
- неопубликованные данные.

Такая классификация связана с особенностями выявления и получения информации.

Задачи обеспечения проектировщиков всей необходимой информацией различных видов решаются работниками информационных подразделений, которые проводят тематические подборки и составляют реферативные обзоры, проводят первичный анализ и предварительную оценку предоставляемой информации.

Наиболее распространенным и достаточно надежным источником необходимой технической информации является патентная документация. Она выгодно отличается от других источников информации тем, что здесь имеется систематизация документов по классификационным рубрикам, изложение материала максимально формализовано и зачастую унифицировано, технические решения обладают новизной. Эти документы достаточно информативны, достоверны, оперативны, доступны для поиска и удобны для анализа. Приведенные в патентах конструктивные схемы, как правило, работоспособны и используются при разработке новых машин. С успехом могут быть заимствованы и чертежи из патентов. Большой объем полезной информации выявляется также и в описаниях изобретений.

Большое значение для проектировщика имеет информация о свойствах элементов технических решений и путях их конструктивного использования. Эта информация предоставляется посредством различного рода предметно-ориентированных справочников, содержащих систематизированные сведения о свойствах материалов, особенностях и характерных чертежах способов обработки и т. д. Машиностроительная практика выделила стандарты как категорию документов, призванных ограничить разумными пределами процесс конструктивного оформления требуемых функциональных структур изделия, вызванных спецификой производства.

Разработанная документация на изделия дает возможность проектировщику использовать готовые частные технические решения. Нередки случаи, когда многократно проектируются машины, сборочные единицы и детали, которые раньше были разработаны в своей или другой организации. Поэтому хранение, ведение и организация доступа к конструкторской документации являются важными функциями архива проектной организации с точки зрения ускорения процесса проектирования, а также повышения качества его результатов.

Поиск, регистрация, обработка, хранение и распределение информации осуществляется в научно-технических библиотеках, патентных бюро, технических архивах. Выделение этих подразделений для информационного обслуживания проектировщиков вызвано такими специфическими особенностями выполнения информационных работ в больших объемах, как: формулирование документального запроса на необходимую информацию, проведение документального поиска, информационный анализ полученных документов на релевантность, проведение фактографического поиска среди релевантных документов, выборка фактов. Специализация же подразделений обусловлена структурными особенностями информации и способами ее представления.

Данные, характеризующие качество проектного решения, проектировщик получает в результате выполнения одной или всех перечисленных ниже работ:

- выполнение расчета или математического моделирования;
- изготовление опытного образца;
- испытание опытного образца.

В результате выполнения расчета проектировщик получает, например, технические характеристики элементов конструкций в зависимости от заданных условий их работы. Другим примером применения расчета в проектировании служит технико-экономический расчет. Существенными особенностями, выделяющими отдельные расчеты или их категории, являются трудоемкость выполнения расчета при известных исходных данных, а также специфичность метода расчета.

В результате изготовления образца по проектному решению разработчик уточняет конфигурацию и согласованность деталей и сборочных единиц изделия, технологичность изготовления и сборки деталей и узлов.

Испытания образца позволяют проектировщику оценить надежность и работоспособность сборочных единиц и деталей, характер их поведения в реальных условиях, проверить соответствие изделия требованиям, предъявляемым к нему техническим заданием.

Расчеты, изготовление и испытание образцов осуществляются в специализированных подразделениях проектной организации, выделение которых обусловлено особенностями применения технических навыков в больших объемах. Специализация подразделений (опытное производство, расчетные подразделения, испытательная станция) вызвана спецификой выполнения отдельных работ.

4.2.3. Обслуживающие работы

К обслуживающим работам относятся работы, которые выполняются вне процесса проектирования, но оказывают значительное влияние как на процесс проектирования, так и на результаты этого процесса.

Организованная совокупность исполнителей обслуживающих работ, результатом функционирования которой являются стандарты на узлы и детали, методики инженерных расчетов и испытаний, типовые и групповые техпроцессы, базовые и прикладные исследования и разработки и т. д., является обеспечивающей подсистемой и составляет третью функционально-самостоятельную часть проектной организации.

Унификация изделий

К числу очень важных обслуживающих работ следует отнести работы по унификации изделий (рис. 4.2). Существуют следующие направления унификации:

- создание конструктивных рядов;
- унификация между базовой моделью и ее модификациями (модификационная унификация);
- унификация типоразмеров однотипных изделий (межразмерная унификация);
- унификация по величинам параметров изделий разного типа (межтиповая унификация);
- унификация по типоразмерам изделий разного вида (общая унификация).

Унификация по вышеприведенным направлениям осуществляется следующими методами:

- типизацией;
- агрегатированием;
- заимствованием;
- стандартизацией.

При создании оригинальных конструкций изделий их производство, эксплуатация и ремонт значительно усложняется, исключается взаимозаменяемость узлов и деталей, затрудняется внедрение специализированного оборудования, а также автоматизация производства. Поэтому для изделий массового и серийного производства разрабатываются типажные изделия с конкретными параметрами и размерами. Под типажом изделий понимается технически и экономически обоснованная совокупность типов и размеров этих изделий, объединенных общностью назначения и обладающих прогрессивными техническими показателями. Типаж разделяет изделия на группы, подгруппы, классы, подклассы и т. д. На основе классификации изделий и выбора наиболее экономичных вариантов их рабочих параметров создаются параметрические ряды изделий. Их использование позволяет резко сократить структурную разнородность функционально одинаковых изделий, увеличить общность в конструкции, создать большие семейства родственных изделий.

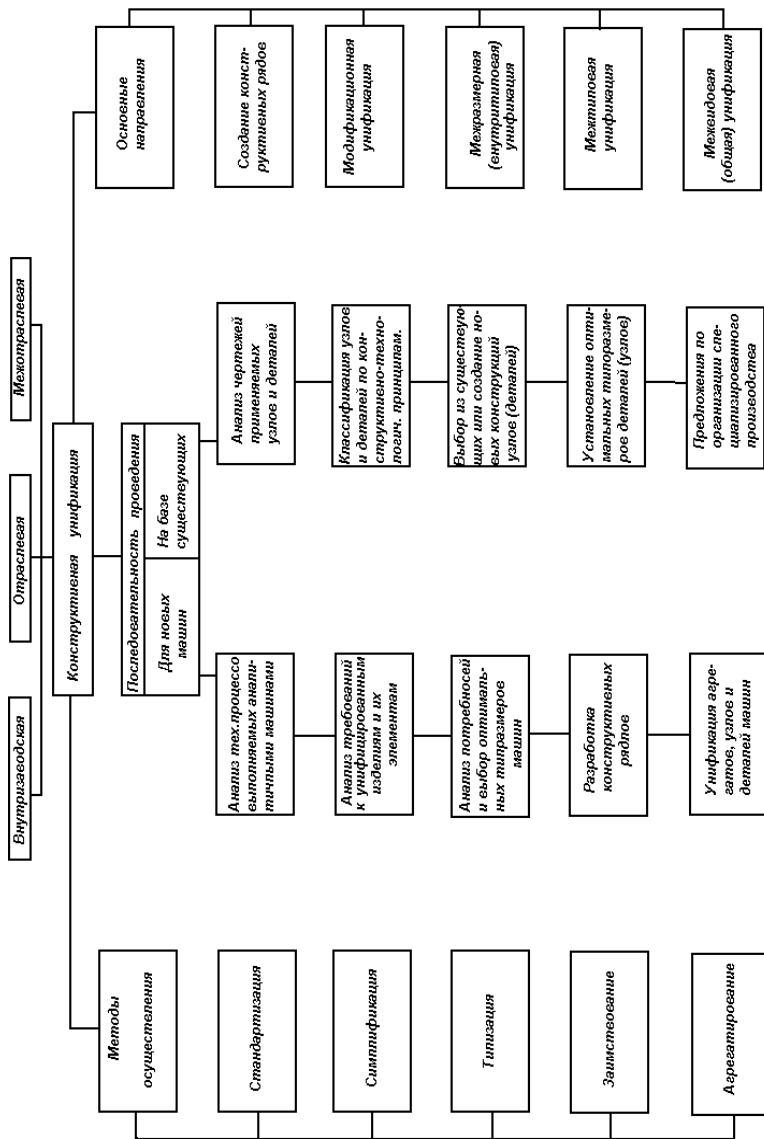


Рис. 4.2. Методы осуществления, основные направления и последовательность проведения конструктивной унификации

В связи с тем, что на процесс проектирования, изготовления и ремонта изделия затрачивается большой объем трудовых и материальных затрат, проведение модификационной унификации в проектировании направлено на сокращение этих видов затрат при повышении качества проектируемого изделия.

Типизация изделий дает возможность проводить техническую политику, выражаемую единым конструктивным решением объектов, включаемых в типовые ряды, использовать общие методы проектирования и расчета изделий различных параметрических рядов, а также создает предпосылки для расширения масштабов унификации деталей, узлов и сокращения их номенклатуры в рамках подразделений, принятых типажом.

На базе системы типизации изделий создан скоростной метод проектирования – агрегатирование, суть которого заключается в членении изделий на самостоятельные сборочные единицы и агрегаты. При агрегатировании проектировщикам нет необходимости изменять все входящие в изделие части. Разрабатываются и проектируются лишь те из них, которые оказывают влияние на изменяемые параметры. В этом случае проектировщик лимитирован определенными стыковочными размерами, переходными элементами и т. д. С ними, однако, проектировщики современных изделий сталкиваются постоянно, так как этого требуют условия широкой унификации и преемственности конструкций, распространения принципа многократного расчленения целого на части, частей на элементы и т. д. в целях создания условия для повышения уровня унификации.

При использовании в изделии готовых решений (заимствовании) из параллельных разработок получается эффект от сокращения объемов работ и, следовательно, трудозатрат по созданию конструкторской документации, технической подготовке опытного производства, испытаниям. При этом заимствование может распространяться на освоенные производством изделия, сборочные единицы, узлы, а также на изделия других производств (покупные изделия). В первом случае завод-изготовитель получит эффект от сокращения сроков внедрения изделия в производство. Во втором проектировщик освобождается от необходимости принятия многих новых технических решений, от значительной части расчетов, опытного изготовления и испытаний и т. д. В обоих случаях сокращение сроков разработки и освоения выпуска изделия не снижает его качества.

Важным условием обеспечения и повышения уровня унификации является действенный нормоконтроль и унификационный контроль документации.

4.2.4. Формализованный анализ процесса проектирования

Проектирование можно рассматривать в трех условных аспектах:

- организационном;
- информационном;
- логическом.

4.3. Организационный аспект традиционного проектирования

Проектирование в организационном аспекте есть совокупность организационно-технических мероприятий, которые необходимо осуществить для получения проектной документации. Эти мероприятия выполняются обычно в рамках проекта.

Проектом принято называть совокупность работ, направленных на достижение поставленной производственной или коммерческой цели, потребляющих ресурсы различного типа. Примером проекта является выполнение контракта на поставку изделия, предполагающего выполнение целого ряда работ. Другим примером проекта может служить решение отдельной сложной проблемы, такой как разработка комплекта документации или ввод изделия в эксплуатацию.

Здесь уместно попытаться определить термин «работа» с приемлемой степенью абстракции, независимо от ее конкретной специфики. Работы относятся к определенному виду деятельности. Деятельность [14] (синонимы: дело, бизнес) – совокупность процессов, выполняемых (протекающих) последовательно или/и параллельно, преобразующих множество материальных или/и информационных потоков во множество материальных или/и информационных потоков с другими свойствами. Деятельность осуществляется в соответствии с заранее определенной и постоянно корректируемой целью.

Проектная работа есть преобразование содержания информации и, как следствие, формы документов, составляющих информационный поток. Конкретную суть преобразований, осуществляемых в процессе работы, принято называть *функциями*.

Информационный поток – последовательность информационных объектов, распределенных во времени.

Информационный объект – *содержание* документа или определенной его части.

Документ – ограниченный физическими рамками состав информации, размещенный на любом физическом носителе.

Процесс (синоним: бизнес-процесс) представляет собой совокупность последовательно или/и параллельно выполняемых операций, протекающих в соответствии с управляющими директивами, вырабатываемыми на основе целей деятельности. В ходе процесса потребляются финансовые, энергетические, трудовые и материальные ресурсы и выполняются ограничения со стороны других процессов и внешней среды.

Операция – совокупность последовательно или/и параллельно выполняемых действий, преобразующих объекты, входящие в состав материального или/и информационного потока, в соответствующие объекты с другими свойствами.

Действие – преобразование какого-либо свойства материального или информационного объекта в другое свойство. Действие в проектной работе выполняется как результат принятого решения. Принятие решения предполагает решение задачи.

Задача есть необходимость сознательного поиска соответствующего средства для достижения ясно видимой, но непосредственно не доступной цели. Решение задачи означает нахождение этого средства [9].

Замечание 1. Иерархическое разбиение какой-либо деятельности на работы, процессы, операции, действия, задачи определяется целями моделирования конкретной деятельности.

Замечание 2. Приведенные выше определения будут уточняться в процессе последующего изложения по различным аспектам применительно к проектированию.

Термин «управление проектом» обозначает класс управленческих задач, связанных с планированием, организацией и управлением действиями, направленными на достижение поставленных целей при заданных ограничениях на использование ресурсов. Технология управления проектами не зависит от содержания проектов, что позволяет рассматривать ее как базовую (инвариантную) технологию.

Типовыми задачами управления проектом являются:

- определение функциональной структуры проекта;
- анализ существующей организационной структуры (отделов, секторов, бюро, рабочих групп) на предмет соответствия выполняемым проектам и реорганизации ее при необходимости;
- разработка планов выполнения проекта, в том числе разработка структурной декомпозиции работ проекта и сетевых графиков;
- расчет и оптимизация календарных планов с учетом ограничений на ресурсы;
- разработка графиков потребности проекта в ресурсах;
- отслеживание хода выполнения работ и сравнение текущего состояния с исходным планом;
- формирование управленческих решений, связанных с воздействием на процесс или с корректировкой планов;
- формирование различных отчетных документов.

Работы, выполняемые для достижения целей проекта, и потребность в которых выявляется в ходе его планирования, могут представлять собой типовые рабочие процессы (закупка комплектующих, разработка документации, производство и т. д.). Такие рабочие процессы часто выполняются по заранее определенным формальным схемам (моделям), фактически определяющим технологию их выполнения. В ходе выполнения проекта исполнители (организации или сотрудники), действуя в соответствии с заданной технологией (моделью процесса), получают и выполняют задания, соответствующие структурным элементам рабочего процесса (операциям).

Следует помнить, что реализация проектов протекает в рамках определенной, чаще всего фиксированной, организационно-технической системы проектирования.

4.4. Информационный аспект традиционного проектирования

Проектирование в информационном аспекте есть информационный процесс закономерного возникновения образа объекта проектирования на основе информационной базы, которую составляют совокупные технические знания.

Образ объекта проектирования есть мысленное представление его конструктивных свойств, происходящих в нем физических и технических процессов, а также процессов, в которых он должен участвовать.

Он порождается информационной средой или информационным окружением проектирования, содержащими в первом приближении:

- эксплуатационные, конструктивные и технические свойства ранее спроектированных изделий с аналогичным назначением;
- свойства функциональных процессов, в которых должны участвовать объекты проектирования;
- свойства процессов, протекающих внутри объекта проектирования;
- свойства среды, в которой будут протекать процессы эксплуатации объекта проектирования;
- свойства производственной среды, в которой будут изготавливаться объекты проектирования.

Часть информации, составляющей образ объекта проектирования, фиксируется в документе в графической, текстовой или математической форме, называемой в дальнейшем *описанием* объекта проектирования.

Описание содержит такой минимально необходимый состав характеристик объекта проектирования, на основе которого проектировщик в состоянии воссоздать *субъективный* образ этого объекта в соответствии со стадией проектирования. Полнота субъективного образа зависит от следующих факторов:

- стадии проектирования;
- квалификации (опыта) проектировщика;
- возможностей информационных исследований;
- возможностей проведения вычислительных экспериментов (разработка методов расчета и проведения самих расчетов);
- возможностей проведения натуральных экспериментов и т. д.

Образ, который может быть воссоздан на основе некоторого описания со всей полнотой, принципиально допускаемой этим описанием, будем называть объективным образом. Разница между объективным и субъективным образом служит мерой эффективности проектирования и составляет знаменитое «know how» .

4.4.1. Три вида процессов проектирования

Как уже упоминалось выше, в процессе проектирования образ объекта проектирования претерпевает последовательность изменений от начального состояния через ряд промежуточных до конечного состояния, причем изменение образа объекта проектирования происходит в направлении увеличения количества составляющей его информации.

По количеству информации, составляющей образ объекта проектирования в его начальном состоянии, процессы проектирования можно разделить на следующие категории:

- проектирование оригинальных объектов;
- проектирование на основе аналога;
- проектирование на основе базового варианта.

При проектировании оригинальных объектов образ объекта проектирования в его начальном состоянии представлен своим назначением (результатом своего функционирования) и не содержит (или почти не содержит) сведений о конструктивных свойствах объекта проектирования.

При проектировании на основе аналога образ объекта проектирования в его начальном состоянии представлен с высокой степенью детализации всех сведений.

Проектирование на основе базового варианта отличается от проектирования на основе аналога тем, что образ объекта проектирования в его начальном состоянии содержит значительную долю проектных решений, не подлежащих изменению. Образ объекта проектирования в конечном состоянии является полным образом характеризующих его со всех необходимых точек зрения, независимо от степени полноты образа в начальном состоянии.

4.5. Логический аспект проектирования

Основу логического аспекта проектирования составляет модель образа объекта проектирования в виде логической структуры сведений о его конструктивных свойствах, происходящих в нем физических и технических процессах, а также физических и технических процессах, в которых он должен участвовать при выполнении своего назначения.

Проектирование в логическом аспекте есть процесс совместной детализации функциональной, предметной, технической, эксплуатационной, производственной, экономической моделей, составляющих образ объекта проектирования.

4.5.1. Структура логической модели образа объекта проектирования

Образ объекта проектирования в любом состоянии процесса проектирования представляет собой совокупность следующих моделей (рис. 4.3):

- функциональной;
- предметной;
- технической;
- эксплуатационной;
- производственной;
- экономической.

Функциональная модель отражает представление о физических и технических процессах (функциональных процессах), в которых будет участвовать объект проектирования при выполнении своего назначения. Например, совокупность физико-технических процессов, возникающих при пахоте в случае проектирования плуга, процессы взаимодействия движителя с грунтом при проектировании ходовой системы, процессы преобразования механической энергии гидротрансформатором и т. д.

Предметная модель отражает представление о структурных, кинематических, геометрических, физических и т. д. свойствах объекта проектирования. Например, совокупность конструктивных характеристик детали, достаточная для ее изготовления.



Рис. 4.3. Структура образа объекта проектирования

Техническая модель есть реакция объекта проектирования на функциональные процессы. Например, динамические и прочностные процессы, возникающие в детали вследствие функциональных процессов и в зависимости от конструктивных характеристик, составляющих предметную модель.

Эксплуатационная модель отражает представление о процессах эксплуатации объекта проектирования. Например, организационно-техническая система, необходимая для поддержания трактора в пригодном к работе состоянии в течение заданного ресурса времени, или совокупность организационно-технических мероприятий по профилактике и ремонту трансмиссии трактора, или совокупность мероприятий, необходимая для поддержания характеристик СПИД (система «станок–приспособление–инструмент–деталь») в течение всего периода времени выполнения технологической операции на партию изделий.

Производственная модель отражает представление о процессах материального воплощения объекта проектирования. Например, совокупность характеристик организационно-технической системы, необходимой для изготовления объекта проектирования.

Экономическая модель состоит из трех относительно самостоятельных моделей:

- проектно-экономической;
- эксплуатационно-экономической;
- производственно-экономической.

Проектно-экономическая модель отражает представление об организационной структуре и затратах (ресурсах), связанных с осуществлением процесса проектирования.

Эксплуатационно-экономическая модель отражает представление об организационной структуре и затратах (ресурсах), связанных с осуществлением процессов эксплуатации объекта проектирования.

Производственно-экономическая модель отражает представление об организационной структуре и затратах (ресурсах), связанных с осуществлением процессов создания (материального воплощения) объекта проектирования.

Функциональная, эксплуатационная, производственная и экономическая модели могут быть требуемыми и фактическими.

Требуемая модель есть образ того, что должно быть получено в результате реализации объекта проектирования.

Фактическая модель есть функциональная, техническая, эксплуатационная, производственная или экономическая модель, возникающая как следствие фактических характеристик предметной модели объекта проектирования.

Процесс нахождения зависимостей между характеристиками требуемых моделей и характеристиками предметной модели, исходя из характеристик требуемой модели, составляет сущность задач синтеза проектных решений.

Процесс нахождения связей между характеристиками требуемых моделей и характеристиками фактических моделей составляет сущность задач анализа проектных решений.

Процесс нахождения (построения) новых характеристик на основе имеющихся в рамках одной модели составляет сущность задач анализа модели.

Модели, составляющие образ объекта проектирования, имеют между собой причинно-следственные связи. Их некоторой иллюстрацией являются линии контакта между изображениями моделей на рис. 4.4.

При проектировании решаются прямые и обратные задачи (рис. 4.4).

Прямые задачи проектирования разделяют на задачи синтеза и фиксации решений.

Обратные задачи проектирования разделяют на задачи генерации и анализа.

При решении задач синтеза создаются элементы образа объекта проектирования на основе информационной среды проектирования.

При решении задач фиксации определяются элементы описания, фиксирующие синтезированное решение. Как видно из рисунка, при решении задач синтеза и фиксации можно наблюдать сужение информационной модели проектного решения.

При решении задач генерации воссоздаются элементы образа на основе элементов описания объекта проектирования.

При решении задач анализа определяются новые характеристики образа объекта проектирования в рамках принятых ранее решений, которые должны становиться элементами информационной базы проектирования для целей последующего использования. При

решении этих задач можно видеть расширение информационной модели проектного решения.

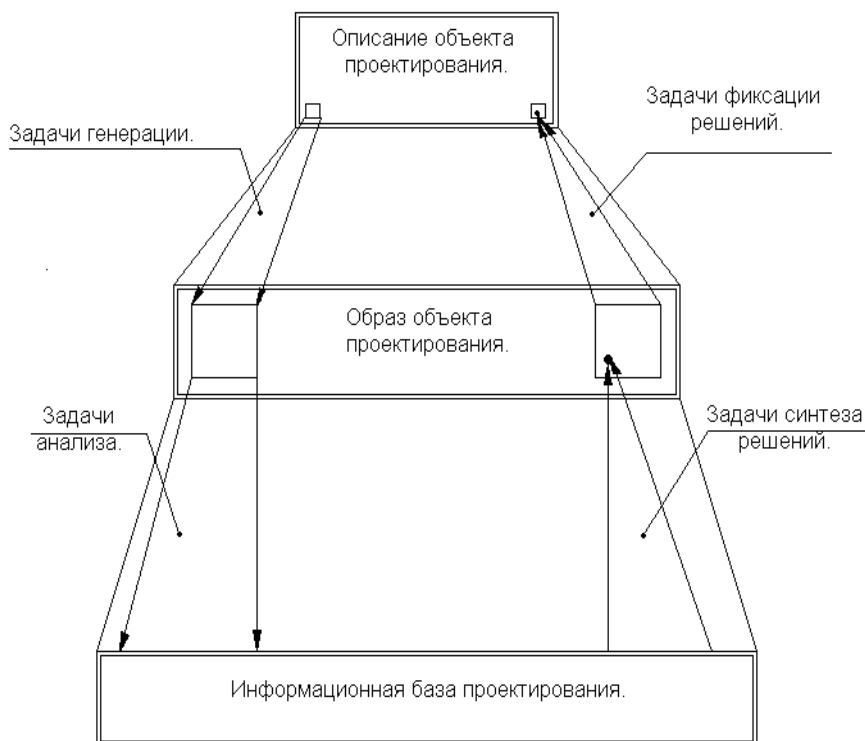


Рис. 4.4. Прямые и обратные задачи в процессе проектирования

4.6. Кибернетический анализ процесса проектирования

4.6.1. Понятие модели

Термин «модель» применяется в настоящее время столь широко и столь разнообразно, имеет столько различных определений, встречается в таких неожиданных контекстах, что даже весьма квалифицированный специалист иногда становится в тупик, не зная, какой же смысл хотел вложить в него автор. Для выяснения этого понятия придется начать с философских категорий.

В теории познания, а точнее в логике, существует концепция, которая утверждает, что человек мыслит понятиями. В логике понятие трактуется как мысль, представляющая собой обобщение предметов, явлений какого-либо класса по определенным (для данных предметов и в совокупности специфичным для них) признакам (свойствам, качествам, отношениям к другим предметам и т. д.).

Следует отличать понятие от образа, так как в понятии соответствующий ему предмет мыслится лишь с точки вполне определенных выделенных свойств, в нем зафиксированных, в то время как образ характеризуется всеми известными человеку и имеющимися у предмета свойствами. Здесь следует обратить внимание на следующие моменты:

- предмет как в понятии, так и в образе, никогда не мыслится всеми присущими ему свойствами (качествами, признаками, отношениями);

- в понятии зафиксированы лишь существенные признаки, которые позволяют выделить (отличить) некоторое множество предметов от всех остальных предметов, в силу чего понятие общезначимо.

Модель занимает промежуточное положение между понятием и образом. Модель – это знание о предмете, содержащее лишь те свойства (качества, признаки), которые существенны с вполне определенной целью познания, изучения, исследования. Отсюда, прежде всего, следует, что любой предмет, явление имеет сколь угодно моделей, каждая из которых отражает наши частичные знания об этом предмете или явлении.

Модель имеет значение лишь тогда, когда она может быть каким-либо образом зафиксирована. Зафиксировать модель можно двумя способами:

- овеществить в другом более простом или удобном предмете, явлении таким образом, чтобы поведение овеществленной модели соответствовало по интересующим свойствам поведению предмета или явления оригинала. Например, при определении аэродинамических свойств будущего самолета строят его уменьшенную копию-модель; при проектировании плотины гидростанции также предварительно строят ее уменьшенную копию и исследуют ее поведение;

- зафиксировать (описать) каким-либо языком.

Если модель описана обычным разговорным языком, то ее называют **концептуальной** (содержательной) моделью. Все наши предыдущие рассуждения о проектировании в различных аспектах представляют собой частичные концептуальные модели абстрактного объекта, называемого проектированием.

Во многих случаях обычный язык не пригоден или не удобен для описания модели, например, по меньшей мере не удобно описывать на обычном языке картину какого-либо художника. В этом случае применяют язык рисунка. Также практически невозможно на обычном языке описать деталь какого-нибудь устройства, чтобы на основе этого описания рабочий смог изготовить ее со всеми требованиями. В таких случаях используют язык машиностроительного черчения.

В тех случаях, когда для описания модели используется язык математики, модель называют **математической**. Частным случаем математической модели является численная или **вычислительная** модель, посредством которой можно получить явное значение функции (выходных значений) для заданного набора аргументов.

Наряду с термином «математическая модель» в кибернетической литературе, а особенно в современной литературе по информатике, широко используется термин **«информационная модель»**, под которым понимается организованный в определенную логическую структуру набор атрибутов с их конкретными значениями, характеризующими некоторый изучаемый, управляемый или проектируемый объект, процесс, явление. Например, совокупность значений силы тока, напряжения и сопротивления:

$$I = 0,5 \text{ A}, U = 220 \text{ V}, R = 0,25 \text{ }\Omega,$$

могут выражать состояние информационной модели процесса протекания электрического тока в некотором проводнике. Однако совокупность этих характеристик нельзя назвать математической моделью. В тоже время, закон Ома $U = IR$, связывающий эти характеристики посредством математического выражения, является математической моделью.

Информационные модели, выраженные посредством условного графического изображения составляющих их элементов и связей между ними, называют **структурными информационными моделями**. Для графического представления структурных информаци-

онных моделей создан ряд специальных языков в рамках CASE (Computer-Aided System Engineering) технологий. Широкое распространение и статус стандарта получил язык IDEF0, который будет рассмотрен в следующем разделе.

4.6.2. Системный характер моделей

«Любое описание объекта, системы начинается с представления о его состоянии в данный момент, которое принято называть фазовым состоянием, фазовыми координатами, фазовым вектором. Фазовое состояние материальной точки определяется ее координатами, величинами скоростей и ускорений. В основе математической модели лежат законы сохранения – они связывают между собой изменение фазовых координат объекта и внешние силы» [Н. Н. Моисеев].

Технический объект можно рассматривать либо как целый объект, относительно внутренней структуры которого не имеется никаких сведений, либо как сложную систему.

В первом случае объект называют черным ящиком и определяют совокупностью входных и выходных характеристик. Входные характеристики определяются теми способами, которыми можно воздействовать на объект, а выходные – теми способами, которыми наблюдатель может регистрировать воздействия на себя. По результатам многочисленных наблюдений строится математическая зависимость между вектором входа и вектором выхода. Однако чаще встречаются случаи, когда известен ряд внутренних характеристик объекта, также зависящих от вектора входа и влияющих на процесс преобразования входного вектора в выходной. Они называются переменными состояниями.

Построение математических моделей реальных объектов материального мира и особенно технических объектов зачастую встречается с барьером сложности, когда человек не в состоянии охватить всевозможные переплетения событий, явлений процесса функционирования моделируемой системы. Одним из способов преодоления барьера сложности является расчленение объекта на достаточно простые части и изучение частей с учетом их взаимодействия. Отсюда вытекает понятие сложной системы, состоящее в следующем:

- рассматриваемая система (объект материального мира, техническое устройство или процесс) может быть расчленена (не обязательно единственным образом) на конечное число частей, называемых подсистемами сложной системы;

- каждая из подсистем также является системой, которая, в свою очередь, состоит из подсистем следующего уровня и так далее до получения, в результате конечного числа шагов, таких частей, называемых элементами сложной системы, относительно которых имеется договоренность, что в условиях данной задачи они не подлежат дальнейшему расчленению на части.

Термин «система» или «подсистема» применяют к такой совокупности совместно взаимодействующих объектов, которая:

- обладает выраженным системным свойством (свойствами), т. е. свойством, которого не имеет ни одна из частей системы при любом способе членения, и не выводимым из свойств частей [13];

- элементы сложной системы функционируют не изолированно, а во взаимодействии, при котором свойства одного в общем случае зависят от условий определяемых поведением других элементов;

- свойства сложной системы в целом определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между элементами;

- сложная система взаимодействует с внешней средой путем взаимодействия некоторых подсистем или элементов системы с элементами окружающей среды.

Система (подсистема, элемент) имеет входы и выходы. Входом называется дискретное или непрерывное множество процессов, посредством которых воздействие среды передается системе. Выход – множество процессов, через которое система воздействует на среду. Любой элемент системы имеет по крайней мере один вход и один выход. Воздействие может состоять в передаче вещества, энергии, информации или комбинации этих сущностей.

Примерами сложных систем могут служить производственные процессы предприятий, объекты проектирования, процессы проектирования, вычислительные программные комплексы для решения сложных задач и т. д.

Постоянное усложнение производственно-технических и организационно-экономических систем – фирм, предприятий, произ-

водств, и других субъектов производственно-хозяйственной деятельности – и необходимость их анализа с целью совершенствования функционирования и повышения эффективности обуславливают необходимость применения специальных средств описания и анализа таких систем. Эта проблема приобретает особую актуальность в связи с появлением интегрированных компьютеризированных производств и автоматизированных предприятий.

В США это обстоятельство было осознано еще в конце 70-х годов, когда ВВС США предложили и реализовали Программу интегрированной компьютеризации производства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), направленную на увеличение эффективности промышленных предприятий посредством широкого внедрения компьютерных (информационных) технологий [3, 4].

Реализация программы ICAM потребовала создания адекватных методов анализа и проектирования производственных систем и способов обмена информацией между специалистами, занимающимися такими проблемами. Для удовлетворения этой потребности в рамках программы ICAM была разработана методология IDEF (ICAM Definition), позволяющая исследовать структуру, параметры и характеристики производственно-технических и организационно-экономических систем. Общая методология IDEF состоит из трех частных методологий моделирования, основанных на графическом представлении систем [3]:

1) **IDEF0** используется для создания *функциональной модели*, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, связывающие эти функции;

2) **IDEF1** применяется для построения *информационной модели*, отображающей структуру и содержание информационных потоков, необходимых для поддержки функций системы;

3) **IDEF2** позволяет построить динамическую модель меняющихся во времени поведения функций, информации и ресурсов системы.

К настоящему времени наибольшее распространение и применение имеют методологии IDEF0 и IDEF1 (IDEF1X), получившие в США статус федеральных стандартов. На основе этих материалов разработан и введен в действие в Российской Федерации руководящий документ РД IDEF0–2000.

Методология IDEF0 основана на подходе, разработанном Дугласом Т. Россом в начале 70-ых годов и получившем название SADT

(Structured Analysis & Design Technique – метод структурного анализа и проектирования). Основу подхода и, как следствие, методологии IDEF0 составляет графический язык описания (моделирования) систем, обладающий следующими свойствами:

- графический язык – полное и выразительное средство, способное наглядно представлять широкий спектр деловых, производственных и других процессов и операций предприятия на любом уровне детализации;
- язык обеспечивает точное и лаконичное описание моделируемых объектов, удобство использования и интерпретации этого описания;
- язык облегчает взаимодействие и взаимопонимание системных аналитиков, разработчиков и персонала изучаемого объекта (фирмы, предприятия), т. е. служит средством «информационного общения» большого числа специалистов и рабочих групп, занятых в одном проекте, в процессе обсуждения, рецензирования, критики и утверждения результатов;
- язык прошел многолетнюю проверку и продемонстрировал работоспособность как в проектах ВВС США, так и в других проектах, выполнявшихся государственными и частными промышленными компаниями;
- язык легок и прост в изучении и освоении;
- язык может генерироваться рядом инструментальных средств машинной графики.

Перечисленные свойства языка предопределили выбор методологии IDEF0 в качестве базового средства анализа и синтеза производственно-технических и организационно-экономических систем, что нашло свое отражение в упомянутых федеральных стандартах США.

Методология IDEF0 основана на следующих концептуальных положениях.

Модель – искусственный объект, представляющий собой отображение (образ) системы и ее компонентов. Согласно [3], **М моделирует А, если М отвечает на вопросы относительно А**. Здесь **М** – модель, **А** – моделируемый объект (оригинал).

Модель разрабатывают для понимания, анализа и принятия решений о реконструкции (реинжиниринге) или замене существующей системы, либо проектировании новой.

Система представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих частей, выполняющих некоторую полезную работу. Частью (элементом) системы могут быть любые комбинации разнообразных сущностей, включающие людей, информацию, программное обеспечение, оборудование, изделия, сырье или энергию (энергоносители). Модель описывает, что происходит в системе, как ею управляют, какие сущности она преобразует, какие средства использует для выполнения своих функций и что производит.

Блочное моделирование и его графическое представление. Основной концептуальный принцип методологии IDEF – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе. В IDEF0 все, что происходит в системе и ее элементах, принято называть **функциями**. Каждой функции ставится в соответствие **блок** (рис. 4.5). На **IDEF0-диаграмме** в основном документе при анализе и проектировании систем блок представляет собой прямоугольник. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками или с внешней по отношению к моделируемой системе средой, представляются **стрелками**, входящими в блок или выходящими из него. Входящие стрелки показывают, какие условия должны быть одновременно выполнены, чтобы функция, описываемая блоком, осуществилась.

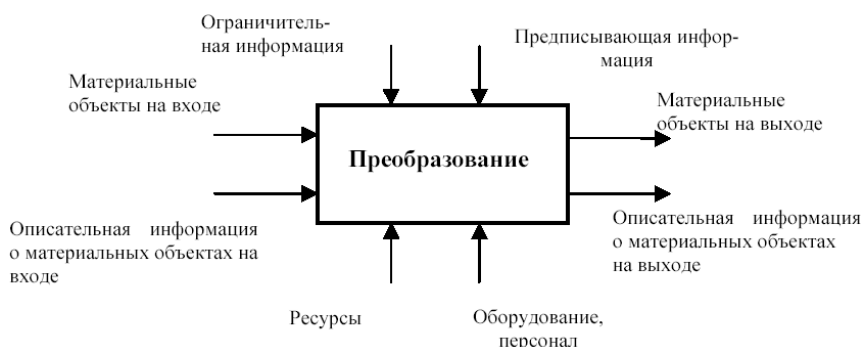


Рис. 4.5. Схема преобразующего блока в методологии IDEF0

Функциональный блок как отображающий моделируемую систему в целом (блок А0), так и блок на любом уровне декомпозиции, является преобразующим блоком. Преобразующий блок – блок IDEF0-диаграммы, преобразующий входы в выходы под действием управлений при помощи «механизмов». Преобразование – цель и результат работы любого блока на диаграмме любого уровня декомпозиции. Преобразованию в блоке могут подвергаться материальные и информационные объекты, образующие соответствующие потоки.

Лаконичность и точность. Документация, описывающая систему, должна быть точной и лаконичной. Многословные характеристики, изложенные в форме традиционных текстов, неудовлетворительны. Графический язык позволяет лаконично, однозначно и точно показать все элементы (блоки) системы и все отношения и связи между ними, выявить ошибочные, лишние или дублирующие связи и т. д.

Передача информации. Средства IDEF0 облегчают передачу информации от одного участника разработки модели (отдельного разработчика или рабочей группы) к другому. К числу таких средств относятся:

- диаграммы, основанные на простой графике блоков и стрелок, легко читаемые и понимаемые;

- метки на естественном языке для описания блоков и стрелок, а также глоссарий и сопроводительный текст для уточнения смысла элементов диаграммы;

- последовательная декомпозиция диаграмм, строящаяся по иерархическому принципу, при котором на верхнем уровне отображаются основные функции, а затем происходит их детализация и уточнение;

- древовидные схемы иерархии диаграмм и блоков, обеспечивающие обзорность модели в целом и входящих в нее деталей.

Строгость и формализм. Разработка моделей IDEF0 требует соблюдения ряда строгих формальных правил, обеспечивающих преимущества методологии в отношении однозначности, точности и целостности сложных многоуровневых моделей: все стадии и этапы разработки и корректировки модели должны строго, формально документироваться с тем, чтобы при ее эксплуатации не возникало вопросов, связанных с неполнотой или некорректностью документации.

Итеративное моделирование. Разработка модели в IDEF0 представляет собой пошаговую, итеративную процедуру. На каждом шаге итерации разработчик предлагает вариант модели, который подвергают обсуждению, рецензированию и последующему редактированию, после чего цикл повторяется. Такая организация работы способствует оптимальному использованию знаний системного аналитика, владеющего методологией и техникой IDEF0, и знаний специалистов – экспертов в предметной области, к которой относится объект моделирования.

Отделение «организации» от «функций». При разработке моделей следует избегать изначальной «привязки» функций исследуемой системы к существующей организационной структуре моделируемого объекта (предприятия, фирмы). Это помогает избежать субъективной точки зрения, навязанной организацией и ее руководством. Организационная структура должна явиться результатом использования (применения) модели. Сравнение результата с существующей структурой позволяет, во-первых, оценить адекватность модели, а во-вторых, предложить решения, направленные на совершенствование этой структуры.

Из знакомства с IDEF0 следует, что эта методология представляет собой четко формализованный подход к созданию *структурных схем функциональных моделей* изучаемой системы. Схемы строятся по иерархическому принципу с необходимой степенью подробности и помогают разобраться в том, что происходит в изучаемой системе, какие функции в ней выполняются и в какие отношения вступают между собой и с окружающей средой ее функциональные блоки. Совокупность схем (IDEF0-диаграмм) образует модель системы. Эта модель носит качественный, описательный, декларативный характер. Она принципиально не может ответить на вопросы о том, как протекают процессы в системе во времени и в пространстве, каковы их характеристики, и в какой мере удовлетворяются (или не удовлетворяются) требования, предъявляемые к системе. Все эти вопросы с неизбежностью возникают после того, как достигают нижнего уровня декомпозиции, т. е. обозначены как «...функции нижнего уровня, с помощью которых и работает система» [14]. В этом случае рекомендуется переходить к другим моделям – математическим, имитационным моделям, описывающим процессы в функциональных блоках IDEF0-модели. По терминологии

гии, принятой в исследовании операций, IDEF0-модели относятся к классу концептуальных. Именно концептуальные модели являются основой построения математических моделей. В условиях отсутствия стандарта, регламентирующего применение методологии IDEF2, целесообразно ставить вопрос о наполнении IDEF0-структур количественным содержанием, т. е. о создании методики построения моделей, адекватно описывающих процессы в изучаемой системе, в том числе и во времени, в динамике.

Описание и количественная оценка преобразований требуют создания математических моделей, которые должны отображать (имитировать) физические, экономические, организационные, финансовые, логические и т. д. отношения между сущностями, входящими в IDEF0-модель, разворачивающиеся во времени.

Исходя из общих соображений, связанных с возможными областями применения функционального моделирования и структурного анализа предприятий и организаций, можно указать несколько классов математических моделей, которые найдут применение в качестве средств описания процессов и РД IDEF0–2000 явлений, протекающих в IDEF0-блоках. К их числу, в первую очередь, относятся:

- распределительные модели теории исследования операций (оптимальное распределение ресурсов);
- модели теории массового обслуживания (детерминированные и статистические);
- модели теории управления запасами;
- транспортные модели;
- динамические модели передачи сигналов (детерминированные и стохастические);
- регрессионные и корреляционные прогностические модели (в том числе модели, предсказывающие вероятность возникновения редких событий);
- некоторые модели теории игр.

4.6.3. Характеристики моделей

Как уже упоминалось, способ представления моделей в виде концептуальных структурных моделей является начальным шагом моделирования процессов проектирования, однако, принимая во

внимание, что целью такого моделирования является переход к автоматизированному проектированию, следует рассмотреть более детальный количественно определенный уровень моделирования с использованием характеристик моделируемых объектов.

Характеристику модели удобно представлять в виде переменной, установив для нее:

- наименование;
- определение;
- область определения;
- область допустимых значений.

В качестве наименования используют общеупотребительный термин характеристики, а в определении уточняют его смысл применительно к конкретным условиям эксплуатации, причем уточнение смысла является обязательным.

Область *определения характеристики* устанавливается путем указания ограничений, определяющих множество объектов, которые могут иметь данную характеристику.

Область *допустимых значений* содержит все множество значений, которые может принимать характеристика (зависит от конкретного контекста).

Все характеристики модели можно разделить на три категории:

- входные;
- выходные;
- внутренние.

Состав **входных характеристик** модели некоторого объекта в условиях определенной окружающей среды определяется теми способами, которыми окружающая среда может воздействовать на объект, т. е. изменять во времени значения каких-либо наблюдаемых характеристик объекта.

Состав **выходных характеристик** определяется теми способами, которыми объект может воздействовать на окружающую среду, т. е. изменять значения каких-либо наблюдаемых характеристик окружающей среды.

Состав **внутренних характеристик** устанавливается в зависимости от способов рассмотрения технического объекта.

Если технический объект рассматривают как неделимый, то внутренними характеристиками являются те характеристики объек-

та, посредством которых возможно установить связь между входными и выходными характеристиками.

Внутренние характеристики неделимого объекта разделим на две категории: *постоянные* и *переменные*.

В состав **постоянных характеристик** входят те внутренние характеристики объекта, значения которых остаются постоянными в рассматриваемых условиях. Совокупность постоянных характеристик объекта определяет его физические и функциональные свойства, придавая качественную и количественную определенность данному объекту. Поэтому логически связанную систему всех существенных постоянных характеристик с конкретными значениями последних будем называть предметной информационной моделью данного объекта.

Предметная информационная модель является начальным шагом на пути создания любой математической или кибернетической модели. Правила построения предметных моделей сложных объектов будут рассматриваться в последующих разделах.

Переменные внутренние характеристики, в свою очередь, следует разделить также на две категории: статические переменные и динамические переменные.

Статические переменные характеристики изменяют свои значения только при изменении значений входных или динамически переменных характеристик.

Динамические переменные характеристики могут изменять свои значения под влиянием неконтролируемых в данных условиях факторов или в силу внутренних энергетических процессов (например, саморазряд электрической батареи).

Постоянные характеристики, относящиеся к подсистемам в целом или всей сложной системе, следует отнести к классу интегрированных характеристик, они являются (в конечном итоге) следствием идентифицирующих (предметных) характеристик составляющих систему элементов (выводятся из них).

Поведение характеристик. Характеристики по типу их изменения разделяют на аналоговые и дискретные. Аналоговыми называются такие характеристики, значения которых изменяются непрерывно в некоторой ограниченной области значений. Дискретными называются параметры, которые могут принимать лишь отдельные определенные значения из конечного или счетного множества значений.

Следует отметить, что при моделировании объектов, используемых при проектировании, временная зависимость носит зачастую условный характер. Эта условность заключается в том, что значения параметров зависят не от значений моментов времени, а от самого наличия любых последовательных моментов (шагов или тактов), то есть импульсные или дискретные параметры можно рассматривать как функцию целочисленного аргумента: 1, 2, ..., k (номер шага).

Степень сложности характеристик. Значения характеристик объектов могут быть простыми и сложными. Простые значения представляются понятиями, которые не требуют в условиях конкретного исследования выражать их через посредство других более простых понятий. Например, значением характеристики «диаметра поверхности» может служить любое число из нормального ряда диаметров.

Сложные значения требуют выражения их через более простые понятия, например, в предложении: «данные источники света имеют разные спектры излучения», – в качестве характеристики объектов рассматривается спектр излучения. Значениями этой характеристики являются функции интенсивности светового потока от длины волны, т. е. отдельным значением является определенное множество пар вещественных чисел. Рассмотрим другой пример, токарные станки различных марок можно сравнивать между собой по группе подач на один оборот шпинделя. Значениями характеристики «группа подач» являются конечные числовые совокупности разной длины. В частности, токарный станок 1Д63А имеет 26 продольных подач в пределах 0,15..2,56 мм, а станок марки 163 – 70 подач в пределах от 0,11 до 4,67 мм.

Значения некоторых сложных характеристик, широко используемых в инженерной практике, определяются сложной логической структурой понятий. Характерным примером этому служит такая характеристика, как, например, «контрастность изображения». Изображение мы называем контрастным, если интенсивность светового потока, отражаемая изображением и являющаяся функцией двух координат x и y , расположенных в плоскости, перпендикулярной световому потоку, состоит из резко выраженных максимумов и минимумов. Таким образом, областью допустимых значений данной характеристики является множество функций двух аргументов с определенными частными свойствами.

Значения сложной характеристики должны быть выражены в конечном итоге через понятия, значения которых могут быть получены путем непосредственного восприятия или измерения.

4.6.4. Предметные информационные модели технических объектов

Предметную модель технического объекта составляют характеристики, присущие ему независимо от условий, в которых он рассматривается. Логически связанную систему предметных характеристик будем называть **предметной информационной моделью ТО**. Рассмотрим примеры предметных моделей ТО различных видов.

Пример 1. Машиностроительная деталь. Предметную модель составят: характеристики, определяющие материал, массу, заготовку, форму, размеры и предельные отклонения составляющих деталь поверхностей; характеристики о шероховатости, термической обработке, предельных отклонениях формы, предельных отклонениях взаимного расположения, дополнительной обработке и технических требованиях к поверхности; характеристики о связях между ограничивающими деталь поверхностями, а также между остальными геометрическими элементами. Полная номенклатура характеристик предметной модели детали должна быть адекватна информации, содержащейся в рабочем чертеже и быть достаточной для возможности изготовления детали по этим сведениям.

Пример 2. Сборочная единица. Предметную модель сборочной единицы составят характеристики, определяющие: предметные модели деталей этой сборочной единицы; поверхности всех кинематических пар и/или присоединительных поверхностей; взаимную ориентацию деталей при сборке; технические требования к сборке и т. д.

Пример 3. Полупроводниковый диод. Предметную модель диода составят характеристики, определяющие: предметные модели всех деталей, составляющих конструкцию прибора; взаимное положение деталей; способы соединения всех деталей. Здесь следует заметить, что предметная модель $p-n$ перехода будет содержать не столько конструктивные параметры, сколько физические и химические характеристики кристалла, а также технологические характеристики процессов получения соответствующих физических и химических свойств.

Пример 4. Электрическая РС-цепочка. Предметную модель здесь составят характеристики, определяющие условные обозначения элементов (выступающие как имена соответствующих предметных моделей), а также схему соединения последних.

Пример 5. Оптическая деталь. Предметную модель оптической детали помимо характеристик, соответствующих обычной машиностроительной детали, составят требования к материалу (однородность, пузырность и т. д.), а также требования к изготовлению (отклонения от правильности сферы, отклонения стрелки прогиба поверхности, допустимая децентрировка и т. д.).

Пример 6. Оптическая сборочная единица. Предметную модель здесь составят характеристики предметных моделей всех деталей, характеристики взаимного положения, требования к сборке.

Из рассмотренных примеров видно, что предметные модели ТО содержат *статические* характеристики, необходимые для изготовления данного ТО, т. е. чисто конструктивные характеристики.

4.6.5. Кибернетические модели объектов проектирования

Всякое техническое устройство состоит из узлов, механизмов, приборов, деталей, отличающихся между собой конструктивным исполнением, назначением, происходящими в них физическими процессами. Однако все они имеют общую черту, состоящую в том, что в них происходят процессы преобразования одних физических величин в те же, но с другими значениями, или в другие физические величины, например, сила–напряжение–деформация. Если процесс преобразования протекает только в одну сторону, то в технической кибернетике такие элементы называют передаточными звеньями и в этой предметной области существует хорошо развитая теория использования моделей передаточных звеньев.

С другой стороны, техническое устройство можно рассматривать как управляющее устройство, объектом управления которого является некоторая материальная система, свойства которой подлежат целенаправленному изменению или стабилизации в условиях воздействия окружающей среды.

Отсюда можно сделать вывод о правомерности кибернетического подхода к созданию моделей объектов проектирования.

Динамические модели. Любой объект изучения или наблюдения (т. е. техническое устройство, физическая система, технологический процесс, биологический или социальный объект) характеризуется своим поведением в зависимости от условий, в которых он находится.

Поведение – это изменение во времени значений существенных характеристик объекта, причем в качестве характеристик можно принимать любое свойство объекта, о наличии или отсутствии которого имеет смысл говорить.

Все явления и процессы материального мира рассматриваются в пространстве и времени. Например, в случае механического движения твердого тела, речь идет о перемещении, т. е. изменении положения тела за некоторый интервал времени. В качестве изменяемых свойств здесь выступают координаты центра тяжести X , Y , Z . Концепция применения координат перешла из механики в другие дисциплины: электротехнику, термодинамику, биологию и т. д. и приобрела более широкий смысл. Вместо термина «положение» употребляют термин «состояние» и вместо термина «поведение» – «движение».

Если взять в качестве объекта электрическую цепь, то параметром состояния (координатой) может служить величина тока или напряжения. Для термодинамического объекта, например спирали лампы накаливания, параметрами состояния могут служить температура спирали, спектральный состав излучения и т. д.

Таким образом, состояние объекта характеризуется определенным числом координат, каждая из которых может иметь свой отличный от других физический смысл.

Значения координат объекта (т. е. его свойства) обычно изменяются во времени и, следовательно, объект переходит из одного состояния в другое, т. е. совершает движение.

В механике движение осуществляется под действием сил, т. е. носит динамический характер (*dynamis* – сила). Движение не механических объектов происходит вследствие причин более общих, чем сила, поэтому в современной интерпретации «динамический» означает причинный.

В дальнейшем под объектом будем понимать динамические объекты, которые в каждый момент времени могут находиться в одном из возможных состояний и способны переходить во времени из одного состояния в другое, совершая при этом движение.

Как уже говорилось, движение объекта происходит под воздействием причин, таким образом воздействие есть изменение во времени каких-либо физических характеристик объекта либо в результате взаимодействия с определенной окружающей средой, либо в силу внутренних энергетических свойств объекта.

Целенаправленное воздействие есть изменение во времени определенных характеристик объекта таким образом, чтобы другие заданные характеристики этого объекта изменялись также наперед заданным образом.

Пусть объектом является луч света, а интересующим нас параметром состояния – его поляризация. Воздействовать на этот объект через указанный параметр означает изменить его значение, т. е. из неполяризованного луча сделать, например, плоскополяризованный луч. Это воздействие можно осуществить путем пропускания луча через анизотропный кристалл (кварц, исландский шпат и др.), т. е. создать определенные физические условия, среду, в результате взаимодействия с которой наблюдаемый параметр объекта изменит свое значение.

В качестве еще одного примера рассмотрим нагретое до определенной температуры остывающее на воздухе тело. Здесь налицо воздействие окружающего воздуха, изменяющего температуру указанного тела.

Таким образом, воздействие на динамический объект всегда есть процесс взаимодействия с определенной окружающей средой и, следовательно, осуществить воздействие, воздействовать – означает создать такую окружающую среду, которая будет влиять на заданные физические характеристики объекта определенным (детерминированным) или случайным образом.

Здесь уместно упомянуть о диспозициональных предикатах, которыми в формальной логике определяют способность (предрасположенность) вещи определенным образом проявлять себя в определенных ситуациях. Примерами таких свойств могут служить растворимость, ковкость, упругость и т. д. Таким образом, мы можем ввести понятие диспозициональных условий, под которыми будем понимать такие физические условия, при которых определенные свойства изучаемого объекта, помещенного в эти условия, изменяются заданным образом.

Понятие воздействия на объект предполагает причину, процесс и следствие. Причиной являются определенные значения параметров окружающей среды. Процесс взаимодействия возникает в силу наличия определенных физических, биологических и иных законов, которые сами по себе могут быть за рамками исследования. Следствием является определенный характер изменения во времени выделенных характеристик рассматриваемого объекта.

Характер изменения (функцию времени) значения физической характеристики наблюдаемого объекта в кибернетике называют сигналом или процессом. Нам удобнее использовать второй термин, то есть – процесс.

Физика обычно оперирует объектами, относимыми к одному из четырех классов: энергии, информации, веществу или полю, причем энергия и информация не существуют сами по себе, а всегда существует носитель энергии или информации – некоторая материальная субстанция в виде вещества или поля. В физике энергию определяют как единую меру различных форм движения. Например, такие вещества, как уголь или бензин являются носителями химической энергии, перегретый пар – носитель тепловой энергии, луч лазера (мономатрическое электромагнитное поле) – носитель электромагнитной энергии, движущееся твердое тело – носитель механической энергии и т. д. Таким образом, энергия и информация проявляются в виде соответствующих физических характеристик своих носителей.

ЗАМЕЧАНИЕ. В качестве объекта наблюдения может выступать процесс, в котором участвует некоторый предмет, или состояние некоторого предмета.

Рассмотрим пример – процесс горения. С одной стороны, это процесс высвобождения внутренней химической энергии горючего вещества, т. е. объектом воздействия (преобразования) с этой точки зрения можно было бы принять химическую энергию сжигаемого вещества, которая переходит в тепловую энергию продуктов сгорания. С другой стороны, объектом воздействия (преобразования) можно считать само сжигаемое вещество, преобразующееся в свои продукты сгорания с выделением тепловой энергии. Естественно принять в этом случае в качестве объекта процесс горения, имеющий начальную стадию (возгорание), установившийся процесс (горение), конечную стадию (затухание) и характеризующийся раз-

личными количествами несгоревшего вещества и продуктов сгорания, а также параметрами процесса горения.

В качестве входных воздействий в этом случае можно принять нагрев точки части вещества до температуры возгорания и количества воздуха (кислорода), подводимого к процессу горения.

В качестве выходного процесса здесь можно рассматривать один из следующих процессов: количество выделяемой тепловой энергии в единицу времени; интегральное количество тепловой энергии; температуру пламени и др.

Математическую конструкцию, способную находиться в каждый момент времени t в одном из возможных состояний \bar{Z}_i и переходить (во времени) из одного состояния в другое под воздействием внешних и внутренних причин, совершая при этом движение $\bar{Z}(t)$, называют *динамической моделью*.

Динамическая модель как математическая конструкция содержит в общем случае в своем описании следующие механизмы [14]:

- механизм изменения состояний под действием внутренних причин (без вмешательства внешней среды);
- механизм приема входного сигнала и изменения состояний под действием этого сигнала;
- механизм формирования выходного сигнала (как реакции динамической системы на внутренние и внешние причины изменения состояния).

Эти механизмы в общем случае описываются операторами переходов H и выходов G , реализующих отображения:

$$H : T \times Z \times X \rightarrow Z ;$$

$$G : T \times Z \times X \rightarrow Y ,$$

где T – множество моментов времени;

Z – множество состояний;

X – множество входных сигналов;

Y – множество выходных сигналов.

Динамический элемент функционирует в общем случае следующим образом. В начальный момент времени $t_0 \in T$ динамический элемент находится в начальном состоянии $z_0 \in Z$. В рамках механизма

изменения состояний под действием внутренних причин динамический элемент переходит из состояния z_0 в другие состояния Z_t , соответствующие моментам времени $t > t_0$, совершая движение $Z(t)$. Характер причин, поддерживающих это движение, вплоть до выхода точки z_t на границу области Z различный. Моменты времени выхода точки z_t на границу будем обозначать t^* . Траектория $z_t = Z(t)$ при условии, что $t_0 \leq t \leq t^*$ представляет собой фрагмент движения внутри области Z . Чтобы задать это перемещение, необходимо указать соотношения, определяющие значения z_t по заданным t_0 и Z_0 для $t \in (t_0, t^*)$ (уравнение движения точки Z_t). Наиболее распространенным математическим аппаратом для описания непрерывных движений служат дифференциальные уравнения.

В моменты времени t^* в процессе функционирования динамического элемента происходят два события:

- в момент t^* состояние Z_t из точки z^* на границе области Z совершает скачок, который может быть случайным, в одну из внутренних точек области Z – точку z' . Распределение вероятностей на множестве точек пространства Z , в соответствии с которым выбирается точка z' , зависит от t^* и Z^* .

- в этот же момент времени t^* в рамках механизма формирования выходного сигнала динамический элемент выдает выходной сигнал:

$$y_{t^*} = G^*(t^*, z^*),$$

где G – заданная функция (быть может, случайная) своих аргументов.

Из точки z' в момент времени $t^* + 0$ (после скачка) в рамках механизма изменения состояний под влиянием внутренних причин динамическая система из состояния z' переходит в другие состояния, совершая новое перемещение внутри области Z , новый скачок при выходе на границу и т. д.

Пусть теперь в момент времени t , когда динамический элемент находится в состоянии $\bar{z} \in Z$, поступает входной сигнал x . В этот момент в рамках механизма приема входного сигнала и изменения состояний под действием этого сигнала прекращается перемещение точки z_t , и она совершает скачок, может быть, случайный, в одну из внутренних точек области Z – точку z'' . Распределение вероятностей на множестве точек пространства Z , в соответствии с которым выбирается точка z'' , зависит от t , z и x , т. е.

$$z_{\bar{t}+0} = z''(\bar{t}, \bar{z}, \bar{x}).$$

В этот же момент времени \bar{t} в рамках механизма формирования выходного сигнала динамический элемент выдает выходной сигнал:

$$y_t = \bar{G}(\bar{t}, \bar{z}, \bar{x}).$$

Далее из точки z'' динамический элемент совершает новое перемещение внутри области Z , новые скачки при выходе на границу и при поступлении входного сигнала и т. д.

Чтобы задать конкретный пример динамического элемента, необходимо указать:

- описание границы области Z ;
- соотношения для определения движения $z(t)$ внутри области Z ;
- соотношения для расчета распределения вероятностей скачка состояния при выходе на границу;
- соотношения для расчета координат выходных сигналов;
- соотношения для расчета вероятностей скачка состояния при поступлении входного сигнала.

Описанный процесс функционирования динамического элемента является весьма общим и из него следует ряд частных случаев.

Если отсутствуют скачки состояний и движение $z(t)$ является нужное число раз дифференцируемой функцией, то получается динамический элемент, описываемый обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Если отсутствуют перемещения внутри области z и все движение состоит из скачков в моменты поступления входных сигналов, то получаются вероятностные автоматы.

Если в вероятностном автомате ограничить распределение вероятностей скачков только нулями и единицами, то получаются детерминированные автоматы.

Надлежащий выбор соотношений, характеризующих динамический элемент, позволяет определить его набором характеристик, что создает значительные удобства для применения его в качестве математических моделей для различных объектов автоматизированного проектирования.

4.6.6. Модель назначения объектов проектирования

Объект проектирования (техническое устройство, или процесс) всегда разрабатывается с целью совершать определенную работу, например гасить колебания машины в случае проектирования амортизатора, изменять характеристики детали в случае проектирования технологической операции и т. д. Другими словами, целью создания технического объекта или какого-нибудь его элемента является *целенаправленное изменение или стабилизация свойств* определенной наперед заданной системы.

Объект или объекты, испытывающие целенаправленное воздействие в процессе выполнения работы объектом проектирования, выделяются в специальную категорию объектов. Сложную систему, испытывающую целенаправленное воздействие со стороны технического устройства, условимся называть *объектом воздействия (ОВ)*.

ОВ разбиваются на классы, подклассы, группы, причем число уровней и состав признаков классификации зависит от предметной области и специфики объектов проектирования.

Примерами объектов воздействия могут служить:

1) энергия в форме механического движения твердых тел, преобразуемыми характеристиками которой могут являться:

– вид движения (поступательное, вращательное, сложное);

– вектор угловой скорости для вращательного движения или вектор линейной скорости для поступательного движения, или оба вектора для сложного движения;

– вектор момента для вращательного движения или вектор силы для поступательного движения, или оба вектора для сложного движения;

– точка приложения вектора скорости для случая вращательного движения;

2) другие виды энергии (электромагнитная, химическая, тепловая);

3) вещество (жидкое, газообразное, из дискретных твердых тел определенной или неопределенной формы и т. д.);

4) твердое тело определенной формы;

5) сложные системы (технические устройства, участки территорий, отведенные под строительство и т. д.);

6) информация и т. д.

ЗАМЕЧАНИЕ. При анализе технических объектов следует помнить, что энергия, как и информация, не существует сама по себе, а предполагает носитель энергии в виде вещества или поля, на параметры которого и осуществляется воздействие со стороны технического устройства.

5. ТИПОВАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР

Процесс преобразования описаний объекта проектирования укрупненно может быть представлен следующим алгоритмом.

Разработка точной формулировки назначения ОП, т. е. цели проектной задачи. Здесь устанавливается состав функциональных параметров, характеризующих назначение ОП (строится модель назначения ОП). На начальной стадии проектирования как объекта в целом, так и его элементов, полностью определено лишь назначение этого объекта. Поэтому первой процедурой проектирования является создание функциональной модели объекта проектирования.

Анализ назначения ОП. Здесь определяются факторы, влияющие на функциональные параметры, и устанавливаются закономерности изменений функциональных параметров в результате влияния упомянутых факторов (например, изменение крутящего момента при изменении числа оборотов, изменении шероховатости обрабатываемой поверхности при изменении глубины резания, скорости резания, материала, вида обработки и т. д.). Здесь также определяются пределы допустимых изменений функциональных параметров.

5.1. Поиск решения

Здесь осуществляется:

- генерация вариантов решений либо посредством изобретения (редкие случаи), либо путем информационного поиска аналогов (наиболее распространенный путь);
- принятие варианта решения;
- разработка структурной технической модели для принятого варианта (кинематические, гидравлические, электрические и другие схемы, схемы нагрузки, маршрутная технология);

- разработка расчетной технической модели (определение математических зависимостей для структурных элементов технической модели, определение взаимосвязей между структурными элементами, создание целостной математической модели). На основании характеристик функциональной модели объекта проектирования определяются те характеристики конструктивного воплощения (предметная модель) объекта проектирования, которые могут быть выведены на данной стадии проектирования. Полученная частичная информация о конструктивном воплощении и функциональная модель дают возможность определить физический и технический процессы, которые возникают вследствие принятого проектного решения, т. е. создать техническую модель объекта проектирования;
- анализ расчетной технической модели на соответствие поведения объекта проектирования в реальных условиях. В случае установления несоответствия осуществляется возврат на п. 3.4. Техническая модель оказывает обратное влияние на предметную модель в двух направлениях: позволяет определить или пересмотреть значение идентифицирующих характеристик предметной модели; инициирует дополнительные назначения (реализацию дополнительных функций) к объекту проектирования;
- определение идентифицирующих характеристик на основе расчетной технической модели (размеры, марки материалов, нормы времени, режимы обработки и т. д.).

5.2. Принятие решения

Здесь осуществляется:

- определение состава критериев, влияющих на пути реализации проектного решения (производительность, себестоимость, стоимость владения);
- выбор определяющих критериев, влияющих на пути реализации проектного решения и определение диапазона допустимых колебаний второстепенных критериев;
- определение взаимосвязей и зависимостей между идентифицирующими характеристиками и критериями, влияющими на пути реализации проектного решения (размеры – нормы расхода материала, качества – себестоимость, формы поверхностей – инструмент и т. д.);

- создание прямой оценочной технической модели влияний идентифицирующих характеристик на критерии (режимы резания – себестоимость, материалы – вес и т. д.);
- создание обратной оценочной технической модели влияний критериев на идентифицирующие характеристики;
- определение значений критериев для существующего варианта технической модели (себестоимость, металлоемкость и т. д.);
- проверка на соответствие полученных значений критериев ранее заданным критериям;
- анализ возможности удовлетворять заданным критериям, оставаясь в рамках данной технической модели;
- корректировка идентифицирующих характеристик технической модели по оценочной модели.

В случае принятия решения осуществляется его фиксация с последующим переходом к дальнейшей детализации принятого решения при необходимости.

На этапе детализации и фиксации решения принятые решения, их параметры и характеристики должны быть точно сформулированы и зафиксированы с тем, чтобы обеспечить формулирование задачи на последующих этапах проектирования, а также дать необходимый и возможный состав сведений для изготовления, эксплуатации и ремонта изделия.

Конструктивные характеристики объекта проектирования определяют процесс эксплуатации, который, в свою очередь, оказывает обратное влияние. Поэтому на основе полученной модели необходимо спроектировать эксплуатационную систему, в рамках которой осуществляются процессы эксплуатации.

Эксплуатационная система становится дополнительным объектом проектирования и, следовательно, для нее существует функциональная, предметная и техническая модели, которые необходимо определить, и на основе которых уточняются характеристики предметной модели основного объекта проектирования.

Конструктивные характеристики объекта проектирования определяют также процессы его изготовления, которые, в свою очередь, оказывают обратное влияние. Поэтому на основе полученной предметной модели необходимо спроектировать производственную систему (раз-

работать модель производственной системы), в рамках которой осуществляются процессы изготовления объекта проектирования.

Производственная система становится дополнительным объектом проектирования и, следовательно, для нее существует функциональная, предметная и техническая модели, которые необходимо определить, и на основе которых уточняются характеристики предметной модели основного объекта проектирования.

Указанные выше проектные работы осуществляются на любом уровне проектирования (создание принципиальной схемы, компоновка и т. д.) и отличаются лишь степенью детализации моделей.

В процессе проектирования описание объекта преобразуется и дополняется в функциональном и конструктивно-технологическом аспектах и является итерационным процессом по двум направлениям:

- формирование дополнительных назначений и их последующая детализация;
- формирование интегрированных характеристик и их последующая детализация.

Детализация – это определение некоторой цепи или граф-дерева элементов таким образом, чтобы заданные интегрированные характеристики или назначения являлись следствием суммы свойств этих элементов.

Итерации заканчиваются при получении всех идентифицирующих (предметных) характеристик.

Типовая функциональная схема проектирования в рамках любой итерации изображена на рис. 5.1.

Процесс проектирования содержит следующие типы задач (процедур):

- создание функциональной модели объекта проектирования (рис. 5.2);
- создание предметной модели объекта проектирования (рис. 5.3);
- анализ соответствия предметной модели характеристикам функциональной модели объекта проектирования (рис. 5.4);
- создание технической модели объекта проектирования (рис. 5.5);
- анализ соответствия предметной модели характеристикам технической модели объекта проектирования (рис. 5.6);
- создание функциональной модели эксплуатационной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.2);

- создание предметной модели эксплуатационной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.3);
- анализ соответствия предметной модели характеристикам функциональной модели эксплуатационной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.4);
- создание технической модели эксплуатационной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.5);
- анализ соответствия предметной модели характеристикам технической модели эксплуатационной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.6);
- создание эксплуатационно-экономической модели;
- определение экономических характеристик эксплуатационной системы;
- создание функциональной модели производственной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.2);
- создание предметной модели производственной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.3);
- анализ соответствия предметной модели характеристикам функциональной модели производственной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.4);
- создание технической модели производственной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.5);
- анализ соответствия предметной модели характеристикам технической модели производственной системы (осуществляется по аналогии с рис. 5.6);
- создание производственно-экономической модели;
- определение экономических характеристик производственной системы;
- принятие решений по функциональным, эксплуатационным, производственным, эксплуатационно-экономическим характеристикам объекта проектирования;
- детализация объекта проектирования по интегрированным характеристикам;
- детализация объекта проектирования по дополнительным назначениям.

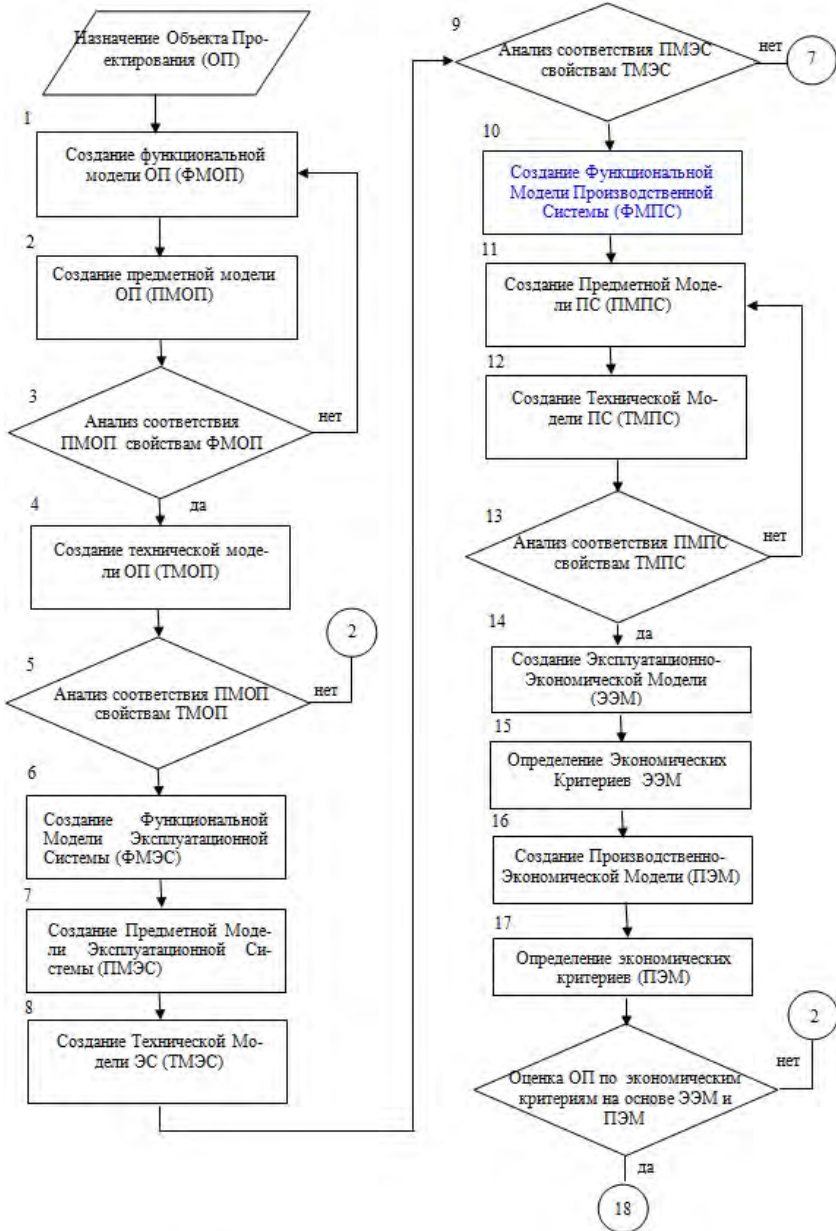
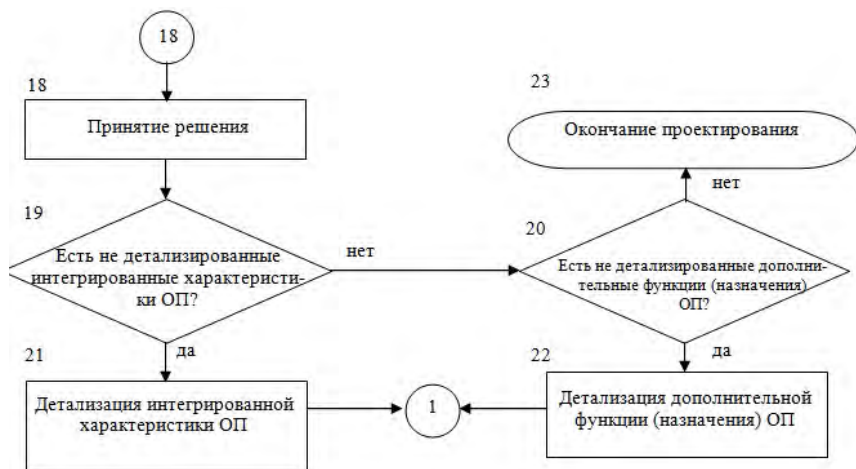


Рис. 5.1. Типовая схема выполнения проектной работы



Продолжение рисунка 5.1

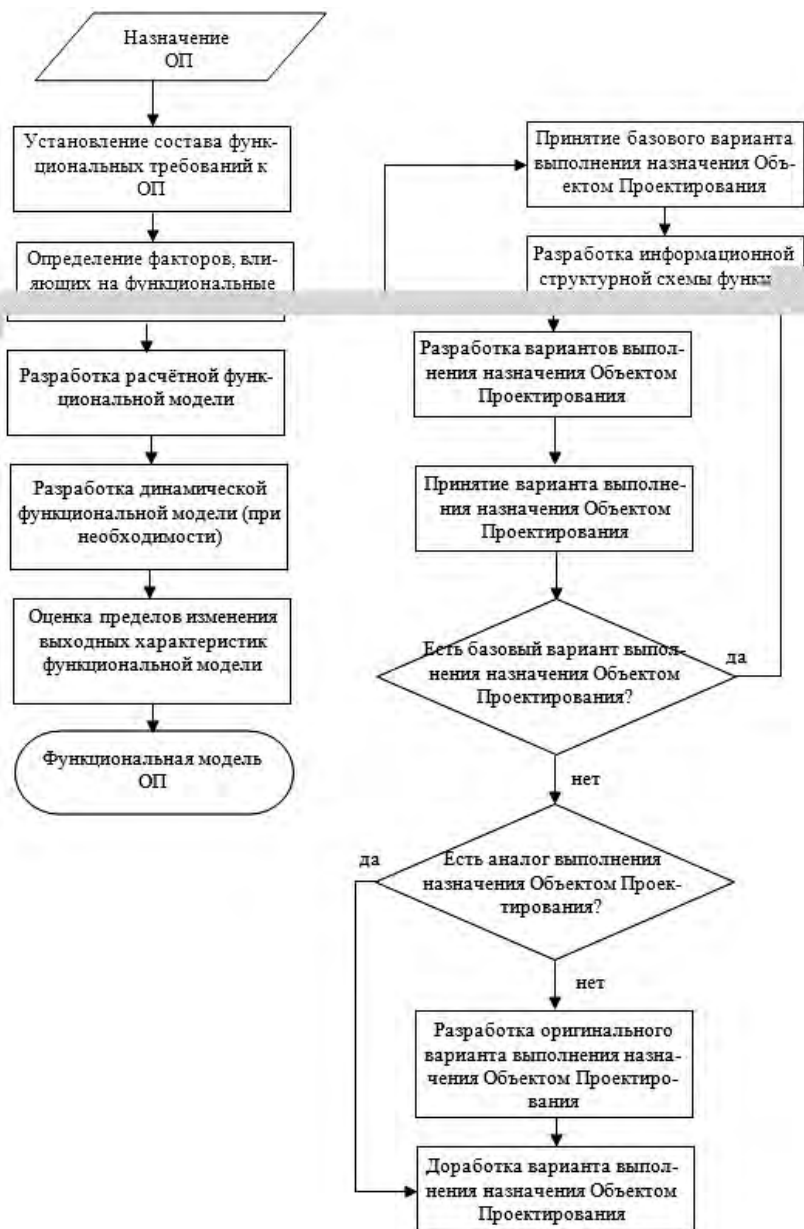


Рис. 5.2. Типовая схема разработки функциональной модели ОП

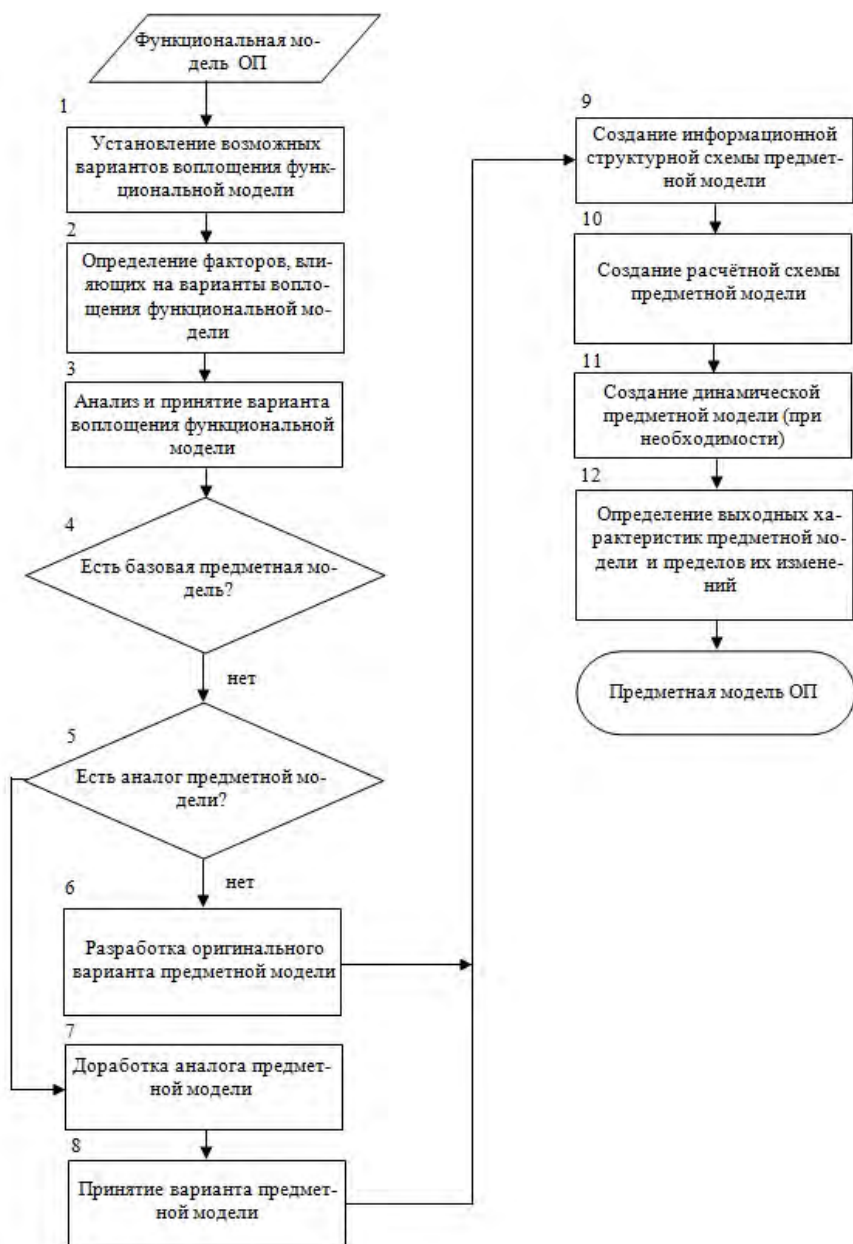


Рис. 5.3. Типовая схема создания предметной модели

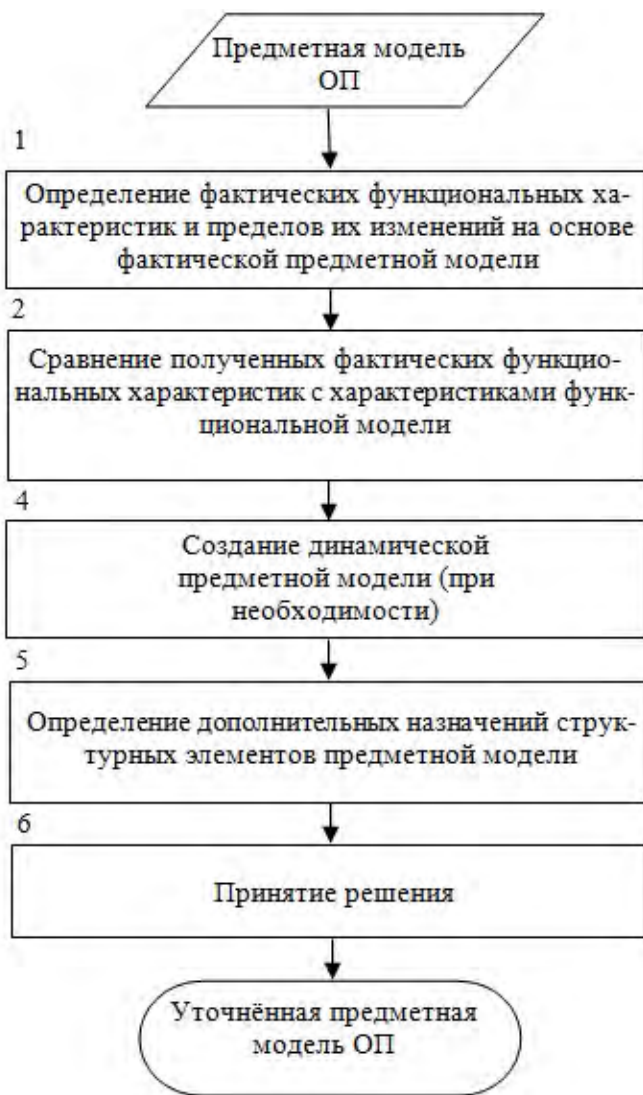


Рис. 5.4. Типовая схема анализа соответствия предметной модели характеристикам функциональной модели

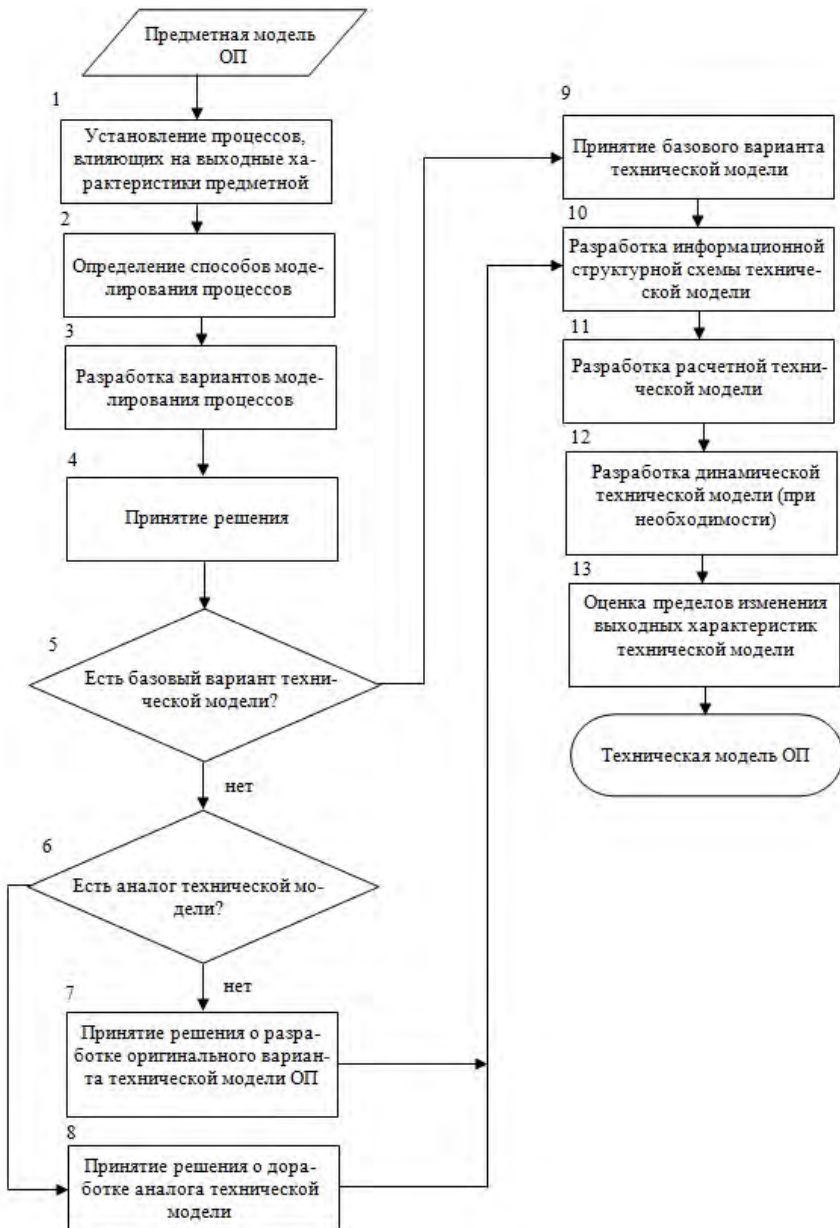


Рис. 5.5. Типовая схема создания технической модели ОП

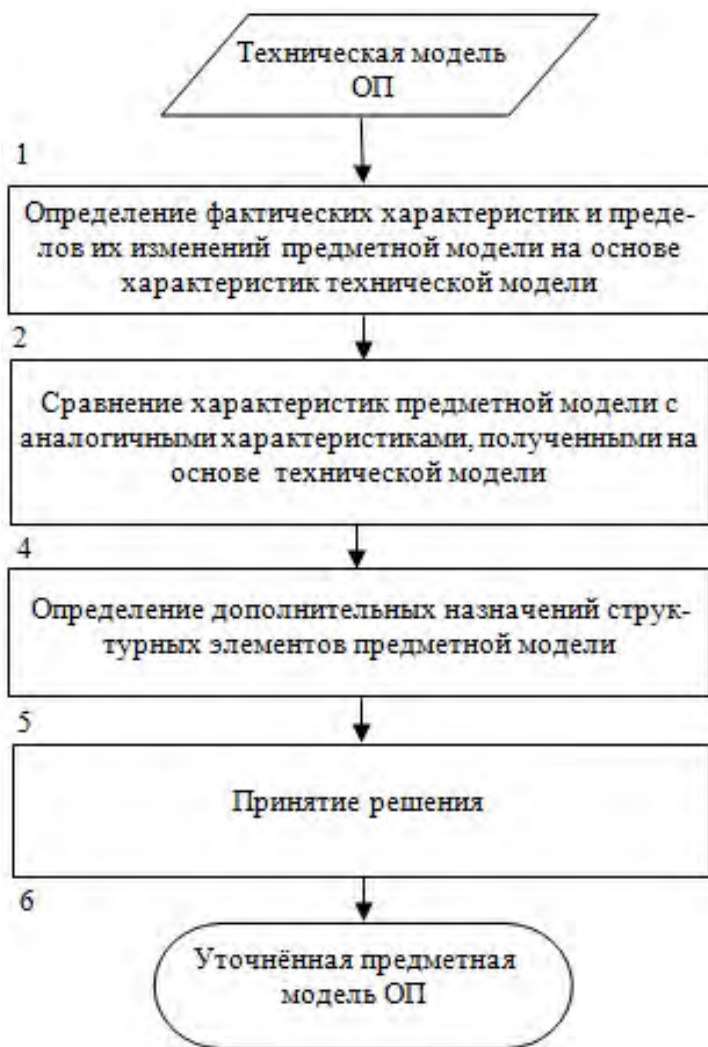


Рис. 5.6. Типовая схема анализа соответствия предметной модели характеристикам технической модели

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Autodesk – программное обеспечение для 3D-проектирования, дизайна, графики и анимации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – 2014. <http://www.autodesk.ru>. – Дата доступа: 8.10.2014.
2. Dassault Systemes Home [Электронный ресурс] – 2002–2014. – Режим доступа: <http://www.3ds.com/>. – Дата доступа: 18.09.2014.
3. Draft Federal Information Processing Standards Publication 183. Integration definition for function modeling (IDEF0). 21 December 1993.
4. Product Lifecycle Management (PLM). Siemens PLM Software (Россия) [Электронный ресурс]. – Москва: 1998–2014. – Режим доступа: http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/. – Дата доступа: 18.09.2014.
5. Siemens PLM Software – Википедия // Википедия – свободная энциклопедия. Wikimedia Foundation, Inc. [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Siemens_PLM_Software. – Дата доступа: 10.10.2014.
6. Siemens PLM Software (Россия) // Product Lifecycle Management (PLM). Siemens Industry Software. [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/. – Дата доступа: 10.10.2014.
7. UGS Corp. – Wikipedia, the free Encyclopedia // Википедия – свободная энциклопедия. Wikimedia Foundation, Inc. [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/UGS_Corp. – Дата доступа: 10.10.2014.
8. АСКОН – комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством [Электронный ресурс]. – АСКОН, 1989–2014. – Режим доступа: <http://www.ascon.ru>. – Дата доступа: 18.09.2014.
9. Автоматизированные системы технологической подготовки в машиностроении / Г. К. Горанский [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1977. – 472 с.
10. Внедрение на промышленных предприятиях информационных технологий поддержки жизненного цикла продукции: методические рекомендации / Л. В. Губич [и др.]. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2012. – 189 с.

11. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий машиностроения. Состояние. Проблемы. Решения. Монография / Л. В. Губич [и др.]. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2010. – 286 с.

12. ИНТЕРМЕХ – корпоративные решения для комплексной автоматизации технической подготовки производства [Электронный ресурс]. – ОДО ИНТЕРМЕХ, 2014. – Режим доступа: <http://www.intermech.ru>. – Дата доступа: 1.10.2014.

13. Марка, Д. Методология структурного анализа и проектирования / Д. Марка, К. МакГоуэн; пер. с англ. – Москва: Метатехнология, 1993. – 240 с.

14. Основы разработки автоматизированных систем технологической подготовки производства в машиностроении: учебно-методическое пособие: в 4 ч. Ч. 4 / Г. К. Горанский [и др.]. – Челябинск: Челябинский политехнический ин-т, 1977.

15. Прикладная логистика [Электронный ресурс]. – НИЦ «Прикладная логистика», 1998–2014. – Режим доступа: <http://www.cals.ru>. – Дата доступа: 18.09.2014.

16. Р50.1.031–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Терминологический словарь : в 2 ч. Ч. 1: Терминология, относящаяся к стадиям жизненного цикла продукции. – Москва: ГОССТАНДАРТ России, 2001.

17. РД IDEF0–2000. Госстандарт России. – Москва, 2000.

18. Топ Системы – разработчик программного комплекса T-FLEX PLM+ [Электронный ресурс]. – ЗАО ТопСистемы, 2014. – Режим доступа: <http://www.tflex.ru>. – Дата доступа: 18.09.2014.

Учебное издание

КОЧУРОВ Вадим Александрович
БОРОДУЛЯ Алексей Валентинович
КОВАЛЁВА Ирина Львовна и др.

**ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-40 05 01-01
«Информационные системы и технологии
(в проектировании и производстве)»

Редактор *Ю. В. Ходочинская*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 28.11.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 5,09. Тираж 100. Заказ 285.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.