

*Е.И. Яблочников, Ю.Н. Фомина,
А.А. Саломатина, В.С. Гусельников*

***МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
ПРИБОРОВ И СИСТЕМ В
РАСШИРЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ***

Учебное пособие

Санкт-Петербург 2009

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Е.И. Яблочников, Ю.Н. Фомина,
А.А. Саломатина, В.С. Гусельников

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ В РАСШИРЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2009

Е.И. Яблочников, Ю.Н. Фомина, А.А. Саломатина, В.С. Гусельников.
Методы управления жизненным циклом приборов и систем в расши-
ренных предприятиях / Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. –
149 с.

Данное учебное пособие предназначено для изучения методов управления жизненным циклом изделий (ЖЦИ) в условиях современ-
ных форм кооперации предприятий. Рассматриваются методы перехода
предприятий к новым организационным формам, средства моделирова-
ния бизнес-процессов, методы создания единого информационного про-
странства расширенного предприятия, алгоритмы оптимизации бизнес-
процессов ЖЦИ в условиях функционирования предприятия в единой
открытой информационной среде.

©Санкт-Петербургский государственный университет информационных
технологий, механики и оптики, 2009

© Е.И. Яблочников, Ю.Н. Фомина, А.А. Саломатина, В.С. Гусельников

1. Расширенные и виртуальные предприятия как современные формы кооперации при создании новой продукции

При создании новых видов продукции, в том числе новых приборов и систем, все большее значение приобретают различные формы кооперации. К таким формам относят аутсорсинг, расширенные и виртуальные предприятия.

Под аутсорсингом (outsourcing) понимается передача стороннему подрядчику некоторых бизнес-функций или частей бизнес-процесса предприятия с целью сокращения сроков выпуска и снижения себестоимости продукции. Сокращение сроков при этом может быть достигнуто как за счет распараллеливания бизнес-процесса, так и за счет того, что сторонний подрядчик (субподрядчик) выполнит переданную ему работу быстрее, чем, если бы эта работа выполнялась силами самого предприятия. Снижение себестоимости достигается за счет того, что субподрядчик использует более совершенные технологии или имеет более дешевую рабочую силу.

Головное предприятие, использующее при создании нового изделия услуги сторонних организаций, называют OEM-предприятием (OEM – Original Equipment Manufacturer). В ряде случаев OEM-предприятие практически выполняет только конечную сборку изделия, тогда как изготовление комплектующих (деталей и узлов) осуществляется большим числом субподрядчиков.

Под расширенным предприятием понимается совокупность всех организаций и частных лиц, принимающих участие в создании нового изделия. Помимо OEM-предприятия и субподрядчиков, сюда входят:

- поставщики различных материалов, стандартных деталей и узлов;
- заказчики, участвующие в формировании технических требований к изделию;
- потребители, принимающие участие в тестировании опытных образцов изделия (рис. 1.1).

Расширенное предприятие основывается на выявлении OEM-предприятием своих наиболее сильных сторон (так называемых стержневых компетенций) и ведении самостоятельных работ только в рамках этих компетенций. За их пределами OEM-предприятие использует аутсорсинг. OEM-предприятие способствует применению новых информационных технологий для интеграции совместной деятельности, а также

проводит организацию стратегических альянсов с наиболее эффективными партнерами.

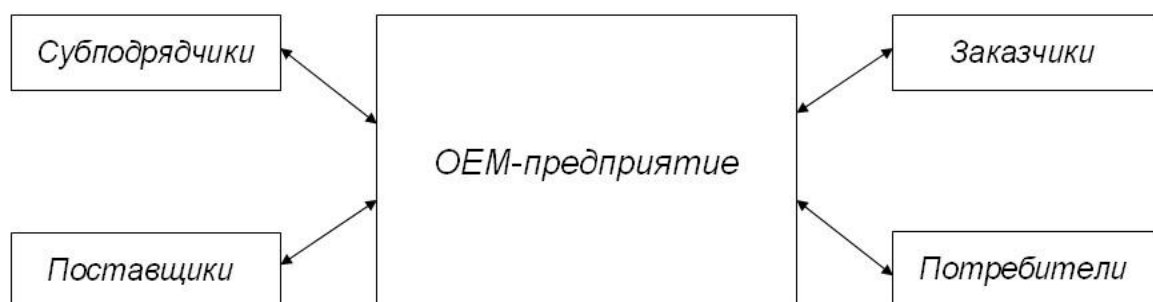


Рис. 1.1 Участники расширенного предприятия

Такое определение расширенного предприятия является достаточно общим и не затрагивает ни временных, ни юридических аспектов его создания и функционирования. Эти аспекты содержатся в определении виртуального предприятия.

Термин «виртуальное предприятие» используется в двояком смысле. В более абстрактном контексте он означает передовую и эффективную форму организации компании из ряда «мысленно возможных», которая является наилучшей с точки зрения имеющихся технических и экономических условий [1]. В более конкретном смысле виртуальное предприятие интерпретируется как «искусственно образованное» или как «мнимое, не существующее в реальном физическом пространстве» [2]. Кратко виртуальное предприятие определяется как кооперирование юридически независимых предприятий или частных лиц для обеспечения услуг (производства) на основе общего понимания бизнеса. Иначе говоря, виртуальные предприятия представляют собой группы людей, совместно занимающихся общим бизнесом, независимо от их фактического места работы и местонахождения, в том числе независимо от страны, где они находятся.

Более детально виртуальное предприятие определяется следующим образом [3]. Виртуальное предприятие – это временная межпроизводственная кооперация ряда юридически независимых предприятий, которая:

- создается в короткий срок и поддерживается с помощью современных информационных технологий;

- путем интеграции возможностей участников разрабатывает и производит актуальную продукцию или услуги;
- обходится без новых юридических образований, которые заменяются гибкой координацией.

Отличие виртуального предприятия от расширенного заключается в использовании специальной информационно-управленческой среды для координирования процессов взаимодействия всех участников кооперации, а также для обеспечения поддержки совместного использования «виртуальных продуктов» на всех стадиях их проектирования.

Таким образом, определение виртуального предприятия не противоречит определению расширенного предприятия, а конкретизирует его. В этом смысле можно рассматривать понятия «расширенное предприятие» и «виртуальное предприятие» как синонимы, акцентируя различия только там, где это необходимо.

Использование такой организации производства как виртуальное предприятие, как показал анализ, позволяет получать следующие преимущества:

- найти наиболее выгодных и надежных партнеров из-за более широкой и динамичной среды виртуального предприятия;
- получить большие возможности для экономии времени и стоимости проектирования и изготовления;
- увеличить эффективность работы предприятий-участников за счет наиболее оптимального распределения ресурсов;
- расширить распространение новых технологий, которые позволяют создавать продукцию с улучшенной конструкцией и лучшего качества;
- выпускать продукцию, оптимально соответствующую требованиям покупателей за счет более динамичной структуры виртуального предприятия.

Техническими предпосылками появления виртуальных предприятий явились компьютеризация производства и информационная интеграция. Не менее важными явились также и экономические предпосылки. Насыщение промышленного рынка товарами привело к тому, что в конкурентной борьбе выигрыш получал тот, кто успевал быстрее создавать и выпускать новые виды изделий, отвечающие постоянно возрастающим требованиям потребителя. Насущной необходимостью для каждого предприятия стало увеличение гибкости.

Гибкость – широкое понятие, под которым понимается способность предприятия приспосабливаться к изменяющимся условиям рынка. Новые компьютерные технологии проектирования и производства во мно-

гом увеличили гибкость предприятий. Совершенствовались и организационные формы.

В многочисленных мероприятиях, проводившихся в целях увеличения организационной гибкости предприятия, можно различить две тенденции:

- сегментация или расформирование крупных предприятий;
- кооперация малых и средних предприятий.

В случае сегментации больших предприятий организуются внутренние производственные сети, в которых участники независимы, но их объединение при этом сохраняется. Например, участники могут быть объединены друг с другом по схеме “заказчик – поставщик”. Сегментированные производственные единицы вступают в конкуренцию с внешними конкурентами (например, с малыми специализированными предприятиями), где они должны доказать свою состоятельность. Сегментированные единицы могут идти на различные формы кооперации для участия в производстве сложной продукции.

Кооперация малых и средних предприятий призвана использовать сильные стороны каждого из участников с тем, чтобы организовать выпуск новой конкурентоспособной продукции в минимальные сроки и получить тем самым преимущество на рынке. Партнерами по кооперации могут быть как самостоятельные предприятия, так и частично автономные производственные единицы. Эффективно организованная кооперация может составить серьезную конкуренцию даже крупным предприятиям с известным именем.

Развитие описанных выше тенденций (в совокупности с развитием информационных технологий) и привело к появлению организационных форм производства в виде виртуальных предприятий. Такие предприятия способны быстро реагировать на изменения рынка при предельно низких затратах с точки зрения традиционного бизнеса.

Так как виртуальные предприятия определяются не по признакам собственности, а по результатам их деятельности, то идентификационную функцию для них выполняют производимая продукция и услуги.

Можно выделить четыре типа организационных структур виртуальных предприятий [3].

1. Организатор (или организаторы) виртуального предприятия не принимает непосредственного участия в производстве. Его задача – выпуск на рынок конкретного продукта в кратчайший срок. Для этого организатор осуществляет подбор производителей и налаживает связи между ними (связывает производителей в сети), а также реализует функции продаж и маркетинга. Создает

мые организатором сети производителей, которые и представляют собой виртуальные предприятия, носят название активных сетей.

2. Организатор не только подбирает партнеров для активной сети, но и участвует в ряде производственных процессов, стремится управлять подбором заказов. Он стремится также занять звенья цепочки производства ценностей, по тем или иным причинам оставленные крупными предприятиями. Расширяя сферу деятельности, организатор приобретает большую устойчивость по отношению к изменениям рынка.
3. Организатор создает определенную информационную и управленческую среду для включения производителей в активные сети. Тем самым создаются предпосылки для того, чтобы в короткий срок построить нужную активную сеть, так как партнеры уже имеют опыт взаимных контактов и общие установки для совместной работы. В таких виртуальных предприятиях могут быть реализованы крупные проекты промышленного производства. Создаваемые информационно-управленческие структуры могут превратиться в настоящие инновационные пространства, где продавцы, поставщики и представители родственных областей будут обмениваться информацией о потребностях, технике и технологиях.
4. В тех отраслях, где основная часть производства осуществляется с помощью обработки информации и знаний, благодаря современным информационным технологиям возникают структуры, которые можно назвать виртуальными рынками. Отношения между участниками этих предприятий возникают только через использование специальных информационных систем. В качестве примера виртуального рынка можно привести американский телекоммуникационный концерн MCI, который создал координируемую с помощью свода правил сеть из 9000 свободных инженеров-рационализаторов. MCI тестирует и оценивает рационализаторские предложения, после чего оформляет перспективные достижения в готовые для продажи на рынке услуги. Тем самым с помощью сети MCI создает для себя доступ к рынку идей и инноваций, не имея при этом своего собственного рационализаторского отдела.

Как уже отмечалось выше, важнейшим свойством виртуального предприятия является высокая организационная гибкость. Это означает, что в виртуальном предприятии достигается быстрое соединение конкретных предприятий с определенной специализацией так, чтобы ис-

пользовать текущие возможности рынка. Иными словами, виртуальное предприятие успевает вовремя произвести необходимое количество товаров или услуг и реализовать их на рынке при максимальном спросе на данный вид продукции.

Однако быстрое соединение участников виртуального предприятия в активную сеть не может произойти само по себе. Это означает, что до определенного момента поддерживался некоторый организационный и информационный “фундамент”, на базе которого и происходит то или иное соединение. Этот “фундамент” носит название межорганизационного потенциала отношений или информационно-управленческой среды. Он постоянно активизирует кооперации и гарантирует участникам виртуального предприятия определенные пакеты заказов, а, следовательно, обеспечивает их стабильное положение. Потенциал отношений не возникает сам по себе, а формируется за счет работы отдельных лиц или коллективов, прямо заинтересованных в функционировании виртуального предприятия.

Важность информационно-управленческой среды обусловлена тем, что в начальной фазе много времени уходит на поиск подходящих партнеров, построение межчеловеческих отношений, а также на развитие общего видения ситуации. Исследования показывают, что на подготовительную фазу кооперирования падает до 30% расходов, причем многие кооперации распадаются, так и не возникнув.

Идеальный тип виртуального предприятия возникает тогда, когда на базе созданной информационно-управленческой среды вновь и вновь формируются ориентированные на заказы, временно ограниченные активные сети (рис. 1.2). При этом число партнеров в информационно-управленческой среде может быть намного больше, чем в активной сети, что приводит к новым конфигурациям деятельности специалистов предприятий.

Более сильный потенциал виртуальных предприятий, по сравнению с обычными формами кооперации, заключается, прежде всего, в начальной фазе цикла выпуска новой продукции. Здесь не только обеспечивается малое подготовительное время для выхода на рынок, но и гарантируются сравнительно небольшие производственные затраты, как результат эффективного использования межпроизводственного потенциала отношений.

Создание виртуальных предприятий сегодня рассматривается как один из путей оптимизации промышленного производства. Это рассмотрение приводит к определенной системе взглядов на то, как обычное предприятие должно использовать свои возможности.

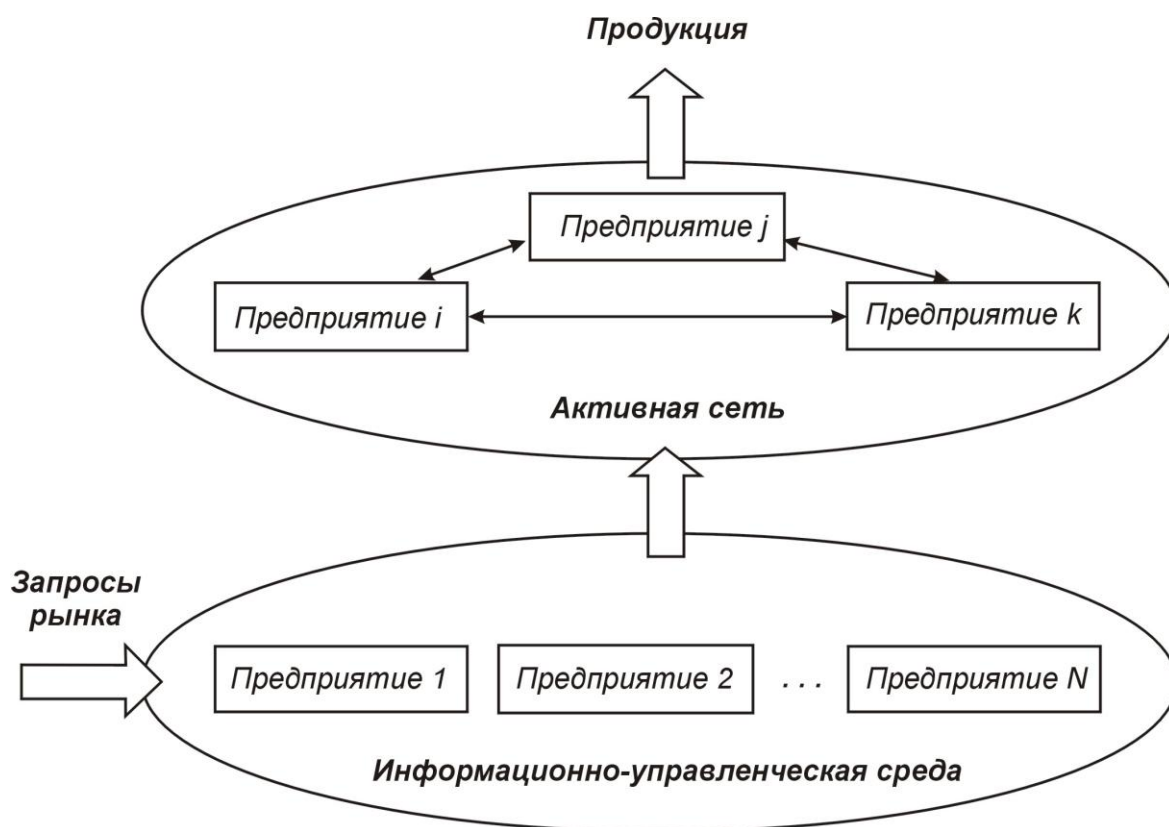


Рис. 1.2 Объединение в активные сети при создании виртуальных предприятий

Основными понятиями данной системы взглядов являются интеллектуальные и физические ресурсы предприятия. Под интеллектуальными ресурсами понимается совокупность опыта предприятия при выпуске конкретных видов продукции, внедренные передовые технологии и рационализаторские предложения, интеллектуальный уровень и знания специалистов предприятия. Интеллектуальные ресурсы – это тот потенциал, который трудно копировать реальным и потенциальным конкурентам. Под физическими ресурсами понимается структура и состав производственных подразделений предприятия, виды и количество имеющегося технологического оборудования.

Оптимизация промышленного производства на предприятии достигается за счет рационального использования его интеллектуальных и физических ресурсов в составе виртуальных предприятий. Иными словами, чтобы обеспечить оптимальное использование своих возможностей, предприятие должно осуществлять менеджмент интеллектуальных и физических ресурсов, который позволит, несмотря на определенную структурную жесткость и инерционность предприятия, быстро реагировать на динамику изменений рынка.

С помощью менеджмента интеллектуальных ресурсов можно быстро перестраиваться в соответствии с изменением рыночных запросов, а с помощью менеджмента физических ресурсов – осуществлять более полную загрузку производственных подразделений. Участвуя в виртуальных структурах, предприятие использует свои наиболее сильные стороны, а не характерные для себя производственные задачи передает партнерам. Кроме того, общаясь с партнерами, предприятие приобретает доступ к новым интеллектуальным ресурсам.

В основе функционирования виртуальных предприятий лежит постоянный поиск наиболее выгодных и надежных партнеров для производства нужных изделий. Виртуальные предприятия могут постоянно перестраивать свою конфигурацию и структуру производственных процессов так, чтобы сохранять максимальную эффективность. Благодаря своей способности создавать и использовать самые новаторские идеи при меньших затратах и в более сжатые сроки, они сегодня, в развитых странах, уже составляют серьезную конкуренцию крупным традиционным предприятиям.

Задачи управления жизненным циклом изделий в расширенных и виртуальных предприятиях. Понятие «Жизненный Цикл Изделия» (ЖЦИ) включает в себя все стадии жизни изделия – от изучения рынка перед проектированием до утилизации изделия после использования. Методология ИПИ/CALS тесно связывает понятие ЖЦИ с информационной поддержкой этапов этого цикла, которая становится возможной благодаря созданию единой базы данных о продукте (изделии) (рис. 1.3).

Согласно концептуальным положениям ИПИ/CALS, реальные бизнес-процессы отображаются на виртуальную информационную среду, в которой определение продукта представлено в виде полного электронного описания изделия, а среда его создания и среда эксплуатации – в виде систем моделирования процессов и их реализации. Все три составляющие (определение продукта, среды его создания и среды эксплуатации) не только взаимосвязаны, но и непрерывно развиваются на всем протяжении жизненного цикла продукта.

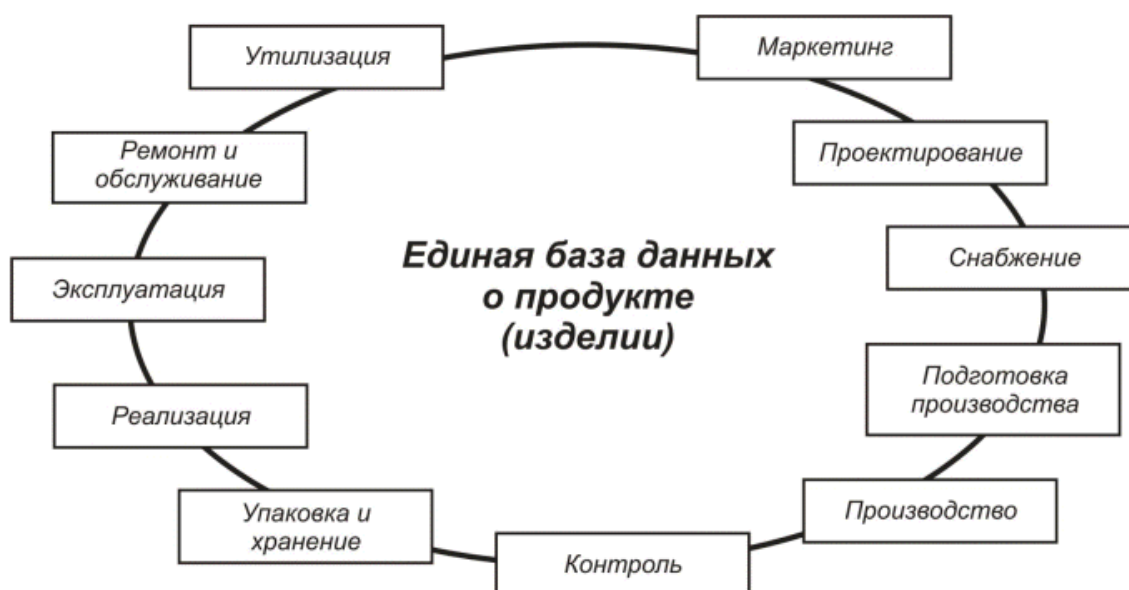


Рис. 1.3. Информационная поддержка этапов ЖЦИ

Под управлением ЖЦИ будем понимать оптимизацию бизнес-процессов, протекающих на различных этапах ЖЦИ, которая проводится на основе глобальной информационной поддержки ЖЦИ. Например, управление проектированием означает оптимизацию бизнес-процессов проектирования, которая осуществляется на основе использования единой базы данных об изделии. При управлении ЖЦИ в среде расширенного (виртуального) предприятия эта база должна быть доступна всем участникам этого предприятия, образуя для них единое информационное пространство. Ниже, используя понятия «расширенное предприятие» и «виртуальное предприятие» как синонимы, будем говорить о виртуальном предприятии.

Как было отмечено выше, виртуальное предприятие образуется не только за счет кооперирования малых и средних предприятий, но и за счет сегментирования крупных предприятий. Такое сегментирование создает распределенную конкурентную среду, в которой исполнители могут предоставлять свои услуги на условиях юридической или хозяйственной самостоятельности. Это превращает традиционную иерархическую структуру компании в структуру, основанную на принципах виртуального предприятия.

Поскольку в отечественной приборостроительной промышленности крупные предприятия составляют ее основу, то реальный масштабный эффект может быть получен только при условии перехода этих предприятий на новые организационные формы.

Таким образом, задача управления ЖЦИ в среде виртуального предприятия сводится к последовательному решению трех задач:

1. Проведение организационных преобразований крупных предприятий, направленных на создание распределенной конкурентной среды.
2. Построение единого информационного пространства для всех участников виртуального предприятия.
3. Построение алгоритмов оптимизации бизнес-процессов ЖЦИ в едином информационном пространстве виртуального предприятия.

Последующие разделы данного пособия посвящены рассмотрению подходов к решению перечисленных выше задач. При этом мы будем рассматривать решение данных задач применительно к этапу технологической подготовки производства (ТПП) ЖЦИ. Это обусловлено следующими факторами:

- рассмотрение конкретного этапа ЖЦИ позволяет строить более эффективные алгоритмы конфигурирования виртуального предприятия за счет учета специфических особенностей данного этапа;
- ТПП является одним из наиболее узких мест в процессе создания новых изделий, так что повышение эффективности ТПП путем создания виртуальных предприятий представляет собой актуальную задачу.

2. Построение единого информационного пространства для управления жизненным циклом изделий

При построении АСТПП необходимо учитывать возможности передовых информационных технологий, тенденцию к непрерывной информационной поддержке всех этапов жизненного цикла изделий, развитие ИПИ-технологий, появление новых базовых средств компьютеризации процессов проектирования и подготовки производства (CAD/CAM, CAE и PDM-систем).

Необходимо выделить наиболее существенные (глобальные) факторы, влияющие на методологию построения АСТПП. Первым из таких факторов является используемая методология построения сложных информационных систем. Вторым фактор определяет совокупность характеристик рассматриваемой/автоматизируемой предметной области, то есть совокупность тех факторов современного производства, которые существенно влияют на методы автоматизации. К ним относится специфика проведения автоматизации ТПП: методы структурирования информации о предметной области и ее предварительного анализа, методики построения новых бизнес-процессов ТПП (реинжиниринг), разработка объектно-ориентированной модели ТПП, новые формы организации и координирования, методология построения единого информационного пространства для управления всеми процессами данной области. И, наконец, третьим глобальным фактором можно считать совокупность используемых инструментальных средств.

Несмотря на существенные изменения в средствах автоматизации, используемых в АСТПП, основополагающие принципы построения АСТПП остались неизменными. Они будут справедливы при разработке АСТПП, реализованной в условиях виртуального предприятия (принцип системного единства, принцип декомпозиции, принцип модульности, принцип совместимости, принцип открытости, принцип стандартизации, принцип эргономичности и принцип ориентации на новые достижения). [4, 5].

В своей работе АСТПП осуществляет хранение и обработку информации о проектах на протяжении всего времени их жизненного цикла, а также обеспечивает управление этой информацией. К видам информации, используемой в АСТПП виртуального предприятия, относятся:

- информация о проектах ТПП (сведения об отношении проекта к определенному подразделению предприятия, приказы, распоряжения, технические задания, пояснительные записки и другое);
- информация о деталях и сборочных единицах изделия;
- информация о технологических процессах изготовления и сборки изделия;
- информация об используемых средствах технологического оснащения;
- нормативно-справочная информация;
- планово-учетная информация;
- информация, необходимая для управления работой оборудования с ЧПУ;
- информация о характеристиках операций ТПП, выполнение которых запланировано на другом предприятии;
- информация о бизнес-процессах ТПП;
- информация о пользователях АСТПП;
- учетная информация о компаниях – участниках виртуального предприятия;
- информация о заказах на выполнение ТПП;
- нормативная информация, необходимая для управления договорными отношениями с компаниями – участниками виртуального предприятия.

Все эти виды данных должны быть организованы в виде единой структурированной информационной модели, доступной для работы всем специалистам ТПП. Иными словами, должно быть организовано единое информационное пространство (ЕИП) ТПП, которое позволяет:

- принимать и хранить проект изделия в электронном виде;
- эффективно отслеживать текущее состояние ТПП изделия;
- обеспечивать целостность, непротиворечивость и отсутствие дублирования данных;
- организовывать быстрый авторизованный просмотр всех моделей и документов;
- обеспечивать оперативный обмен информацией между пользователями АСТПП;
- обеспечивать совместную работу специалистов над проектом (реализация принципа CPC – Collaborative Product Commerce);

- обеспечивать информационную согласованность работы всех подсистем АСТПП;
- поддерживать открытость АСТПП, удобство адаптации к меняющимся условиям производства;
- автоматизировать процессы управления потоками производственных заданий;
- обеспечивать информационное сопровождение проектов, реализуемых в условиях виртуального предприятия (доступ к информации об участниках и доступных ресурсах виртуального предприятия, реализованных проектах, стратегии размещения заказов на ТПП, научно-технических достижениях отрасли и уровня их реализации среди компаний-партнеров и прочее).

По результатам исследования организация ЕИП ТПП неосуществима без использования в качестве источника информации для решения всех проектных технологических задач трехмерной компьютерной модели изделия. Необходимо осуществить переход от двухмерных эскизов к 3D-моделям изделий, изменить само представление о работе технологических отделов, перевести ее на качественно новый уровень – PLM. На современных отечественных предприятиях инженеры-технологи зачастую оказываются исключены из процессов автоматизации, хотя на их долю приходится значительный объем проектных задач, таких как создание операционных заготовок, управляющих программ для станков с ЧПУ, технологических процессов. Одна из задач при создании АСТПП – внедрить PLM-решения в область технологической подготовки производства [6, 7].

Наличие большого числа данных в ТПП приводит к тому, что одним из ключевых вопросов при формировании ЕИП становится выбор базовой модели данных. При этом необходимо учитывать следующее:

- автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) создается и используется большим числом специалистов, решающих различные задачи, поэтому модель данных должна быть организована так, чтобы все специалисты могли эффективно использовать результаты совместной работы и при необходимости вносить в существующую модель свои изменения;
- процесс создания АСТПП является итеративным, поэтому модель должна с одной стороны допускать последовательные изменения, а с другой – быть устойчивой к изменениям предметной области (при модификации предметной области должен из-

меняться только некоторый минимально необходимый набор элементов и атрибутов модели) [4].

Таким условиям отвечает объектно-ориентированный подход. Принципиальное различие между структурным (функциональным) и объектно-ориентированным подходами заключается в способе декомпозиции системы. Объектно-ориентированный подход использует объектную декомпозицию, при этом статическая структура системы описывается в терминах объектов и связей между ними, а поведение системы – в терминах обмена сообщениями между объектами. Каждый объект системы обладает своим собственным поведением, моделирующим поведение элемента реального мира.

Характеристики объектно-ориентированного подхода позволяют реализовать программную поддержку базовым принципам организации АСТПП.

Одной из наиболее важных задач при создании ЕИП на основе объектно-ориентированного подхода является разработка системы классификации информационных объектов. Определение классов объектов и их характеристик формируется последовательно по мере создания АСТПП. Классификация может быть выполнена разными способами.

При построении системы классов необходимо стремиться к тому, чтобы:

- по возможности избежать дублирования информации;
- упростить работу пользователя с данными;
- учесть распределение прав доступа;
- ускорить поиск данных при выполнении запросов.

Учет всех этих факторов при выборе средств реализации АСТПП приводит к решению использовать в качестве базовой инструментальной среды PDM-систему (Product Data Management) [8, 9].

Основной целью применения первых PDM-систем было устранение несогласованности автоматизированной коллективной работы. Упорядочение, рационализация и координация движения проектной информации внутри группы конструкторов-проектировщиков достигались за счет применения этого класса систем.

Главная цель PDM – поддержка электронного описания продукта (изделия) на всех стадиях его жизненного цикла. Эта поддержка должна обеспечивать решение следующих задач:

1. Ведение проектов: управление работами, процедурами и документами в составе проекта, контроль над выполнением проекта.
2. Планирование и диспетчирование работ.
3. Распределение прав доступа к информации между отдельными участниками проекта или их группами.

4. Организация и ведение распределенных архивов конструкторской, технологической и управленческой документации (электронные архивы).
5. Управление изменениями в документации: контроль версий документов, ведение протокола работы с документами, листов регистрации изменений и извещений.
6. Фиксирование стандартных этапов прохождения документов, контроль прохождения документов по этапам.
7. Интеграция с CAD/CAM-системами и их приложениями, используемыми при проектировании.
8. Контроль целостности проекта.
9. Поиск необходимой информации в проекте на основании запросов.

В силу ее использования большим числом специалистов, PDM-система является многопользовательской и работает в компьютерной сети. Она организует ЕИП предприятия, обеспечивая создание, хранение и обработку информации в единой базе данных с помощью системы управления базами данных (СУБД). Применение PLM-технологий позволяет создать качественно новую среду компании, предоставить компании новые возможности по развитию бизнеса, взаимодействию в рамках виртуального предприятия с поставщиками и заказчиками. А значит получать более выгодные заказы за счет появления новой возможности реализовывать их исполнение в единой для всех участников процесса интегрированной среде (Web-интерфейсы). Поскольку наряду с клиент-серверной архитектурой, современные PDM-системы содержат набор web-средств, обеспечивающих работу над проектом для удаленных пользователей через Интернет. При этом Интернет играет роль универсального канала связи и позволяет организовывать эффективную совместную работу всех предприятий и лиц – участников проекта.

Наличие общей базы данных об изделии позволяет организовать процесс параллельного проектирования, когда каждый специалист использует данные об изделии для решения своих задач. Даже в тех случаях, когда последующий проектант использует результаты работы предыдущего, применение параллельного проектирования может заметно снизить общее время работы над проектом (рис. 2.1).

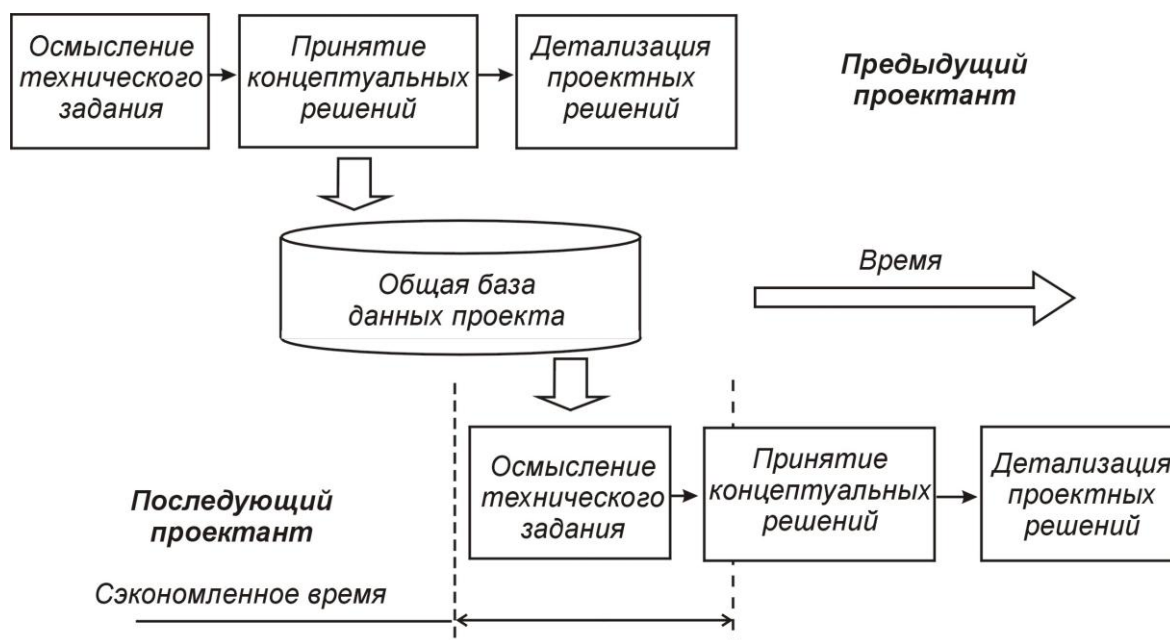


Рис. 2.1. Схема использования параллельного проектирования

В отличие от периода создания первых систем по автоматизации проектирования и производства, сегодня нет необходимости создавать всю систему «с нуля», используя лишь такие инструментальные средства как высокоуровневые языки программирования.

В основе ЕИП, создаваемого с применением PDM-системы, лежит концептуальная модель предметной области, которая может быть выражена в виде визуальной, структурной и объектно-ориентированных моделей. Модель состоит из концептуальных объектов предметной области ТПП, отражающих объекты с которыми необходимо манипулировать на стадии ТПП.

Можно выделить следующие группы концептуальных объектов:

- конструкционные объекты (изделие, сборочная единица, деталь и т. д.);
- технологические объекты (исходная заготовка, операционная заготовка, технологический процесс, операция, технологический переход, оборудование, технологическая оснастка и т. д.);
- нормативные объекты (содержатся в справочниках, каталогах, стандартах и базах данных с нормативно-справочной информацией);
- управляющие объекты (планы-графики выполнения работ ТПП, распоряжения на их выполнение и т. д.).

Концептуальные объекты связываются между собой ассоциациями типа: "целое – часть", "род – вид", "имеет – принадлежит". Концептуальная модель предметной области образуется путем определения концептуальных объектов и организации связей между ними.

Концептуальные объекты выражаются с помощью разнообразных моделей, отражающих состояние изделия при его проектировании, производстве и эксплуатации. Можно выделить следующие группы моделей: графические, текстовые, параметрические.

Графические модели – это модели, содержащие объемный образ физического объекта. Эти модели синтезируются CAD-системами. Таких моделей у объекта может быть несколько: твердотельная, каркасная, поверхностная модели, модель чертежа объекта. Графическая модель может быть выражена не только во внутренних форматах CAD-систем, но и в нейтральных форматах типа IGES или STEP.

Текстовые модели – это образы документов, хранимые в виде текстовых файлов. Например, комплект документов на технологический процесс изготовления детали может состоять из десятков технологических карт, включая титульный лист, маршрутную и операционные карты, карты с операционными эскизами, карты наладок станка и т. д.

Параметрические модели – это модели объектов и процессов, имеющие форму представления, которую нельзя отнести ни к графике, ни к тексту. Параметрические модели имеют регулярную структуру и обычно хранятся в базах данных и знаний. К параметрическим моделям относят таблицы с типоразмерами конструктивных элементов и стандартных деталей, параметрические модели технологических процессов, применяемые в САПР ТП, таблицы с типоразмерами технологической оснастки и т. д.

Как описано выше, после определения концептуальных объектов требуется установить между ними связи, т.е. описать логическую модель предметной области. Методология построения визуальной, логической и объектно-ориентированных моделей АСТПП приводится в следующем разделе.

3. Построение концептуальной модели АСТПП виртуального предприятия

Концептуальная модель АСТПП виртуального предприятия может быть представлена в виде комплекса визуальной, структурной и объектно-ориентированной моделей, дающих всестороннее описание предметной области разработки.

Описание АСТПП целесообразно начать с построения визуальной модели данной области. При этом необходимо вначале описать бизнес-процессы ТПП, реализуемой в рамках одного предприятия. Следующим шагом требуется предложить модель ТПП для условий распределенного производства (виртуального предприятия). Методология реинжиниринга является основой для выполнения такого перехода. В качестве средства реализации необходимо использовать системы визуального и имитационного моделирования. Полученный результат – визуальная модель АСТПП виртуального предприятия – позволит определить множество объектов АСТПП и их взаимосвязи. Собранные таким образом данные позволяют построить структурную модель АСТПП виртуального предприятия, включающую математическое описание ключевых объектов области исследования, их отношений и всех типов используемых в модели ограничений, а также логическую схему АСТПП. На основе визуальной и структурной моделей может быть разработана объектно-ориентированная модель АСТПП виртуального предприятия. Для концептуальных объектов разрабатываются классы данных (*CL*) и определяются связи между ними, идентификационные и поисковые параметры.

Разработка визуальной модели ТПП, учитывающей выполнение работ в условиях кооперации. Разработка визуальной модели ТПП, учитывающей выполнение работ в кооперации с другими предприятиями осуществляется для [10]:

- определения объема и состава данных, задействованных в распределенной ТПП;
- определения основных бизнес-процессов, регламентирующих функционирование АСТПП виртуального предприятия;

- построения графического представления ТПП, облегчающего восприятие анализируемых данных, а значит способствующего принятию наилучшего решения.

Согласно методологии реинжиниринга создание визуальной модели ТПП виртуального предприятия проводится в несколько этапов [11-13]:

- Предварительный сбор информации.
- Моделирование действующих бизнес-процессов ТПП классического предприятия.
- Анализ полученных данных.
- Подготовка предложения по реинжинирингу ТПП в соответствии с поставленной задачей – расширением сферы применения ТПП до уровня виртуального предприятия.
- Разработка проекта визуальной модели ТПП виртуального предприятия.

Для реализации первых двух этапов необходимо основываться на академическом представлении ТПП, согласно которому ТПП включает:

- обеспечение технологичности изделия (включая технологичность конструкции изделия и технологичность выполнения работ при его изготовлении, эксплуатации и ремонте);
- разработку и внедрение технологических процессов (механообработки, сборки, штамповки, литья, термообработки и др.) для изготовления деталей и узлов изделия;
- проектирование и изготовление необходимого нестандартного оборудования и средств технологического оснащения (приспособлений, пресс-форм, штампов, специального режущего и измерительного инструмента);
- управление процессами ТПП.

Для создания визуальной модели сложной системы необходимо выработать методику представления исходных данных объекта исследования на языке диаграмм. С системных позиций необходимо основываться на многоуровневом рассмотрении ТПП: на основе декомпозиции каждая функция разделяется на задачи, а те в свою очередь на подзадачи. Это означает, что на каждом уровне модель должна давать ответы на вопросы пользователей с заданной степенью детализации. То есть теоретически можно все бизнес-процессы ТПП описать в одной диаграмме, но тогда она перестанет быть наглядной, поэтому предлагается разработать набор моделей, связанных между собой по принципу «программа-подпрограмма».

К рекомендуемым правилам построения моделей относятся следующие:

- модель должна быть наглядной и легко читаемой;
- при разработке модели необходимо ее детализировать в той степени, какая требуется для описания поставленной задачи, но не более;
- не следует перегружать диаграмму, рекомендуется использовать минимальное количество блоков (без нарушения смыслового наполнения модели); все участки, составляющие законченную часть процесса, необходимо представлять в виде подпрограмм, однако они должны являться логически законченными моделями, понятными сами по себе, а не только в контексте предыдущих разработок;
- при необходимости следует элементы модели сопровождать комментариями.

Основываясь на принципе декомпозиции можно выделить следующие основные бизнес-процессы ТПП классического предприятия:

- ТПП изделия.
- Наполнение баз данных технологического назначения.
- Проектирование ТП.
- Разработка ТП изготовления изделия.
- Разработка ТП сборки изделия.
- Разработка технологической документации.
- Проверка изделия на технологичность.
- Разработка маршрутного ТП.
- Описание заготовительных операций.
- Выбор материала и/или сортамента на материал.
- Разработка операционных ТП на операции, выполняемые на универсальном оборудовании.
- Разработка операционных ТП на операции, выполняемые на оборудовании с ЧПУ.
- Утверждение ТП.
- Заказ на изготовление или покупку технологической оснастки (ТО).
- Проектирование ТО.
- Изготовление ТО.

Моделирование начинается с представления укрупненной модели проекта – ТПП изделия, далее степень детализации описания увеличивается. При этом если представить взаимосвязь между процессами в виде графа, вершинами которого являются модели, а ветвями логические связи между ними, то он будет представлять собой не цепочку, а дерево, рис. 3.1.

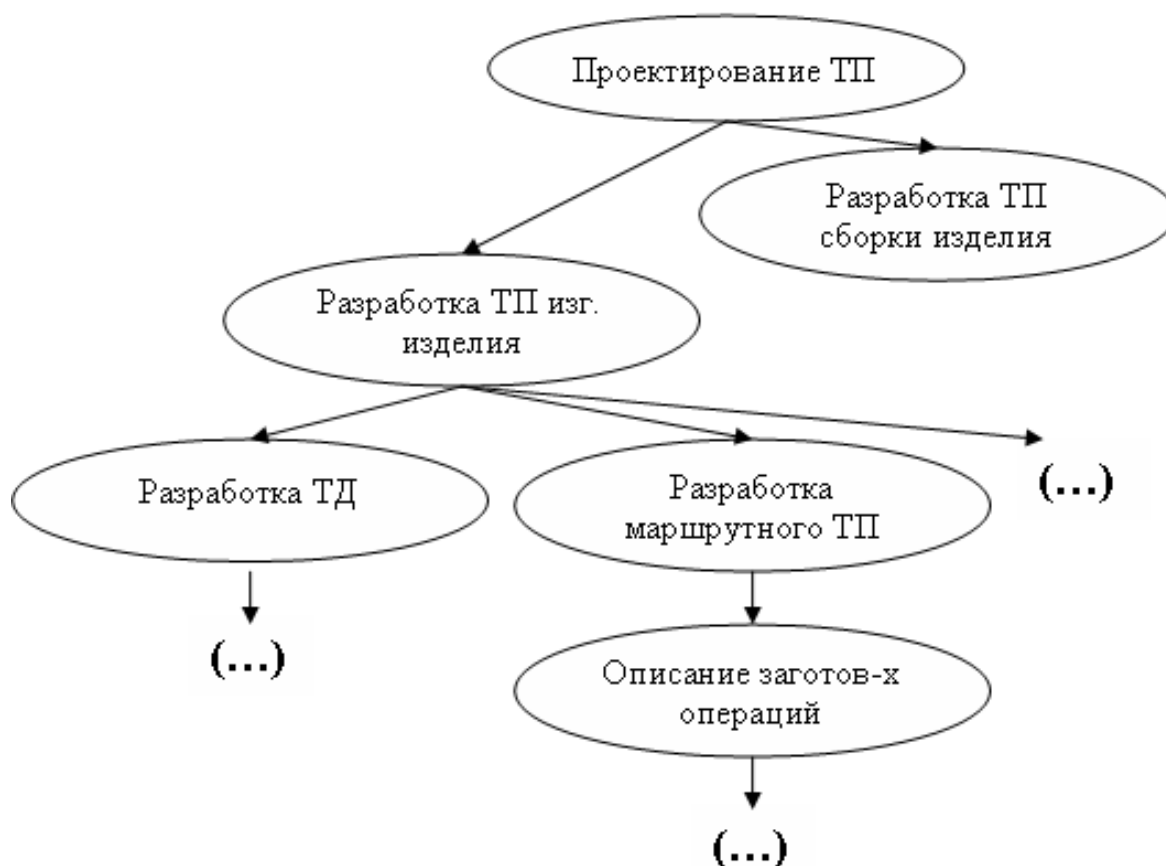


Рис. 3.1. Граф логических связей между бизнес-процессами ТПП

Исходя из предположения, что перевод ТПП на новый уровень реализации (уровень виртуального предприятия) лишь добавляет функциональности бизнес-процессам ТПП, но не исключает ранее созданных компонентов, требуется выполнить модернизацию визуальной модели ТПП классического предприятия.

При этом наращивание данных должно происходить по двум направлениям:

- Количественному – увеличение числа бизнес-процессов за счет введения новых процедур, отвечающих за взаимодействие предприятий.

- Качественному – увеличение числа блоков (компонентов) ранее построенных моделей за счет учета элементов кооперации.

То есть необходимо не только усовершенствовать уже существующие на предприятии процессы ТПП, но и предложить новые, учитывающие особенности выполнения работ в кооперации. При решении любой задачи ТПП проектировщик должен распределять работы между участниками виртуального предприятия. Какая-то их часть может быть выполнена силами собственной компании, остальное же необходимо распределить между партнерами. Принятие такого рода решений нуждается в более высоком уровне информирования сотрудников, ответственных за реализацию процесса, о ресурсах виртуального предприятия, кооперационной политике компании, наличии прецедентов подобных решений и их результатах.

Невозможно при моделировании распределенной ТПП обойтись без процессов, регулирующих механизмы передачи и согласования заказов, как внутри самой компании, так и при ее взаимодействии с деловыми партнерами. Особые ограничения на такие процессы накладываются в виду реализации в среде виртуального предприятия совместной работы над проектами, а не только обычной для классических предприятий передачи данных о заказе.

Итак, на основании анализа исходных процессов требуется провести разработку визуальной модели ТПП, реализуемой в условиях кооперации предприятий. Скорее всего, при реализации данной задачи большинство ранее созданных моделей ТПП подвергнутся доработке. На рис. 3.2 представлен пример процесса проектирования ТП с учетом его реализации в среде виртуального предприятия. Внесение подобных поправок делает функциональные модели более разветвленными, значительно усложняя общую структуру процессов.

Кроме того, при построении моделей необходимо учитывать, что формирование заказов в ряде случаев требует внесения в бизнес-процессы дополнительных операций по подготовке описания заказа. Данная информация необходима менеджерам предприятия для корректного исполнения задания.

Выполнение ТПП в условиях кооперации предопределяет появление новых моделей, связанных с управлением процессами взаимодействия предприятий.

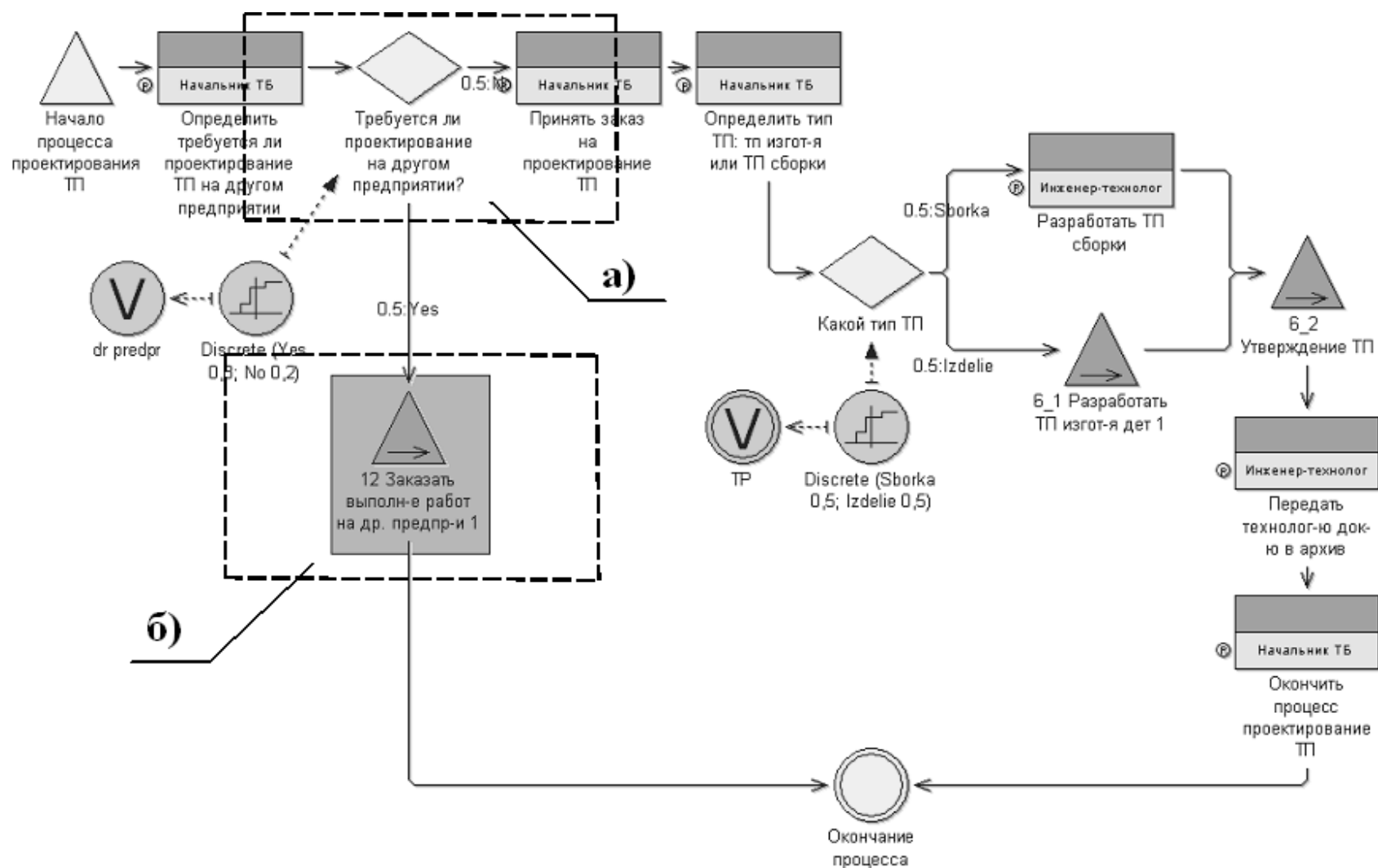


Рис. 3.2. Модель «Проектирование ТП» (а - Принятие решения о кооперативной реализации задачи ТПП; б - Отправление заказов на ТПП)

Например, могут быть введены следующие бизнес-процессы:

- Разработка операционных ТП на операции, выполняемые на оборудовании другого предприятия.
- Заказ работ на другом предприятии.
- Действия по реализации заказа в условиях кооперации.
- Согласование заказов проекта с другими предприятиями.

Число новых бизнес-процессов ограничивается необходимостью создания типовых моделей ТПП, учитывающих специфику работы в условиях кооперации предприятий.

Согласование заказа между партнерами является сложной задачей. В качестве примера на рис. 3.3 представлен процесс согласования условий контракта между участниками виртуального предприятия. Несмотря на то, что для функционирования виртуального предприятия нет необходимости в создании нового юридического образования, реализация всех совместных проектов осуществляется только после заключения официального договора. При этом совместная реализация проектов предполагает более глубокого изучения информации о заказе еще на этапе согласования.

Рассматриваемый процесс должен учитывать все нюансы развития событий по согласованию, принятию и реализации проекта (а может и отклонения данного предложения одной из сторон). Предлагается предусмотреть многоступенчатую систему согласования документации участниками виртуального предприятия, когда расторжение предварительных договоренностей может наступить практически на любом этапе взаимодействия компаний.

Визуальная модель ТПП строится с помощью средств визуального и имитационного моделирования и включает комплекс функциональных, организационных и информационных моделей. Рассмотренные в примере модели были построены с помощью системы Adonis. Использование данных бизнес-моделирования позволит создать предпосылки для разработки структурной модели АСТПП виртуального предприятия.

Разработка структурной модели АСТПП виртуального предприятия. Одной из основных задач при проектировании АСТПП виртуального предприятия является разработка структуры системы, учитывающей наряду с основными функциями ТПП, вопросы отслеживания, координирования и развития кооперации между участниками виртуального предприятия.

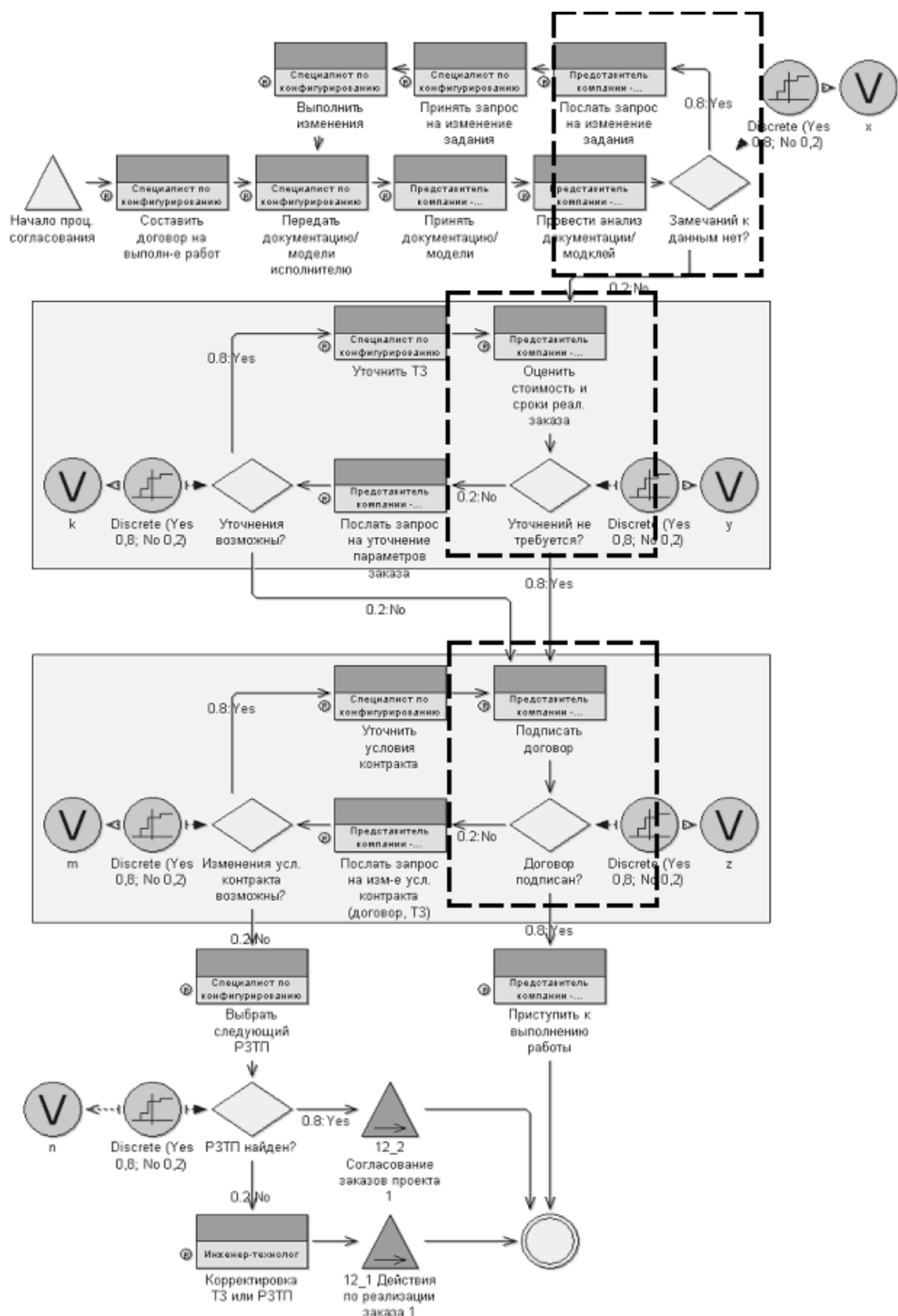


Рис. 3.3. Бизнес-процесс согласования условий реализации заказа в среде виртуального предприятия

Для решения данной проблемы необходимо провести анализ предметной области и выявить все виды объектов, участвующие в бизнес-процессах распределенной ТПП. В качестве исходного материала в данном случае целесообразно использовать визуальную модель объекта исследования. Описание ТПП в виде визуальной модели позволяет провести функциональный, информационный и организационный анализ. В результате чего проектировщик получает все необходимые данные для описания типов объектов, задействованных при ТПП изделия в распределенной среде виртуального предприятия.

В свою очередь полученные при анализе на первом этапе данные могут быть описаны и систематизированы на языке теории множеств, при этом будут определены их характеристики, ограничения и виды отношений. По сути, здесь разрабатывается математическое и логическое представление ТПП.

Для каждого класса определяются свойства и методы, позволяющие для объектов класса задать идентификационные и поисковые параметры; параметры, относящиеся к жизненному циклу и состоянию объекта, а так же ссылки на файлы с моделями объекта. Классы объектов, объединенные ассоциациями типа "целое – часть", "имеет – принадлежит" образуют логическую модель предметной среды ТПП.

Визуализация логической модели может быть выполнена с помощью диаграммы классов на языке UML. Диаграмма классов представляет собой дерево с вершинами-классами, соединенными дугами, отражающими указанные выше ассоциации. Реальное функционирование информационных потоков в ТПП выполняется с помощью объектов (экземпляров класса), порожденных на основе предложенных классов.

Введем следующее определение: *информационный объект* – это комплекс, состоящий из объекта, порожденного одним из разработанных классов, и множества моделей, закрепленных за этим объектом.

Для информационных объектов характерны два важных свойства. Во-первых, информационные объекты, по мере реализаций стадий ЖЦИ, меняют свое состояние: дополняются новыми моделями, а старые – модифицируются, т. е. информационные объекты меняются во времени. Во-вторых, информационные объекты связаны между собой отношениями, аналогичными отношениям между классами, породившими эти объекты, и образуют *обобщенную модель изделия*.

Таким образом, обобщенная модель изделия – это информация об изделии, зафиксированная на текущий момент ЖЦИ, и представляющая собой систему связанных между собой информационных объектов для заданного изделия. Обобщенной модель названа потому, что она может включать в себя всю информацию, относящуюся к изделию, включая

информацию о технологических процессах, нормативных и управляющих объектах.

Обозначим модель изделия как GMP – Generalized Model of Product (рис.3.4). В общем виде GMP на момент t может быть записан следующим образом:

$$GMP_t = \langle MIO, GrMP \rangle_t;$$

$$MIO = \{ IO_i \}, i=1, \dots, n_t;$$

где:

MIO – множество информационных объектов, образующих состав GMP;

GrMP – граф, фиксирующий связи между информационными объектами;

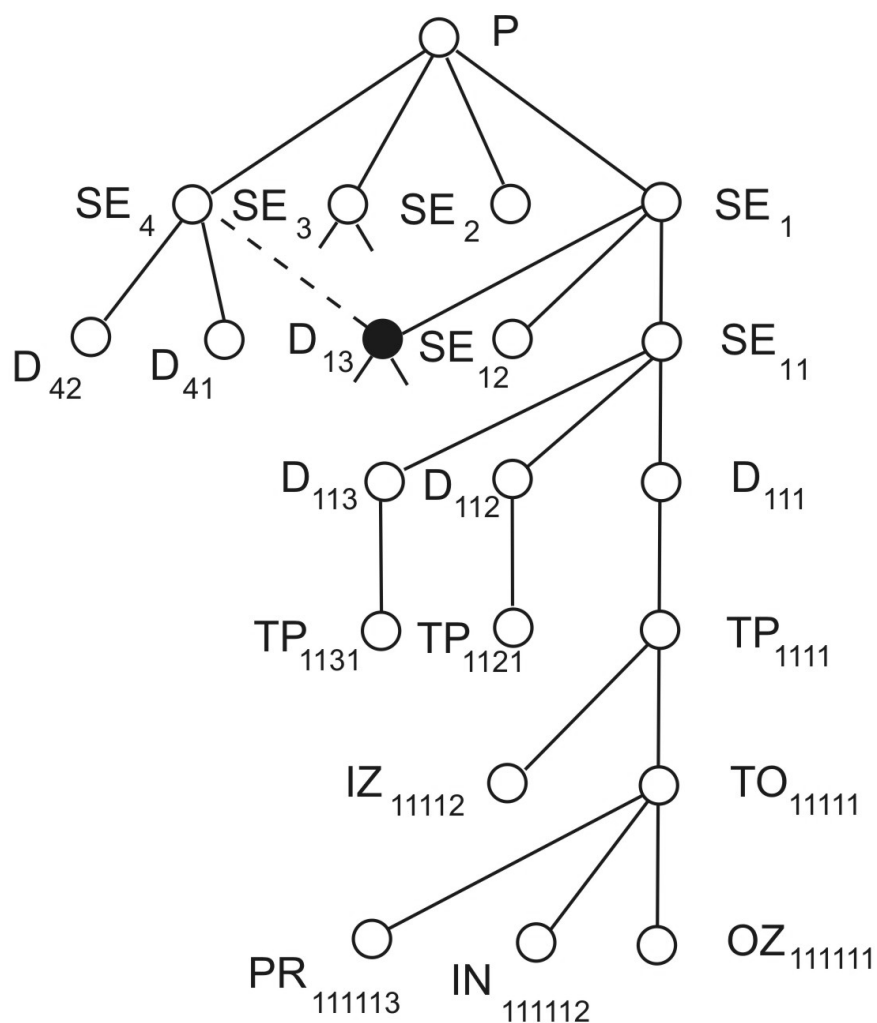
IO_i – i -й информационный объект.

Граф GrMP – это направленный граф, вершинами которого являются информационные объекты, а дуги отображают отношение «имеет – принадлежит». В первом приближении будем считать граф GrMP иерархическим графом, т.е. графом типа «дерево». Корневой вершиной дерева является IO класса «Изделие». Эта вершина связана с вершинами IO – "СЕ", которые в свою очередь связаны с вершинами IO – "СЕ", следующего уровня детализации, и (или) с вершинами IO-"Деталь". Вершины IO – "Деталь" связаны с вершиной IO – "Процесс" и т. д.

Необходимо отметить, что некоторые объекты могут повторяться. Одни и те же СЕ и детали могут входить в различные сборочные единицы. Если для повторяющихся информационных объектов дублировать их деление на нижестоящие IO, то граф GrMP сильно разрастается.

Первичным информационным объектом называется информационный объект, который сформирован и вставлен в граф GrMP первый раз.

Вторичным информационным объектом называется информационный объект, который сформирован и вставлен в граф GrMP повторно. Для вторичных информационных объектов не нужно деление на нижестоящие объекты, достаточно дать ссылку на первичный IO. Дуга ссылки на первичный IO отображает отношение "первичный - вторичный": если IO_i "первичный" для IO_j , то IO_j "вторичный" для IO_i . Например, информационный объект D_{13} (см. рис. 3.4) уже подчинен информационному объекту SE_1 , является вторичным для SE_4 и поэтому связан с ним дугой-ссылкой. Иначе говоря, если деталь уже входит в какую-либо сборочную единицу, то ее повторное вхождение в другую сборочную единицу отмечается как ссылка.



○ - первичный информационный объект

● - вторичный информационный объект

Обозначения:

P - изделие; SE - сборочная единица; D - деталь;

TP - технологический процесс;

TO - технологическая операция;

IZ - исходная заготовка;

PR - приспособление; IN - инструмент;

OZ - операционная заготовка.

Рис. 3.4 Граф GMP для модели изделия

Использование дуг-ссылок превращает граф GrP в граф типа "сеть". Граф GrP, в котором не используются дуги-ссылки, назван полным графом изделия. Если такие дуги используются, то граф назван

сжатым графом изделия. Сжатый граф используется для хранения GrP в базе данных ЕИП, а полный граф – для визуализации проекта на экране компьютера, при этом сжатый граф преобразуется в полный граф.

В отношении задач ТПП классического предприятия можно выделить следующие виды объектов системы:

- проекты;
- пользователи;
- изделия;
- структура предприятия;
- конструкторская документация;
- покупные изделия;
- технологическая документация;
- технологические процессы;
- материалы, полуфабрикаты;
- оборудование;
- инструмент, технологическая оснастка;
- нормативная документация;
- ГОСТы;
- формы документов;
- режимы обработки;
- нормативно-справочные таблицы;
- электронный архив;
- документы.

Группа «проекты» определяет представления данных в системе (верхний уровень), когда систематизация деятельности компании может производиться: по связи с организационной структурой, по составу изделия или по двум направлениям одновременно.

Изделия и конструкторская документация являются входными данными для выполнения ТПП. Технологическая документация содержит все вспомогательные виды документов (например, приказы на выполнение ТПП, технические задания и прочее). Технологические процессы являются основой для ТПП изделия, для их проектирования требуется наличие баз данных материалов/полуфабрикатов, оборудования, инструмента и технологической оснастки, стандартов (предприятия, отрасли), включая государственные, форм документов, параметров режимов обработки и другой нормативно-справочной информации. Электронный

архив должен содержать все технические документы предприятия, относящиеся к проектированию и изготовлению продуктов производства.

Новые виды объектов появляются при рассмотрении бизнес-процессов ТПП, связанных с кооперированием участников виртуального предприятия, организацией активных сетей и оптимизацией их конфигурирования. Относительно классического подхода модернизации подвергается даже такой класс объектов как «Документы»: вводятся новые виды документации, регламентирующей правовые отношения сторон – участников виртуального предприятия.

В соответствии с анализом исходных данных предлагается использовать новые виды объектов:

- заказы;
- информация о подрядчиках/потенциальных исполнителях;
- предложения от потенциальных исполнителей;
- информация о ранее совершенных в среде виртуального предприятия сделках;
- бизнес-процессы.

Также предлагается уточнить следующие виды данных:

- документы;
- технологическую документацию;
- технологические процессы.

Для построения АСТПП виртуального предприятия необходимо детально изучить отношения между новыми объектами данной области. Формирование базы данных PDM-системы требует наличия точных сведений о назначении и поведении объектов базы данных.

В соответствии с проведенной на первом этапе систематизацией структурная модель распределенной ТПП включает множество проектов (Pr) предприятия:

$$Pr = (< Pr_1, ..., Pr_i, ..., Pr_I >, Name_{Pr}),$$

где Pr_i – проект, I – текущее число проектов компании, $Name$ – наименование i -го проекта.

Проектом может быть, например, разработка автомобильного двигателя или пример реализации распределенной ТПП.

Следующим структурным элементом модели является изделие ($Изд$). Целесообразно описывать изделия как часть какого-либо проекта компании. При этом данное множество может содержать различные виды объектов, как то сборочная единица, деталь, комплект, дизайн-

модель и другие. Степень вложенности экземпляров данного класса определяется сложностью изделия.

В упрощенном (усредненном по видам входящих объектов) варианте изделие может быть описано:

$$Изд = (< Изд_1, ..., Изд_j, ..., Изд_J, >, Tipe_{Изд}, Stage_{Изд}, Name_{Изд}, Mass_{Изд}, Use_{Изд}),$$

где $Изд_j$ – изделие, J – общее число изделий входящих в текущий проект, $Tipe$, $Name$, $Mass$, Use – соответственно вид/тип, наименование, масса и первичная входимость изделия, а $Stage$ – стадия проекта (например, опытное или серийное производство).

Выбор перечисленных характеристик изделия связан с требованиями (ГОСТ) к оформлению основной надписи конструкторских документов.

Следующее звено в цепочке структурных элементов АСТПП, участвующих в процессах реализации ТПП в условиях кооперации, – это технологические процессы (ТП), конкретнее – обобщенные (ресурсне-зависимые) технологические процессы (РНТП). Каждый технологический процесс будет формироваться на основе РНТП и множества заказов ($З$) на выполнение работ за счет ресурсов предприятий-партнеров:

$$ТП = (< (РНТП_1, З^1), ..., (РНТП_k, З^k), ..., (РНТП_K, З^K) >, Name_{ТП}, Number_{ТП}),$$

где $(РНТП_k, З^k)$ – экземпляр класса «Технологических процессов», $З^k$ – множество заказов, относящихся к k -му РНТП, $Name$ – обозначение ТП, а $Number$ – его номер.

Множество заказов проекта на выполнение работ по ТПП, характеризуется видом работ (k), объемом, в котором должна быть выполнен данный заказ (V) и множеством ограничений/требований по качеству его исполнения (O):

$$З = (< З_1, ..., З_n, ..., З_N >, Name_з, Department_з, Description_з, k, V, O),$$

где $Name_з$ – наименование заказа, $Department$ – отдел или цех, заказавший работы по ТПП, $Description$ – описание заказа (в том числе техническое задание и сопроводительная документация).

Вид работ (код заказа) определяется проектировщиком в соответствии с классификацией задач ТПП. Множество ограничений определяет критерии выбора того или иного предложения от исполнителей на выполнение данной работы.

Предприятия-подрядчики (потенциальные исполнители заказов, участники виртуального предприятия) описываются представляющими их компетенциями. Предлагая свои услуги на выполнение какой-либо работы по ТПП, они проходят процедуру регистрации, оставляя помимо

обычной в таких случаях контактной информации (CI), сведения об имеющихся у них производственных ресурсах. С точки зрения оформления паспорта объекта требуемая информация может быть предложена в виде списка компетенций – категорий работ, соответствующих классификатору задач ТПП (k_{Π}). При этом пользователь отмечает те пункты перечня, которые соответствуют услугам компании.

$$\Pi = (< \Pi_1, ..., \Pi_i, ..., \Pi_T >, CI_{\Pi}, k_{\Pi})$$

Распределение ресурсов виртуального предприятия предлагается осуществлять следующим образом. Компании – участники кооперации информируются о наличии заказов: видах работ, их объемах, требованиях к качеству и срокам выполнения. При наличии возможностей для реализации тех или иных работ они оставляют предложения на реализацию соответствующих заказов.

Предложения от потенциальных исполнителей – это новый вид объектов АСТПП, включающий сведения о характеристиках предлагаемой услуги (O_{Π}^3) – стоимости, сроках реализации и качестве выполнения (по сути O_{Π}^3 – это предлагаемые предприятием значения параметров заказа (множества требований O)):

$$Предл = (< Предл_1^3, ..., Предл_s^3, ..., Предл_s^3 >, O_{\Pi}^3).$$

Для формирования внутреннего (доверительного) круга компаний виртуального предприятия требуется каким-то образом хранить информацию обо всех совершенных сделках и учитывать ее на этапе конфигурирования виртуального предприятия и заключения контрактов. В связи с этим предлагается ввести новый вид объектов – история работы с подрядчиком. Данная категория объектов должна в достаточно простой форме отражать оценку контрактов виртуального предприятия. То есть необходимо выработать перечень вопросов (*question*), характеризующий соответствие реального выполнения условий контракта подрядчиком, тем критериям, которые были оговорены в договоре:

$$Ист = (< Ист_1^{\Pi}, ..., Ист_1^{\Pi}, ..., Ист_L^{\Pi} >, question).$$

Нельзя объединять информацию о компаниях-партнерах и описание предложений от них на выполнение заказов на ТПП в один объект системы. При нарушении этого правила станет если невозможным, то крайне затруднительным для реализации в АСТПП, выделение доверительного (внутреннего) круга участников виртуального предприятия. Такие компании должны быть зарегистрированы в информационно-управленческой системе и должны обладать расширенными правами доступа к информации по проектам заказчика.

Последняя из списка новых видов объектов системы – категория бизнес-процессов. Описательной характеристикой данного множества является должность или имя супервизора процесса – специалиста предприятия, ответственного за реализацию бизнес-процесса и наделенного соответствующими полномочиями. В частном случае супервизор процесса может быть и его автором.

$$БПр = (< БПр_1, ..., БПр_m, ..., БПр_M >, Supervisor)$$

Согласно выбранной нотации, структурная модель виртуального предприятия (модель, не содержащая конкретных значений параметров) описывается с использованием формализма объектно-ориентированных сетей ограничений, объединяющую фреймовую модель представления знаний и сети ограничений. Данный формализм позволяет облегчить построение и интерпретацию задач реального мира, поскольку большинство из них, особенно в области управления, проектирования и конфигурирования, описываются как задачи удовлетворения ограничений. Согласно данной нотации структурная модель виртуального предприятия имеет следующий вид: $M = (CL, Q, D, F)$. Модель формализм включает множество классов CL и атрибутов Q . Атрибуты классов принимают значения из соответствующих областей $D(1), \dots, D(n), \dots$. Также описание включает множество ограничений F шести типов ($F1, \dots, F6 \subset F$), определяющих какие из значений переменных согласуются друг с другом, а также отношения между классами. Решение задачи удовлетворения ограничений есть присваивание значений каждой переменной таким образом, что все ограничения оказываются удовлетворенными.

На основании приведенных выше данных можно представить структурную модель АСТПП виртуального предприятия следующим образом:

$Пр, Изд, ТП, З, П, Предл, Ист, Б / Пр \in Cl(\text{классы});$

$Name_{Пр}, Tipe_{Изд}, Stage_{Изд}, Name_{Изд}, Mass_{Изд}, Use_{Изд}, Name_{ТП}, Number_{ТП},$

$Name_3, Department_3, Description_3, k, V, O, CI_{II}, k_{II}, O_{II}^3, question,$

$supervisor \in Q(\text{атрибуты});$

$Name_{Пр}, Tipe_{Изд}, Stage_{Изд}, Name_{Изд}, Mass_{Изд}, Use_{Изд}, Name_{ТП}, Number_{ТП}, Name_3,$

$Department_3, Description_3, k, V, O, CI_{II}, k_{II}, O_{II}^3, question, supervisor \in \mathbb{R}^+ \subset D(\text{домен}).$

При этом предлагается описать возможные ограничения следующим образом (данный список демонстрирует все типы используемых в модели ограничений):

- $\langle Pr, Name_{Pr}, \mathbb{R}^+, \langle Изд, Stage_{Изд}, \mathbb{R}^+ \rangle \in F1$ (ограничения, описывающие отношение "являться атрибутом": например, наименование проекта $Name_{Pr}$ является атрибутом класса Pr);
- $\langle Pr, Pr_i \rangle \in F2$ (ограничение, описывающее отношение "быть экземпляром");
- $\langle P_t, Предл_s \rangle \in F3$ (ограничение, описывающее отношение "часть-целое", означает логическую связь между объектами классов: например, $Предл_s$ имеет отношение к подрядчику P_t);
- $\langle Z_n, P_t \rangle \in F4$ (ограничение совместимости: например, подрядчик P_t может выполнять только определенные работы по ТПП – Z_n);
- $\langle Z_n, Предл_s \rangle \in F5$ (ограничение, описывающее ассоциативное отношение: например предложение $Предл_s$ от потенциального исполнителя ассоциативно с заказом Z_n);
- $РТП = optium(РЗТП) \in F6$ (функциональное ограничение: необходимо определить наиболее оптимальный вариант конфигурирования виртуального предприятия).

Графическая интерпретация структурной модели виртуального предприятия представлена на рис. 3.5.

Представленная схема содержит только группы объектов, принимающие участие в распределении и конфигурировании заказов ТПП в распределенной среде виртуального предприятия. Экземпляры классов объединены логическими связями таким образом, что «Предложение_{s+1}» поступило от потенциального исполнителя на «Заказ_n», входящий в проект «РНТП_k». В свою очередь «РНТП_k» был разработан проектировщиком на некоторую деталь «Изделия_j», относящегося к «Проекту_i» компании. Ассоциативные связи существуют между предприятием-подрядчиком и его предложениями на выполнение работ по ТПП. Отношение совместимости ограничивает возможность потенциальных исполнителей на реализацию заказов только тех видов, которые соответствуют компетенциям этого предприятия. Функциональные отношения объединяют информацию, необходимую для вычисления наилучшего распределения заказов среди участников виртуального предприятия.

Таким образом, структурная модель АСТПП описывает виды объектов ТПП, структуру логических связей между ними и накладываемую на них систему ограничений. Представленная в таком виде информация является исходным материалом для формирования архитектуры АСТПП виртуального предприятия.

Разработка объектно-ориентированной модели АСТПП виртуального предприятия. На данном этапе необходимо выполнить построение модели данных АСТПП виртуального предприятия, учитывающей наряду с основными функциями ТПП, вопросы отслеживания, координирования и развития кооперации между участниками виртуального предприятия. Исходным материалом для проектирования является структурная модель АСТПП.

Предлагается множествам элементов структурной модели сопоставить классы данных PDM-системы, характеристикам – атрибуты объектов, а отношениям/ограничениям – иерархические и логические связи между определенными классами. Таким образом, провести формирование архитектуры АСТПП виртуального предприятия.

Средствами PDM-системы Smarteam создаются классы, соответствующие группам объектов классического и виртуального предприятия (проекты, пользователи, изделия, структура предприятия, конструкторская и технологическая документация, технологические процессы, покупные изделия, материалы, оборудование, инструмент, технологическая оснастка, нормативная документация, ГОСТы, формы документов, режимы обработки, документы предприятия, нормативно-справочные таблицы, электронный архив), а также новые классы объектов (заказы, предложения, подрядчики, история работы с клиентами).

Построение базы данных PDM-системы основывается на точных сведениях о назначении и поведении объектов системы.

В соответствии с результатами анализа визуальной и структурной моделей объекта описания предлагается база данных АСТПП виртуального предприятия, состоящая из 20 основных классов (суперклассов). Структура базы данных отражает бизнес-процессы виртуального предприятия и предназначена для информационной поддержки его деятельности. Систематизация элементов базы данных выполнена в соответствии с их функциональным назначением. Форма представления данных наглядно отображена в табл. 3.1

Представленная схема отражает иерархию данных системы. В соответствии с поставленной задачей необходимо определить набор атрибутов для каждого класса.

Табл. 3.1. Укрупненная схема классов АСТПП виртуального предприятия

Клас-сы	Пользователи		
	Проекты (ПР)		
	→	Структура предприятия	
	→	Договора	
	→	Изделия	
	→	Подпись документа проекта	
	Конструкторская документация (КД)		
	→	Геометрические 3D-модели	
		→	Объекты CAD систем
		→	Объекты CATIA
	→	Конструкторские документы	
	Бизнес-процессы		
	Заказы		
	Подрядчики		
	Предложения		
	История работы с клиентами		
	Технологические процессы (ТП)		
	→	Компоненты ТП	
		→	Строка описания ТП
			Номер операции
			Технологический процесс
			Этап обработки
			«Расцеховка»
			Сумма технологий
			Номер перехода

			Контролируемый параметр
			План подготовки производства
			Технологическая документация
			→ Комплект ТД
			Ведомость технологическая
			Карта технологическая
			Вспомогательный документ для ТП
			Модель технологическая
			Программа с ЧПУ
			График подготовки производства
			Подпись ТД
			Комплект ТД для потребителя
			Отчеты
			Электронный архив (ЭА)
			Покупные изделия
			Материалы (М)
			Оборудование
			Оснастка
			Стандарты предприятия
			Государственные стандарты
			Бланки документов
			Режим обработки
			Расчетно-справочная документация

Множество атрибутов любого класса можно разделить на два типа: наследуемые и собственные. К наследуемым атрибутам относятся наименование, обозначение, количество и другие. В PDM Smarteam среди них выделяют два основных – это ClassID (тип объекта) и ObjectID (порядковый номер объекта в БД). Сочетание этих двух атрибутов определяет местоположение каждого создаваемого элемента класса в существующей модели данных. ClassID задает отношение элемента к классу, а ObjectID формирует уникальное обозначение для каждого вновь создаваемого элемента класса, что исключает совпадения объектов. Наследуемые атрибуты создаются автоматически в соответствии с позицией нового класса в системе базы данных (правило наследования атрибутов). Собственные атрибуты позволяют абстрагировать вновь созданный класс относительно «класса-родителя». Они определяют существенные характеристики элемента класса, которые отличают его от всех прочих видов объектов и, таким образом, четко определяют его логические границы.

Формирования специальных атрибутов классов производится следующим образом. В PDM Smarteam атрибуты класса задаются следующими характеристиками:

- имя;
- тип;
- размер поля ввода;
- зависимость от значения других атрибутов объекта;
- задание объекта с помощью выпадающего списка;
- отображаемое имя атрибута на паспорте объекта;
- описание объекта;
- ссылка на другой атрибут (автоматически заполняемое поле).

В качестве примера рассмотрим описание собственных атрибутов классов: «Заказы», «Подрядчики», «Предложения» и «История работы с клиентами».

Класс «Заказы»

Сведения о заказе должны содержать исчерпывающую информацию о предмете разработки. В данном случае необходимо учесть задание на проектирование или разработку; тип работ; временные ограничения на реализацию заказа; данные о принадлежности заказа изделию, поставленному на производство; сведения об отделе-заказчике. В соответствии с этим в табл. 3.2 представлено описание собственных атрибутов класса «Заказы».

Атрибуты «номер заказа» и «наименование заказа» дают учетную информацию; «изделие» и «номер детали или сборки» определяют объект ТПП; «тип работ» определяет категорию работ по ТПП (например, изготовление ТО); даты задают временные ограничения проекта, «ФИО» указывает менеджера предприятия, ответственного за успешную реализацию заказа; «содержание заказа» и «пояснения» позволяют создать описание проекта, а атрибуты «имя файла», «тип файла» и «директория» позволяют прикреплять файл, содержащий техническое задание.

Класс «Подрядчики»

Как показывает анализ в первую очередь необходимо задать следующие атрибуты:

- номер документа (обозначение: CN_NUMBER_DOC, тип: Integer);
- организационная форма документа (обозначение: CN_ORGANIZATION, тип: Char);
- компания (обозначение: CN_COMPANY, тип: Char);
- страна (обозначение: CN_COUNTRY, тип: Lookup Table);
- регион (обозначение: CN_REGION, тип: Char);
- город (обозначение: CN_CITY, тип: Char);
- адрес (обозначение: CN_ADDRESS, тип: Char);
- сайт (обозначение: CN_INTERNET, тип: URL);
- телефон организации (обозначение: CN_PHONE, тип: Integer);
- факс (обозначение: CN_FAX, тип: Integer);
- ФИО специалиста, разместившего предложение (обозначение: CN_NAME, тип: Char);
- должность (обозначение: CN_RANG, тип: Char);
- служебный телефон (обозначение: CN_PERSONAL_PHONE, тип: Integer);
- e-mail (обозначение: CN_MAIL, тип: URL);
- типы выполняемых работ (обозначение: CN_TYPE, тип: Boolean).

Представленные данные формируют контактную информацию пользователя. Атрибут «типы выполняемых работ» предлагается ввести для реализации автоматической выборки потенциальных исполнителей для существующих заказов из общего числа зарегистрированных предприятий.

Табл. 3.2. Специальные атрибуты класса «Заказы» с указанием характеристик

Classes → Заказы								
Имя таблицы: Zakaz				Префикс класса: CN_Zakaz				
Атрибуты	Характеристика							
	Имя	Тип	Размер	Зависимый	Выпада- ющий	Отобразить	Описание	Ссылка
Номер заказа	CN_NUMBER_ZAKAZ	Integer	8	Default Wide	(нет поля)	Номер заказа	Номер заказа	(нет поля)
Наименование заказа	CN_NAME	Char	50	Default Wide	(нет поля)	Наименование заказа	Наименование заказа	(нет поля)
Изделие	CN_PRODUCT	Char	15	Default Wide	(нет поля)	Изделие	Объект оснащения	(нет поля)
Номер детали или сборки	CN_NUMBER_DETAL	Char	15	Case Sensitive	(нет поля)	Номер детали или сборки	Номер детали или сборки	(нет поля)
Тип работ	CN_TYPE	Char	50	Default Wide	Type	Тип работ	Тип работ	(нет поля)
Срок выполнения	CN_SROK	Double Prec.	8	Default Wide	(нет поля)	Срок выполнения	Срок выполнения	(нет поля)
Дата выдачи	CN_DATE	Date	8	Default Wide	(нет поля)	Дата выдачи	Дата выдачи	Календарь
Дата выполнения	CN_DATE	Date	8	Case Sensitive	(нет поля)	Дата выполнения	Дата выполнения	(нет поля)

Для отдела/цеха	CN_DEPARTMENT	Char	50	Default Wide	Structure	Для отдела/цеха	Отдел-заказчик	Структура предприятия
ФИО	CN_PERFORMER	Char	50	Default Wide	(нет поля)	ФИО ответственного-го за приемку заказа	ФИО	Пользователи
Содержание заказа	CN_DESCRIPTION	Char	300	Default Wide	(нет поля)	Содержание заказа	Содержание заказа	(нет поля)
Тип файла	FILE_TYPE	Lookup Table	4	Default Wide	(нет поля)	Тип файла	Тип файла	(нет поля)
Имя файла	FILE_NAME	Char	128	Case Sensitive	(нет поля)	Имя файла	Имя файла	(нет поля)
Директория	DIRECTORY	Char	255	Lowercase	(нет поля)	Директория	Директория	(нет поля)
Пояснения	CN_COMMENT	Char	100	Default Wide	(нет поля)	Пояснения	Пояснения	(нет поля)

Класс «Предложения»

Необходимо определить следующие атрибуты:

- номер документа (обозначение: CN_NUMBER_DOC, тип: Integer);
- наличие опыта работы с данным производителем (обозначение: CN_BUISINESS; тип: Boolean)
- срок выполнения заказа (обозначение: CN_SROK, тип: Double Prec.);
- стоимость заказа (обозначение: CN_COST, тип: Double Prec.);
- возможность контролировать процесс реализации (обозначение: CN_CONTROL, тип: Boolean);
- характеристика используемого оборудования (обозначение: CN_MACHINE, тип: Lookup Table);
- используемые технологии, ее предпочтительность для предприятия (обозначение: CN_TECHNOL, тип: Lookup Table);
- наличие склада (обозначение: CN_WAREHOUSE, тип: Boolean);
- имя файла (обозначение: FILE_NAME тип: Char);
- тип файла (обозначение: FILE_TYPE тип: Lookup Table);
- директория (обозначение: DIRECTORY, тип: Char);
- пояснения (обозначение: CN_COMENT, тип: Char).

В данном случае учитывается перечень используемых в анализе критериев выбора оптимального размещения заказа, а также возможность оставить техническое предложение в виде прикрепленного файла.

Класс «История работы с клиентами»

Для данного класса определяются следующие атрибуты:

- Заказ был выполнен в срок (обозначение: CN_SROKI, тип: Lookup Table)?
- Заказ был выполнен с требуемым качеством (обозначение: CN_KACHESTVO, тип: Lookup Table)?
- При реализации заказа были выполнены все условия договора (обозначение: CN_DOPOLNIT, тип: Lookup Table)?

Предлагается использовать три характеристики проекта для оценки качества выполнения заказа исполнителем. Ограничение числа возможных критериев оценки до трех позволяет с одной стороны провести качественный анализ (время реализации и качество продукта являются основными показателями успешного завершения сделки), а с другой упростить систему фиксирования результатов сделки. Третья характеристика

из перечисленных позволяет внести в анализ субъективную оценку специалиста предприятия о совместной работе с рассматриваемым партнером. При этом предполагается задавать перечисленные атрибуты в виде списка (например, отлично/хорошо/удовлетворительно/плохо).

По аналогии с представленными примерами производится задание атрибутов и их характеристик других классов АСТПП виртуального предприятия.

Схематическое представление модели данных АСТПП виртуального предприятия представлено на рис. 3.6.

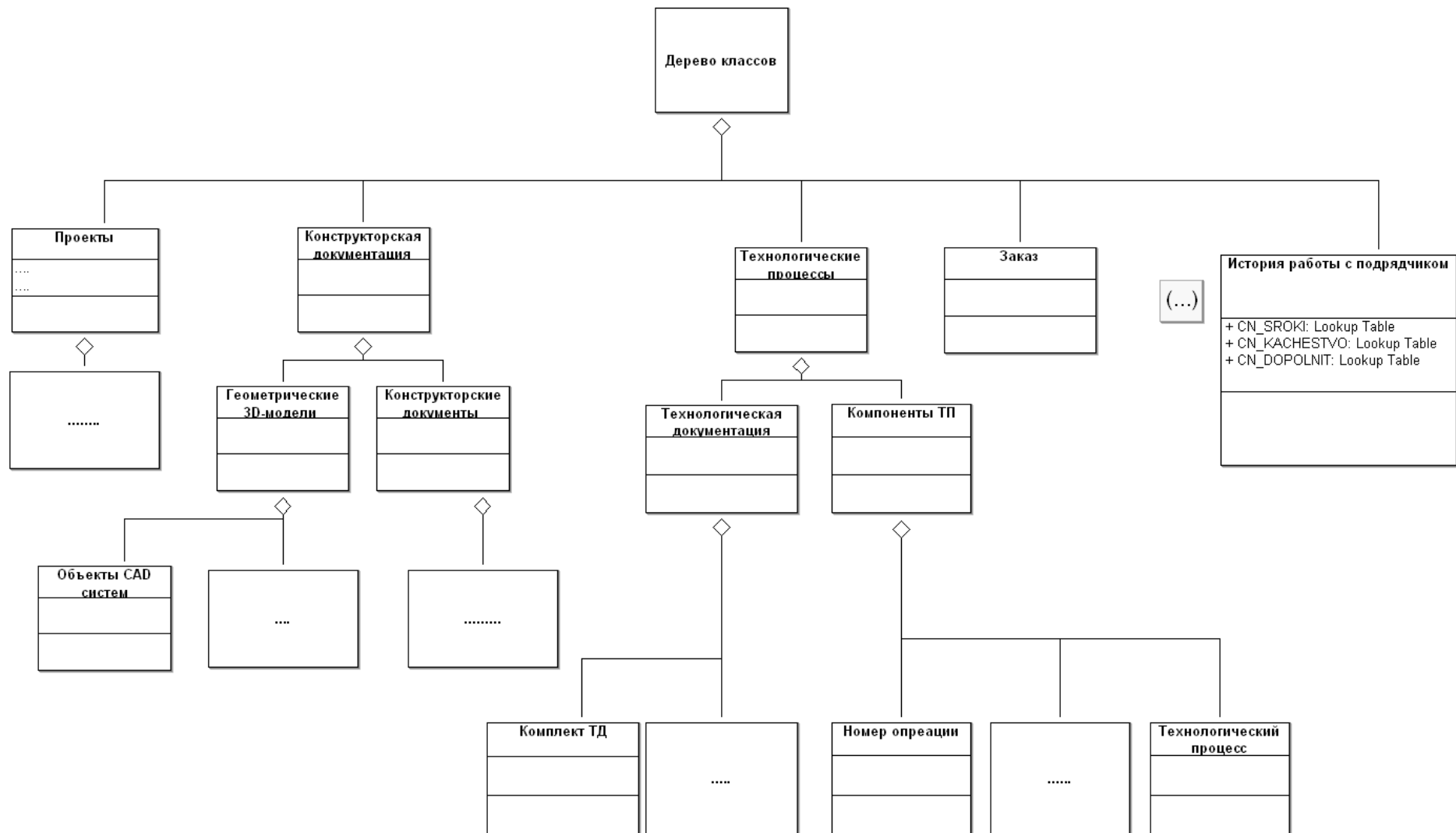


Рис. 3.6. Укрупненная объектно-ориентированная модель АСТПП виртуального предприятия

4. Разработка алгоритма конфигурирования и распределения заказов на ТПП в среде виртуального предприятия

Одной из основных задач конфигурирования виртуального предприятия является задача размещения заказа, подразумевающая наличие определенного объема работ (заказ), которые необходимо выполнить, используя для этого некоторые технологические мощности (ресурсы участников виртуального предприятия – потенциальных исполнителей заказа). Для ее реализации необходимо определить механизм поиска конкретного производителя (исполнителя заказа), а также критерии выбора этой компании среди участников виртуального предприятия.

Особенностью проектирования ТП в распределенной среде является его многовариантность. Во-первых, заданное состояние изделия может достигаться за счет реализации различных вариантов технологического процесса. Например, комплексная операция, выполняемая на токарно-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ, может заменить последовательность из нескольких токарных и фрезерных операций. Выбор того или иного варианта маршрута осуществляет обычно инженер-технолог, исходя из собственного опыта. Однако перевод ТПП изделия в среду виртуального предприятия накладывает более жесткие требования на выбор варианта ТП и его обоснование. Во-вторых, каждой задаче ТПП может соответствовать несколько потенциальных исполнителей, предлагающих различные варианты ее решения.

Учитывая рассмотренные аспекты, можно сделать вывод, что в распределенной производственной среде проектировщик создает универсальный технологический процесс, поскольку не обладает информацией о конкретных доступных возможностях, ресурсах и мощностях производителя. Этот начальный технологический процесс можно называть ресурсо-независимым технологическим процессом (РНТП). Он лишь указывает подразумеваемые процедуры, необходимые для создания изделия. При разработке РНТП проектировщик определяет, какие именно задачи ТПП будут выполнены сторонним производителем.

Поверхности, получаемые удалением материала, могут иметь требования к точности обработки (взаимного расположения элементов детали) и должны быть выполнены без перезакрепления, другими словами, каждая из них не может быть выполнена различными производителями. Если процессы изготовления двух отверстий имеют требования к

точности взаимного расположения, отверстия проводятся за одну операцию. Подобные требования влекут за собой необходимость выполнения этих процессов в пределах одного установка. То есть, операция состоит из набора переходов, которые должны быть произведены без перезакрепления одним и тем же производителем. Таким образом, можно утверждать, что увязка с конкретными ресурсами (т.е. распределение ресурсов для РНТП) должна выполняться на уровне операций.

Обычно РНТП состоит из нескольких операций. РНТП можно представить в виде разветвленного графа, вершинами которого являются операции, а ребра определяют последовательность выполнения операций. Такое представление ТП позволяет отобразить его многовариантную структуру. При этом параллельные ветви графа (множество эквивалентных вершин) соответствуют различным вариантам реализации ТП (подграфам, содержащим множество эквивалентных вершин) [14]. Для каждой операции ТП определено множество заказов Z на выполнение работ средствами стороннего предприятия.

$$Z_i^k \in Z, \text{ где } i = 0, \dots, n,$$

где Z_i^k – i -й заказ на выполнение ТПП; n – число заказов на выполнение ТПП k -й операции.

Данные заключения позволяют сделать вывод, что РНТП может быть представлен в виде двухуровневого графа. Пусть верхний уровень называется операционным уровнем графа (ОУГ), а нижний – уровнем заказов (ЗУГ). На рис. 4.1 (а, б) представлен пример изображения РНТП в вид двухуровневого графа.

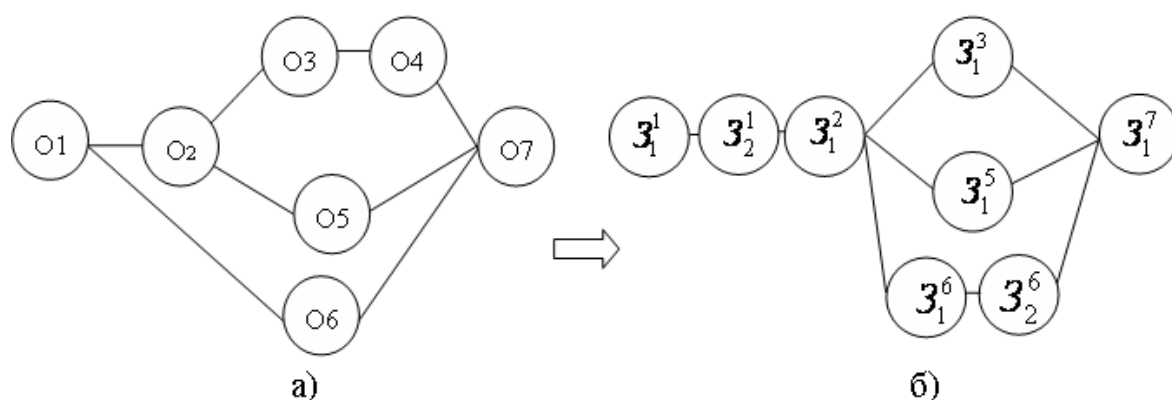


Рис. 4.1. Граф РНТП (а – операционный уровень, б – уровень заказов)

Из рис. 4.1 видно, что множество заказов, соответствующих операциям, может быть пустым или включать один или несколько заказов.

Каждый узел ЗУГ определяет требования к его характеристикам, таким как тип, точность, связанные с ним геометрические элементы и другие. В соответствии с этими требованиями происходит выбор исполнителя заказа среди участников виртуального предприятия.

Проектировщик составляет РНТП в соответствии с конструкцией изделия. Затем из опубликованного списка производителей выбираются конкретные производители, чьи производственные возможности и мощности соответствуют требованиям каждой операции. Следует отметить, что если поиск производителя не принес результатов, проектировщик может изменить конструкцию и/или составить новый РНТП. После выбора предприятие-заказчик передает конкретным производителям РНТП, который в последствии становится ресурсо-зависимым технологическим процессом (РЗТП). В соответствии с этим определено множество потенциальных участников виртуального предприятия (потенциальных производителей):

$$P_i \in P, \text{ где } i = 0, \dots, l;$$

где P_i^k – потенциальный исполнитель i -го заказа на выполнение ТПП; l – общее число потенциальных исполнителей проекта ТПП.

Преобразование РНТП с рис. 4.1 в РЗТП показано на рис. 4.2.

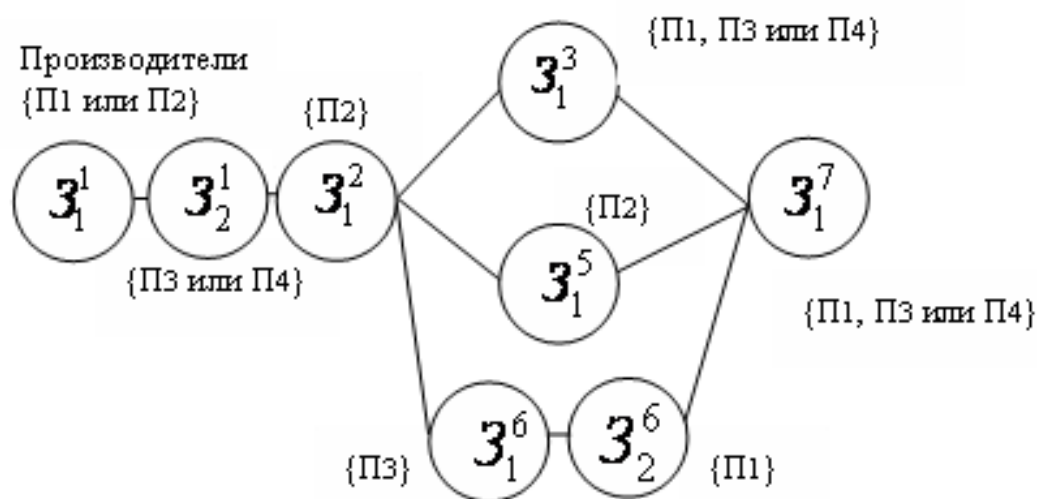


Рис. 4.2. Ресурсо-зависимый технологический процесс

На рис. 4.2 каждому заказу поставили в соответствие возможных его исполнителей. Следует отметить, что исполнитель может быть назначен на выполнение более чем одной операции.

Следующий шаг – выбор в ходе переговоров конкретного единственного производителя из ранее подобранных для каждого заказа. Предлагается осуществить подбор вариантов и определение характеристик выполнения заказа – предложений от потенциальных исполнителей в виде, например, приблизительных стоимости и времени выполнения заказа – под управлением современных информационных технологий. При этом необходимо оценить каждого производителя, опираясь на полученные в ответ предложения на участие. На основании полученных данных на последнем этапе создается распределенный технологический процесс (РТП). РТП – это оптимальный набор производителей, каждому из которых поручается группа операций, что обеспечит проектировщику оптимальные или близкие к ним характеристики производственных параметров, таких как стоимость, качество, время изготовления и другие.

Прежде чем приступить к оценке и выбору производителей для РНТП необходимо провести подготовку данных для сотрудничества. Процедура подготовки может производиться в следующем порядке:

- упрощение: исключение из РЗТП таких операционных узлов и/или изначально необоснованно выбранных производителей, которые на данный момент недоступны или считаются неэкономичными;
- расширение РЗТП за счет увеличения альтернатив для выбора производителя так, что каждый узел графа характеризовался бы единственным производителем.
- объединение: группирование операционных узлов, которые могут быть выполнены одним производителем.

При этом учитываются следующие аспекты. Цель упрощения – исключить нереализуемые или неэкономичные операции или варианты производителей из РЗТП. Следующий этап – расширение – используется для расширения сокращенного РНТП путем дублирования узлов графа. Это означает, что операционный узел, включающий в себя несколько возможных производителей, будет дублирован столько раз, сколько существует вариантов производителей. Например, если заказ i на рис. 4.3 (а) обладает m возможными вариантами производителей, то он дублируется m раз в набор $(Z_{i1}^k, Z_{i2}^k, \dots, Z_{im}^k)$ как показано на рис. 4.3 (б). В этом случае каждая дублированная операция несет одну и ту же информацию, но предназначается разным производителям $(P_1, \dots, P_j, \dots, P_m)$. Результатом этапа расширения является увеличенный РЗТП, в котором каждый операционный узел связан только с одним производителем.

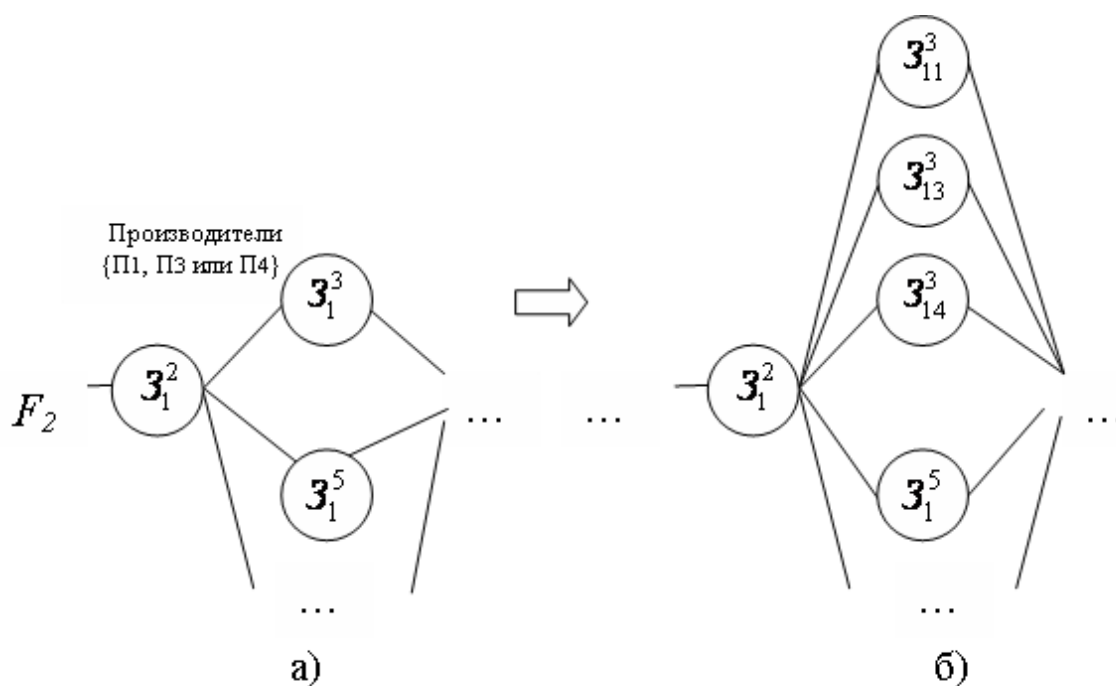


Рис. 4.3. Расширение РЗТП (уровень заказов графа РЗТП)

На последнем этапе выполняется объединение узлов ЗУГ, которые могут быть выполнены одним производителем, группируются они с целью снижения транспортных затрат и расходов на управление [30, 31]

После окончания подготовки данных для сотрудничества можно приступать к выбору и оценке исполнителей, то есть к формированию РТП. Для проведения такого анализа необходимо выделить критерии выбора оптимального решения. В самом простом случае в качестве критериев выбора оптимального варианта РЗТП могут быть использованы такие показатели как время и стоимость выполнения заказа. При этом необходимо обследовать все множество возможных решений и выбрать то из них, которое позволяет минимизировать эти показатели [15, 16]. На рис. 4.4 приведена система для связи проектировщика и производителя через виртуальное пространство в динамической распределенной среде цепи поставок.

Отметим, что до момента активации данной схемы ответственным за процесс подготовки производства является инженер по ТПП предприятия. Принципиально важно, чтобы ТП и технические задания составлял именно специалист в данной области.

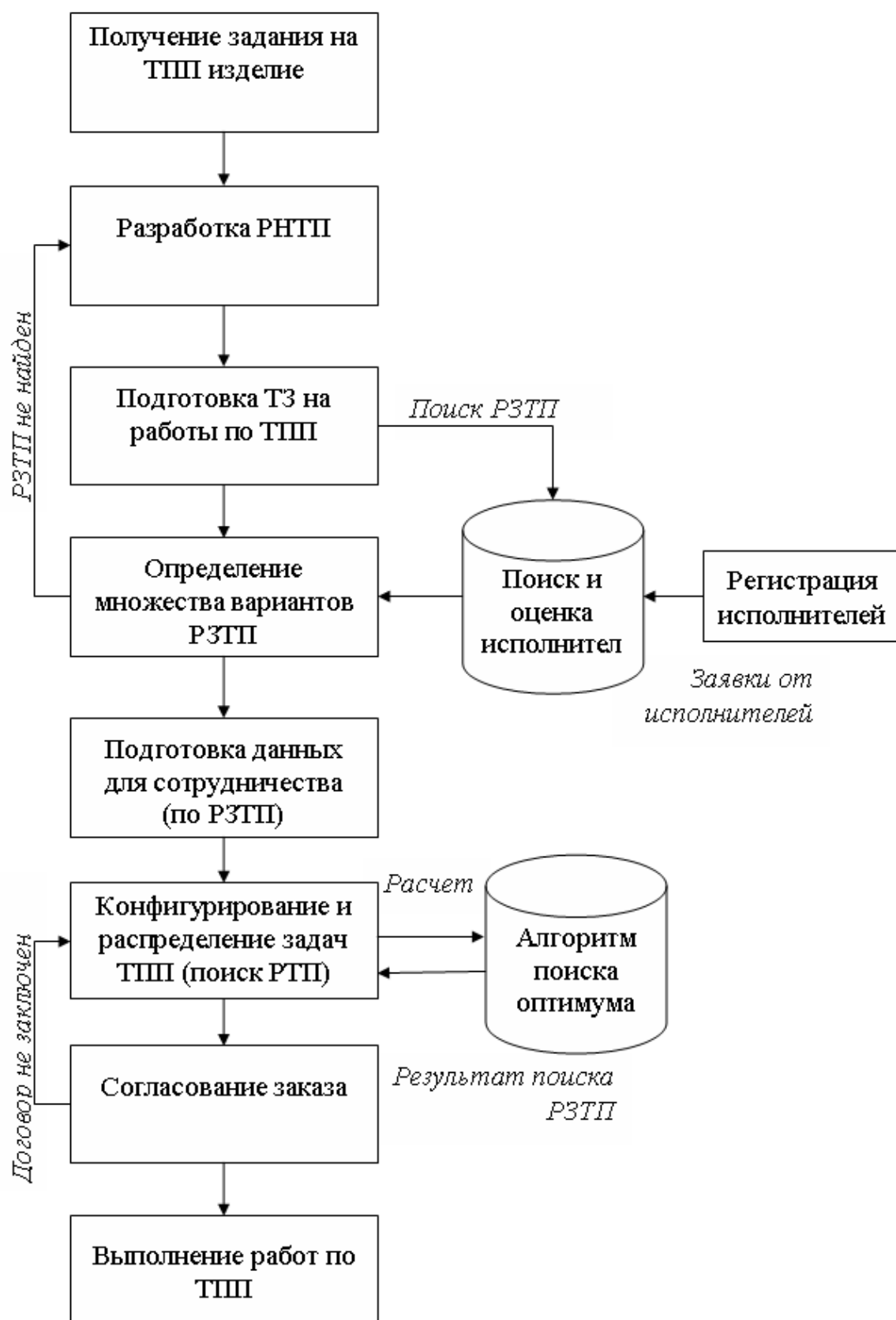


Рис. 4.4. Алгоритм конфигурирования и распределения заказов на ТПП в условиях виртуального предприятия

Далее согласно схеме необходимо оповестить всех потенциальных производителей о появлении на рынке новых предложений на выполнение ТПП. Выбирая базовую систему на этом этапе, необходимо ориентироваться на легко доступный для всех участников виртуального предприятия ресурс. Такими качествами обладает компьютерная сеть Internet. То есть сведения об имеющихся заказах должны быть размещены на Internet-портале компании. Они должны содержать все необходимые для первичного ознакомления с работами сведения, такие как ТЗ, краткие сведения о компании-заказчике, ориентировочная стоимость заказа и ограничения по времени его выполнения.

Таким образом, предприятие-заказчик определяет круг потенциальных исполнителей (варианты активной сети виртуального предприятия) той или иной операции – множество РЗТП [17].

Следующим шагом является поиск оптимального варианта размещения заказа. Для реализации этого этапа (на схеме: «Подготовка данных для сотрудничества») должны использоваться следующие данные:

- критерии выбора оптимальной конфигурации заказов;
- алгоритм конфигурирования и распределения заказов;
- приоритет всех заявленных исполнителей, основывающийся на опыте ранее реализованных совместно с ними работ.

Как упоминалось ранее, основными критериями выбора являются стоимость и время выполнения заказа. Однако в данном случае предлагается уточнить/расширить систему выбора. Тогда полный список критериев (ограничений) включает:

- стоимость услуги (C);
- срок выполнения услуги (T);
- возможность контролировать процесс реализации ($K_{\text{контр}}$);
- использование нового или старого оборудования ($K_{\text{оборуд}}$);
- наличие опыта работы с данным производителем ($Priority$);
- используемые технологии, ее предпочтительность для предприятия ($K_{\text{технол}}$);
- наличие склада ($K_{\text{склад}}$).

Таким образом, множество ограничений O состоит:

$$O = \{ C, T, K_{\text{контр}}, K_{\text{оборуд}}, K_{\text{технол}}, K_{\text{склад}}, Priority \}$$

Теперь возможно уточнить формулу представления множества заказов:

$$Z = (< Z_1, ..., Z_n, ..., Z_N >, Name_z, Department, Description, k, V, C, T, K_{\text{контр}}, K_{\text{оборуд}}, K_{\text{технол}}, K_{\text{склад}}, Priority).$$

Более широкий спектр ограничений по конфигурированию заказа позволяет получить результат, наиболее соответствующий требованиям определенного предприятия, что способствует расширению целевой аудитории АСТПП.

В качестве одного из критериев выбора конкретных производителей (РТП) предлагается использовать расчетные коэффициенты, определяющие приоритеты участников активной сети виртуального предприятия. Это позволит использовать опыт работы с различными предприятиями и кроме этого предоставит простой механизм управления выбором для руководителей компании-заказчика.

После того как РТП сформирован, необходимо документально оформить намерения всех сторон. Как и при классической организации предприятия деловые отношения скрепляются договорами, ТЗ, календарными планами, сметами, актами сдачи-приемки и другими видами документов. На этом этапе существует риск расторжения предварительной договоренности с компанией-подрядчиком. Тогда сформированный вариант РТП считается недействительным, и в качестве оптимального принимается следующий за ним (ближайший по приоритету к текущему РТП вариант РЗТП).

Другим риском при распределении задач ТПП является отсутствие предложений на выполнения некоторых работ. Для исправления этой ситуации требуется произвести уже значительно большие изменения: проектировщик может изменить конструкцию (смягчить условия поиска) и/или составить новый РНТП [18].

Проблема конфигурирования заказов на ТПП в среде виртуального предприятия аналогична «задаче коммивояжера» (ЗКВ). В исходном варианте ЗКВ состоит в том, чтобы по данному списку городов определить в каком порядке коммивояжер должен посетить каждый из них по одному разу, чтобы получившийся маршрут был кратчайшим из возможных или хотя бы близкий к таковому. ЗКВ может быть решена несколькими методами. Вот некоторые из них:

- «алгоритм жадности» или метод поиска «ближайшего соседа»;
- метод полного перебора;
- метод «ветвей и границ»;
- метод «восхождения»;
- генетический алгоритм (ГА).

Использование представленного алгоритма по конфигурированию и распределению заказов на ТПП создает предпосылки для реализации

работ по сбору и подготовке информации в автоматическом режиме. Функции эксперта при этом необходимо оставить за оператором информационно-управленческой системы.

Из всех перечисленных методов наиболее длительным в плане расходования машинного времени является метод полного перебора. Наиболее выгодными являются метод «ветвей и границ» и генетические алгоритмы. При этом наибольший экономический эффект получается при решении ЗКВ с использованием генетических алгоритмов.

Использование того или иного метода поиска оптимального решения зависит от размера пространства поиска. Если проектировщик имеет дело с небольшим ТП, содержащим не так много вариантов исполнения, то в данном случае имеет смысл воспользоваться, например, «алгоритмом жадности». Это позволит определить оптимум. Однако в случае если необходимо проанализировать более сложный ТП, который может включать несколько сотен операций и множество вариантов реализации ТП, а также множество потенциальных исполнителей для каждой задачи ТПП, поиск оптимума может потребовать значительных машинных ресурсов и занять продолжительное время.

ГА – это адаптивный метод функциональной оптимизации, основанный на компьютерном имитационном моделировании. Стоит отметить, что в общем случае ГА не находят оптимального решения очень трудных задач, однако использование данного метода дает достаточно хороший результат.

Выше изложенные условия позволяют считать ГА наиболее эффективным методом для определения оптимальной последовательности производителей при решении задач ТПП в среде виртуального предприятия [14, 19-21]. Схема работы генетического алгоритма приводится в п. 6.

5. Конфигурирование виртуального предприятия на основе использования многоагентных технологий

Как известно, комплекс работ по ТПП нового изделия включает в себя: разработку технологических процессов; проектирование и изготовление средств технологического оснащения (приспособлений, пресс-форм, штампов, специального режущего инструмента и др.); проектирование и изготовление нестандартного оборудования. Анализ показывает, что в сфере ТПП предметом кооперации в большинстве случаев является проектирование и изготовление нестандартного оборудования (НСО), оснастки и инструмента. Однако работы по проектированию и изготовлению НСО носит “нетиповой” характер и не позволяют малым предприятиям-субподрядчикам специализироваться в данной области. Напротив, такие работы как, например, проектирование и изготовление пресс-форм и штампов создают хорошую основу для специализации в силу их типового характера, достаточно высокого уровня сложности и большого числа заказов на данный вид работ.

В отечественном приборостроении и машиностроении такие малые предприятия возникли, как правило, на базе отдельных цехов крупных предприятий, которым была предоставлена экономическая самостоятельность. Эти предприятия в качестве субподрядчиков выполняют как заказы “своего” предприятия, так и заказы других крупных и средних предприятий. Кроме того, заказы могут поступать от других малых предприятий, специализирующихся на выпуске относительно несложной продукции (например, сетевых фильтров, автомобильных радаров, систем охранной сигнализации, различных товаров народного потребления и др.).

При развитой кооперации между заказчиками и исполнителями неизбежно возникает необходимость организации их взаимодействия не только на уровне обмена геометрической информацией в электронном виде, но и на уровне совместного использования информации о выпускаемом продукте, его структуре, составе выполняемого проекта в целом. Это подразумевает реализацию на практике концепции CPC (Collaborative Product Commerce – совместная разработка и использование информации об изделии) в условиях отечественных промышленных предприятий. При этом необходима такая интегрированная система, ко-

торая обеспечит работу всех участников виртуального предприятия в едином информационном пространстве. Как было сказано выше, такие возможности обеспечиваются PDM-системой, в частности, PDM-системой SmarTeam.

Совместная работа заказчика и исполнителя строится не только на основе доступа к общей информации, но и на основе использования специализированных программных средств. К таким средствам, в частности, относится система QuickConcept (разработка компании Cimatron), предназначенная для приема и согласования заказа на проектирование формообразующей оснастки.

QuickConcept позволяет принять заказ в виде модели изделия и при этом проанализировать размеры, оценить заложенные конструктором уклоны для извлечения детали из пресс-формы, выявить поднутрения и вертикальные поверхности, определить количество формообразующих движений оснастки и их направления. Система автоматически разделяет модель изделия на наборы формообразующих поверхностей (рис. 5.1), а в режиме анимации производится согласованное перемещение отдельных частей будущей оснастки друг относительно друга. Результаты анализа могут быть сохранены и переданы через стандартный интерфейс конструктору оснастки для внесения изменений. Согласование изменений и конструктивных решений с внутренними или внешними заказчиками выполняется в реальном времени через Интернет. При этом во время сессии связи заказчик (конструктор изделия) может видеть на экране те же графические изображения изделия и формообразующих элементов, которые в данный момент присутствуют на экране конструктора оснастки.

Таким образом, система позволяет отработать изделие на технологичность, помогает определить реальные сроки и стоимости выполнения заказов. При этом сроки и затраты на проектирование и изготовление сложной оснастки значительно сокращаются.

Упрощенная схема бизнес-процесса передачи и приема заказа на проектирование и изготовление оснастки приведена на рис. 5.2. Отметим, что бизнес-процессы не предварительного, а рабочего проектирования оснастки, выполняемые предприятием-субподрядчиком, рассматриваются как внутренние бизнес-процессы этого предприятия и не имеют связи с бизнес-процессами ТПП предприятия-заказчика.

Малые предприятия, специализирующиеся на проектировании и изготовлении оснастки, а также инструментальные цеха средних и крупных предприятий, принимающие заказы “со стороны” образуют конкурентную среду, так что ОЕМ-предприятие может осуществлять выбор субподрядчика на основании того или иного критерия. Эта кон-

курентная среда предприятий может рассматриваться как информационно-управленческая среда виртуального предприятия, генерирующая активные сети для выполнения различных заказов.

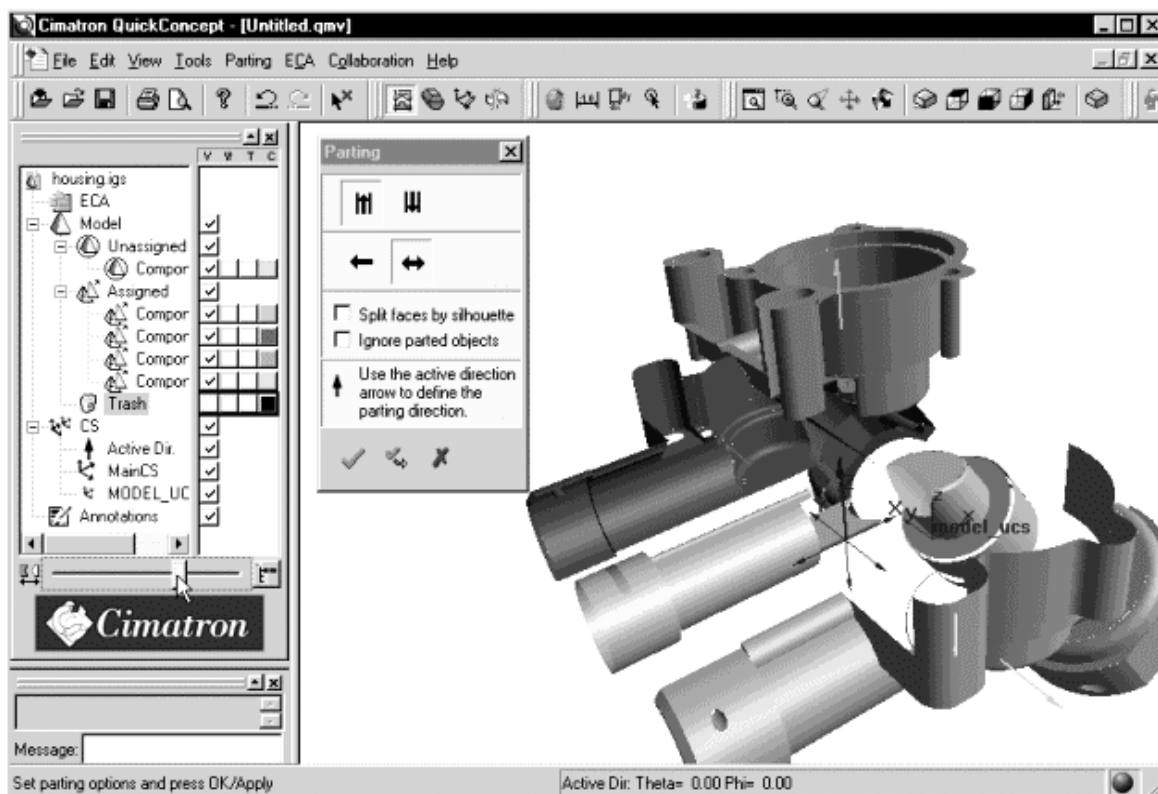


Рис. 5.1 Предварительный анализ оснастки в системе QuickConcept

Для рассматриваемых предприятий к функциям информационно-управленческой среды относятся:

- оперативное информирование участников о ходе работ, выполняемых в активных сетях, о возникающих проблемах и о результатах работ;
- внедрение единых базовых средств автоматизации (CAD/CAM-, CAE- и PDM-систем) на предприятиях, участвующих в создаваемых виртуальных структурах. Этим достигается сокращение времени и улучшение качества выполнения заказов, повышение уровня взаимопонимания предприятий-участников;
- регулярное проведение семинаров для специалистов-участников виртуального предприятия с целью их ознакомления с новыми техническими решениями и для обмена опытом;

- размещение технической и презентационной информации в Интернет с целью поиска новых заказов и привлечения новых участников.

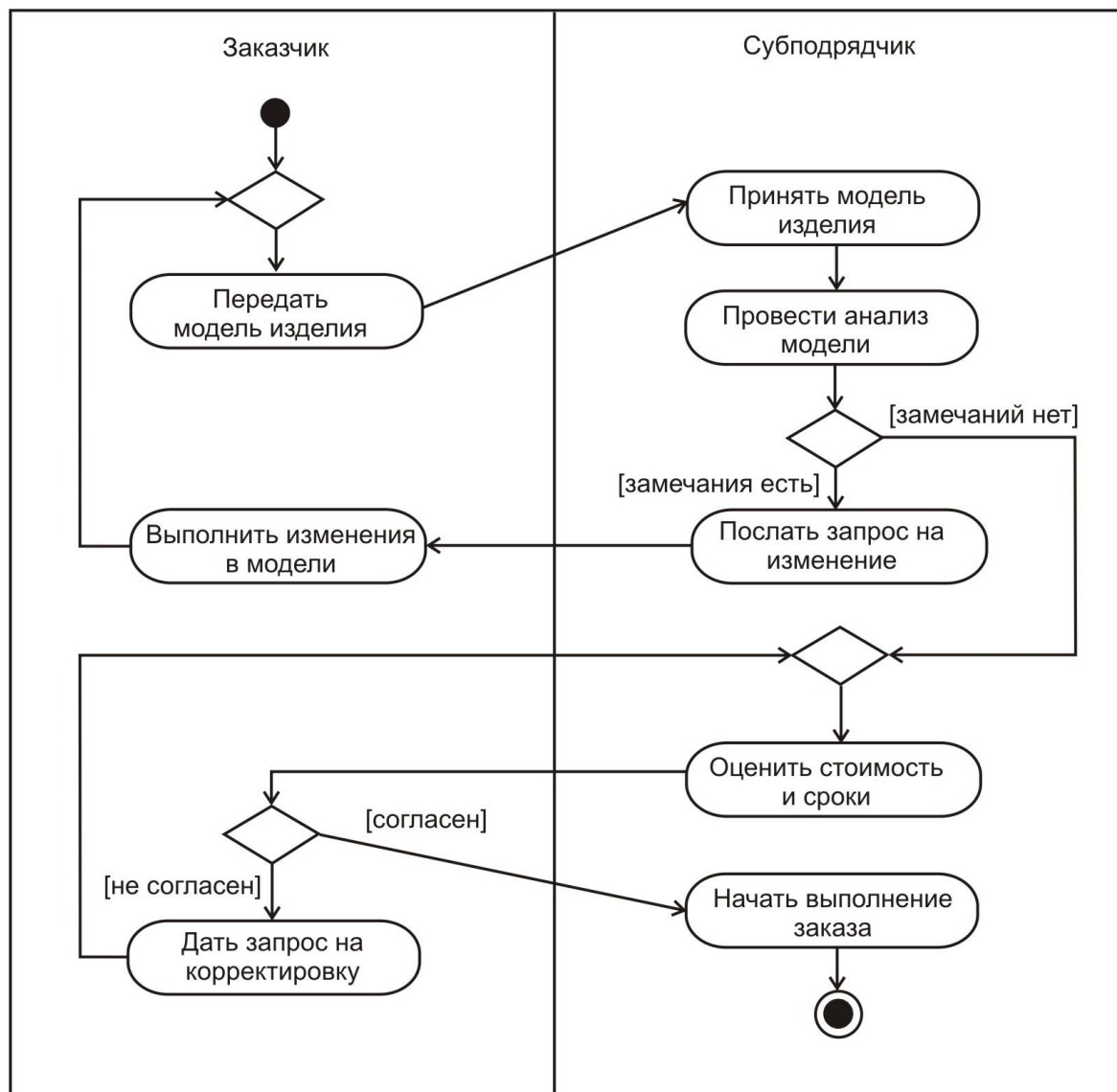


Рис. 5.2 Схема передачи и согласования заказа на проектирование и изготовление оснастки

Учет поступающих заказов и контроль за ходом выполнения работ в виртуальном предприятии может быть, в частности, реализован на базе PDM SmarTeam. С помощью этой же системы можно решать такие задачи, как накопление банка данных по ресурсам участников виртуального предприятия, подбор участников для объединения в активную сеть

в соответствии с изложенным выше оптимизационным подходом, контроль уровня цен по всем видам услуг.

Применение многоагентных технологий для оптимизации бизнес-процессов ТПП. При совместном решении задач ТПП в среде виртуального предприятия, когда в открытой информационной среде существуют общедоступные описания рынка заказов и рынка услуг, целесообразно использовать многоагентные (мультиагентные) технологии [22]. Они наилучшим образом подходят для решения задач, характеризующихся множественными решениями, имеют преимущества при использовании их в распределенной среде, применяются для динамического управления сетевыми ресурсами.

Многоагентные технологии обладают рядом преимуществ по сравнению с другими способами организации распределенных вычислений (уменьшается время, стоимость передачи данных, нагрузка на сеть, вычисления выполняются автономно и асинхронно и могут адаптироваться к текущим условиям и другие), поэтому для решения задач организации поиска и анализа данных в распределенных информационных системах наиболее эффективным и целесообразным является использование мультиагентного подхода. В рамках этого метода система строится как совокупность агентов (агенты пользователя, агенты менеджера и агенты исполнителя). Тем самым выбор мультиагентной технологии в качестве базовой при проектировании распределенных систем доступа позволяет легко сочетать в единой системе, как универсальные протоколы, так и любые другие средства работы с конкретными типами баз данных. Таким образом, можно сделать вывод, что еще на этапе проектирования в такую систему закладывается гибкость, горизонтальная и вертикальная расширяемость, существенно упрощается решение задач распределения нагрузки между серверами [23].

Многоагентные технологии (системы) являются подобластью распределенного искусственного интеллекта (РИИ), центральной идеей которого является кооперативное взаимодействие распределенных интеллектуальных систем [24]. РИИ базируется на классических основах ИИ с учетом использования новых методов обработки распределенных данных и знаний, а также методов децентрализованного управления.

Под агентом понимается объект, существующий в среде, где он может выполнять определенные действия, который способен к восприятию части среды, может общаться с другими агентами и обладает автономным поведением, являющимся следствием его наблюдений, знаний и взаимодействий с другими агентами. В качестве агента может выступать человек, программная подсистема или модуль. В зависимости от уровня собственной сложности, агент может заниматься отработкой

принимаемых сообщений и посылкой сообщений другим агентам, целеполаганием и планированием действий, согласованием действий с другими агентами.

Согласно определению М. Вулдриджа и Н. Дженнингса [25] агент – это программно и аппаратно реализованная система, обладающая следующими свойствами:

- автономность – способность функционировать без прямого вмешательства людей или компьютерных средств и при этом осуществлять самоконтроль над своими действиями и внутренними состояниями;
- общественное поведение (social ability) – способность взаимодействия с другими агентами и/или операторами, обмениваясь сообщениями с помощью языков коммуникации;
- реактивность – способность воспринимать состояние среды (физического мира, пользователя – через пользовательский интерфейс, совокупности других агентов, сети Internet, или сразу всех этих компонентов внешней среды) и адекватно реагировать в определенных временных рамках на происходящие изменения;
- инициативность/про-активность (pro-activity) – способность агентов не просто реагировать на стимулы, поступающие из среды, но и осуществлять целенаправленное поведение, проявляя инициативу.

Агент характеризуется схемой и методом. Схема указывает совокупность имен существенных признаков – идентификатор агента, класс агента, входные и выходные атрибуты и др. Метод определяет поведение агента и алгоритм преобразования входных атрибутов в выходные. Фактически, используя понятие "агент", каждый автор определяет своего агента с конкретным набором свойств в зависимости от целей разработки, решаемых задач, техники реализации, критериев. В зависимости от степени возможности внутреннего представления (программного) внешнего мира и способа поведения агенты классифицируются как локальные, сетевые, мобильные, интерфейсные, транслирующие, маршрутизации и так далее [26].

При реализации агентов в виде программных модулей PDM-системы, инициализация их работы может происходить:

- в результате некоторого “внешнего” события, например, поступления заказа на выполнение работы по проектированию изделия;
- через заданные интервалы времени;
- при поступлении сообщений от других агентов.

Созданию программных агентов предшествует опыт разработки открытых систем, результатом внедрения которых в практику явилось создание архитектуры «клиент-сервер». Как показало исследование, понятие программного агента является развитием методов объектно-ориентированного подхода [27-30].

Рассмотрим принципы построения многоагентной системы (МАС), позволяющей решать задачи ТПП в условиях кооперации на основе децентрализованного управления. Определим в рассматриваемой МАС четыре класса программных агентов: А, В, С и D.

Агент класса А

Агент класса **А** предназначен для выявления круга потенциальных исполнителей для некой работы по ТПП и рассылки им уведомлений о появлении нового заказа. При получении такого сообщения предприятие-партнер может ознакомиться с более подробной информацией о предлагаемой работе на сайте компании-заказчика. Тем самым данный вид агентов позволяет автоматизировать взаимодействие участников виртуального предприятия и ускорить процессы формирования активной сети для совместной реализации какого-либо проекта. Кроме этого агент класса **А** должен активировать к работе и обеспечить входными данными агентов классов **В** и **С**.

Отметим, что появление в АСТПП агентов класса **А** требует предварительной настройки объектов системы. Предлагается ввести атрибут кода работ в классе «Заказ» PDM-системы. Кроме этого при разработке атрибутов класса «Подрядчик» предлагается предусмотреть внесение в регистрационную карту партнера кодов работ, предоставление которых может осуществлять регистрирующееся предприятие.

Предлагается осуществлять выбор потенциальных исполнителей (из участников виртуального предприятия – внутренний круг) по коду заказа. На их адреса (smart box или e-mail) осуществляется рассылка уведомлений.

За агентом класса **А** закрепляются следующие функции:

- определение числа заказов, входящих в текущий проект;
- определение кода k заказов проекта 3_i по значению атрибута CN_KOD_ZAKAZA класса «Заказ» ($k = kod_zakaza(\hat{A}_q)$);
- определение множества возможных производителей (ω_i) – исполнителей заказа i ($\omega_i \subset \Pi$, где Π – множество участников виртуального предприятия);

- осуществление рассылки уведомлений потенциальным исполнителям;
- активизация агента класса В и С;
- передача агентам класса В и С сведений о наименовании проекта и входящих в него заказов.

Предлагается активацию агента производить через механизм системы управления производственными заданиями WorkFlow Smarteam.

Агент класса В

Агент класса **В** предназначен для анализа ресурсов и загрузки субподрядчиков, а также для мониторинга состояния регистрации в PDM-системе предложений от участников виртуального предприятия на выполнение заказа. Предполагается, что агенты данного вида должны отслеживать количество заявок потенциальных исполнителей на выполнение работ по ТПП. Если число таких предложений превысило предусмотренный предел либо исчерпан заданный лимит времени ожидания, агент отправляет сообщение специалисту компании о текущем состоянии проекта: количество зарегистрировавшихся исполнителей, расчетный приоритет этих компаний как потенциальных партнеров. Следует отметить, что такое уведомление может содержать информацию об отсутствии предложений на выполнение некоего заказа. В этом случае согласно алгоритму конфигурирования и распределения заказов на ТПП в условиях виртуального предприятия (рис. 4.4) специалист по ТПП компании-заказчика может смягчать требования к данной работе или перепроектировать РНТП.

Возможно предусмотреть, чтобы ответственный сотрудник предприятия мог получать промежуточные отчеты, описывающие текущее состояние проекта.

Для агента класса **В** определяются следующие функции:

- прием от агента класса А данных, содержащих информацию о заказе Z и идентификатор одного из предприятий ID (ПМ);
- определение количества заявок (Z) на выполнение определенного заказа (объектов класса «Подрядчик», соответствующих данному заказу): $\Pi_i = \{ \Pi_1; \Pi_2; \dots; \Pi_{z_i} \}$, где z_i – число заявок от партнеров на реализацию i заказа;
- мониторинг состояния заказа (пока не будет достигнуто условие останова);
- анализ ресурсов и загрузки мощностей предприятия ПМ с точки зрения эффективности выполнения заказа Z ;

- присвоение предприятию ПМ некоторого рейтинга R_M , характеризующего эффективность выполнения заказа Z .

Рейтинг R_M , в частности, может быть определен по формуле:

$$R_M = \omega_1 \times \frac{C_{Ai\hat{c}\hat{e}}}{C_{Ai\hat{e}\tilde{m}}} + \omega_2 \times \frac{T_{Ai\hat{c}\hat{e}}}{T_{Ai\hat{e}\tilde{m}}}, \quad (5.1)$$

где ω_1, ω_2 – весовые коэффициенты ($\omega_1 + \omega_2 = 1$);

$C_{Ai\hat{c}\hat{e}}, T_{Ai\hat{c}\hat{e}}$ – соответственно, стоимость и время выполнения работ, оптимальные для заказчика;

$C_{Ai\hat{e}\tilde{m}}, T_{Ai\hat{e}\tilde{m}}$ – соответственно стоимость и время выполнения работ, оптимальные для исполнителя

- составление отчета и передача его специалисту компании, ответственному за конфигурирование виртуального предприятия; сообщение должно содержать подготовленные агентом данные о числе предложений на выполнение заказа и о приоритетах потенциальных исполнителей;

Как было сказано ранее, активацию агента выполняет агент класса **A**.

Агент класса C

Предполагается, что агент класса **C** ожидает поступления сведений от агентов класса **B** о завершении обследования всех относящихся к текущему проекту заказов.

Активацию агента выполняет агент класса **A** – аналогично с агентами класса **B**.

На агента класса **C** возлагаются следующие функции:

- ожидание сведений от агентов класса **B** о регистрации предложений от производителей по текущему проекту;
- сбор информации о заказах, их потенциальных исполнителях и рейтингов этих исполнителей $\{ R_j \}$ по всем заказам проекта (производится после поступления сообщения о прекращении мониторинга по последнему заказу проекта);
- анализ рейтингов $\{ R_j \}$ и выбор исполнителя P^* для заказа Z на основании некоторого критерия оптимизации (в простейшем случае выбор предприятия с максимальным значением рейтинга);
- передача отчета специалисту предприятия, ответственному за размещение заказов данного проекта среди участников виртуального предприятия.

В отличие от агентов класса **B** период времени ожидания до генерации и отсылки отчета по проекту сотруднику предприятия предлагается установить длительное. Это обстоятельство связано, во-первых, с тем, что агент в своей работе использует результаты, полученные агентами класса **B**, а, во-вторых, становится возможным сгенерировать отчет, содержащий окончательную информацию о состоянии проекта в рамках заданного контрольного промежутка времени. Величина времени ожидания определяется субъективно специалистом предприятия в зависимости от ранее полученного опыта организации деятельности виртуального предприятия.

Агент класса D

Агенты класса **D** предназначены для формирования для предприятия-заказчика «сводной ведомости» и проведения оптимизации распределения и конфигурирования заказов на ТПП среди участников виртуального предприятия.

К функциям агента класса **D** относятся:

- ожидание сведений от агентов класса **C** о предполагаемых исполнителях;
- составление отчета, включающего информацию о заказах, их потенциальных исполнителях в целом по проекту и рейтингах этих исполнителей;

После поступления сигнала о доопределении последнего заказа агент данного класса составляет отчет о последних данных проекта по ТПП, содержащий таблицу следующего вида:

Табл. 5.1. Пример реализации отчета агента класса C

Проект	Заказы	Подрядчики	Рейтинги
Проект №1	Заказ №1	Подрядчик 1	
		Подрядчик 2	
	Заказ №2	Подрядчик 2	
		Подрядчик 3	
		Подрядчик 4	
	...	...	...

Предполагается также, что данные для таблицы агент получает из текущего состояния PDM-системы. Генерируемый отчет отправляется специалисту предприятия, ответственному за размещение заказов на

данный проект. Получение такого сообщения служит сигналом для начала работ по определению РТП.

- конфигурирование РЗТП;
- поиск РТП;
- передача отчета специалисту предприятия, ответственному за размещение заказов данного проекта среди участников виртуального предприятия.

Активация агента также может быть осуществлена с помощью механизма WorkFlow Smarteam.

С учетом рассмотренных выше характеристик ОИС и программных агентов, схема функционирования МАС будет выглядеть следующим образом.

1. После того, как на предприятии, осуществляющем OEM-деятельность по данному изделию, сформировался план ТПП и определен пакет заказов $\{ Z_j ; j = 1, 2, \dots, M \}$ для субподрядчиков, этот факт фиксируется в PDM-системе как некоторое событие S_1 , переводящее агентов класса **A** в активное состояние.
2. Событие S_1 приводит к инициализации работы группы агентов $\{ A_j ; j=1, 2, \dots, M \}$, то есть каждый заказ Z_j обрабатывается своим агентом A_j . Каждый агент, на основании анализа видов выполняемых предприятиями работ $\{ BP (\Pi_i) \}$, определяет множество возможных предприятий – субподрядчиков $\{ \Pi_k ; k = 1, 2, \dots, L \}$. Завершение работы агента A_j фиксируется в PDM-системе как некоторое событие S_2^j , переводящее в активное состояние агентов класса **B**.
3. Событие S_2^j приводит к инициализации работы группы агентов $\{ B_k^j ; k = 1, 2, \dots, L \}$, то есть каждый агент B_k^j обрабатывает информацию по одному из возможных предприятий – субподрядчиков Π_k для выполнения заказа Z_j . Обработка заключается в анализе производственных ресурсов данного предприятия и степени их загрузки. В результате проведенного анализа предприятию Π_k присваивается некоторый рейтинг R_k^j на основе рассчитанного приоритета.
4. После того, как все агенты $\{ B_k^j ; k = 1, 2, \dots, L \}$ завершили работу по анализу возможностей предприятий – субподрядчиков $\{ \Pi_k \}$ для выполнения заказа Z_j , в PDM-системе фиксируется событие S_3^j , переводящее в активное состояние агентов класса **C**, который формирует для предприятия-заказчика “сводную ведомость”, содержащую информацию по всем субподрядчикам, определенным для выполнения работ по ТПП данного изделия.
5. По завершении работы всех агентов класса **C** в PDM-системе фиксируется событие S_4 , по которому иницируется работа агента класса

Д. Этот агент формирует для предприятия-заказчика “сводную ведомость”, содержащую информацию по всем субподрядчикам, определенным для выполнения работ по ТПП данного изделия.

Схема взаимодействия программных агентов в рассматриваемой МАС представлена на рис. 5.3.

Таким образом, реализация АСТПП как многоагентной системы (МАС) позволяет решать задачи ТПП в условиях кооперации на основе децентрализованного управления и обеспечивающей более высокий уровень автоматизации. Преимущества рассмотренного подхода, использующего методы многоагентных технологий, состоят в большей гибкости системы и ускорении ее работы за счет параллельного решения задач программами – агентами. Однако реализация предложенной МАС предъявляет значительно более высокие требования к уровню организации открытого информационного пространства для предприятий, участвующих в совместном решении задач ТПП (учет большего объема данных в PDM-системе, необходимых для реализации агентов).

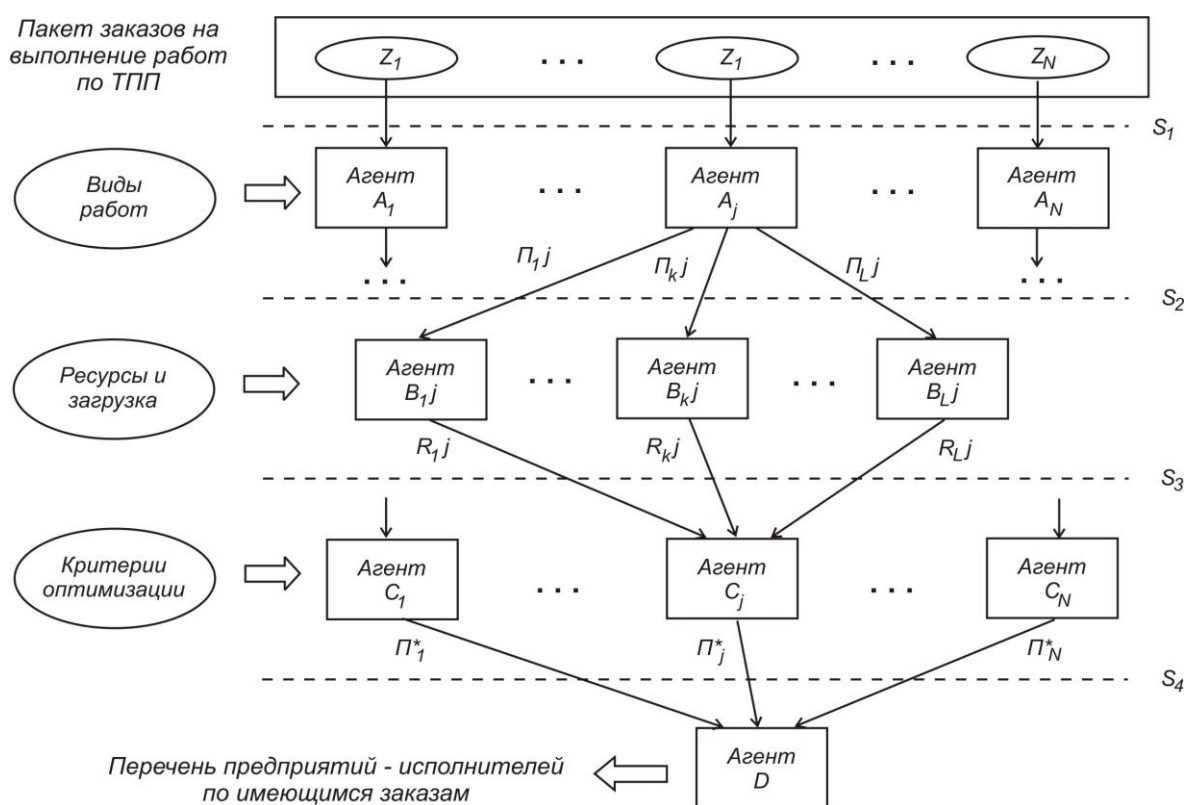


Рис. 5.3 Схема взаимодействия агентов при решении задачи размещения заказов на выполнение работ по ТПП в ОИС

В результате можно сделать вывод, что использование принципов МАС позволяет реализовать главное требование к динамической модели управления деловыми процессами виртуального предприятия: в режиме реального времени сформировать наилучшую для выполнения определенного проекта конфигурацию делового процесса из доступного множества моделей деловых процессов, оптимизационных алгоритмов и информации.

При этом необходимо иметь в виду, что рассмотренный много-агентный алгоритм не конкретизирует методов решения агентами класса **В** своей основной задачи – анализ ресурсов и загрузки мощностей предприятия с точки зрения эффективности выполнения заказа. Алгоритм не конкретизирует также методов уточнения стоимостей и сроков выполнения заказов. Указанные задачи не имеют универсальных методов решения, тогда как частные методы должны существенно опираться на специфику рассматриваемой предметной области. По своей сути эти методы не допускают «жесткой» формализации предметной области. Так, например, если исполнитель занимается проектированием и изготовлением пресс-форм, то в описании соответствующей услуги (ресурса) крайне сложно указать ее количественные ограничения. Обычно такие ограничения выражаются в виде: «изготовление пресс-форм средней сложности» или «изготовление пресс-форм всех видов, за исключением крупногабаритных». Что при этом следует отнести к средней сложности или к крупным габаритам, точно определить невозможно (исключая «волюнтаристские» решения). Для разработки алгоритмов оптимизации в этих условиях следует пользоваться методами теории нечетких множеств и нечеткой логики (см. п. 7 и п. 8).

Еще одна задача дополнительная задача заключается в оптимальном составлении пакетов заказов. Для сложных изделий число возможных вариантов комплектования заказов ТПП может быть достаточно велико и при этом оптимальное распределение заказов зависит как от выбора варианта комплектования, так и от выбора исполнителей. Подходы к решению этой задачи рассматриваются в п. 6.

6. Конфигурирование виртуального предприятия с учетом многовариантного формирования пакетов заказов

В предыдущем разделе было отмечено, что оптимальное распределение заказов при конфигурировании виртуального предприятия зависит не только от выбора исполнителей, но и от того, как сформированы пакеты заказов на выполнение задач ТПП. Таким образом, возникает задача конфигурирования виртуального предприятия с учетом многовариантного формирования пакетов заказов.

Очевидно, что заказчику работ по ТПП удобнее иметь дело с меньшим числом исполнителей, то есть формировать крупные пакеты заказов. Однако далеко не все исполнители могут взяться за выполнение крупных заказов. Причины этого могут быть как в том, что исполнитель не может решить некоторые из входящих в пакет задач, так и в том, что исполнитель не может выполнить крупный заказ в намеченные сроки из-за ограниченных производственных мощностей. Это резко сужает круг возможных исполнителей, в результате чего стоимость выполнения работ по ТПП может оказаться существенно больше той, которая имела бы место при формировании более «мелких» пакетов заказов.

Для сложных изделий число задач ТПП может составлять несколько тысяч. Однако даже в случае нескольких сотен задач очевидно, что число возможных вариантов пакетов заказов настолько велико, что задача оптимизации не может быть решена путем простого перебора всех этих вариантов. Для решения подобных задач используются различные формы так называемого направленного перебора. В нашем случае целью перебора является минимизация стоимости C выполнения ТПП:

$$C = \min (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_N) \quad (6.1)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_N$ – стоимости ТПП при различных вариантах $(1, 2, \dots, i, \dots, N)$ составления пакетов заказов.

Прежде чем рассматривать строгую постановку и метод решения данной задачи, поясним идею метода на небольшом примере.

Пусть заказы на выполнение работ по ТПП разбиты на три группы: заказы на проектирование и изготовление средств технологического оснащения (СТО), заказы на разработку технологических процессов (ТП) и заказы на проектирование и изготовление нестандартного оборудова-

ния (НСО). В рамках каждой группы имеется некоторый набор единичных заказов, к которым, например, можно отнести разработку одного ТП или проектирование и изготовление одной пресс-формы. Эти единичные заказы будем обозначать кружочками, как показано на рис. 6.1.

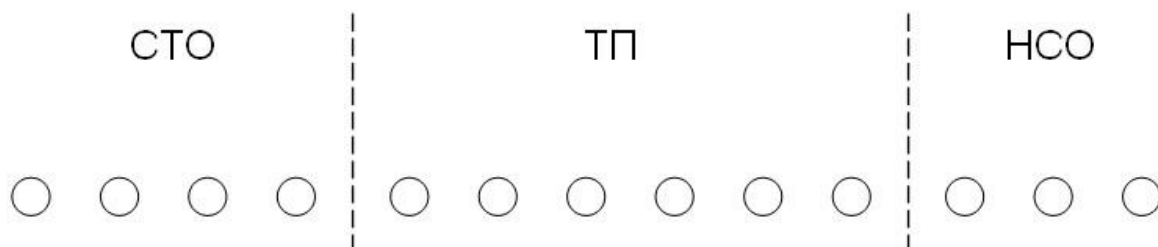


Рис. 6.1 Группы заказов ТПП и единичные заказы

В рамках указанных трех групп сформируем некоторое количество различных вариантов комплектования пакетов (рис. 6.2). Каждый пакет изображен в виде овала, обводящего несколько единичных заказов. Для каждого варианта определим исполнителей и рассчитаем стоимость, используя предложенный в п. 5 многоагентный алгоритм.

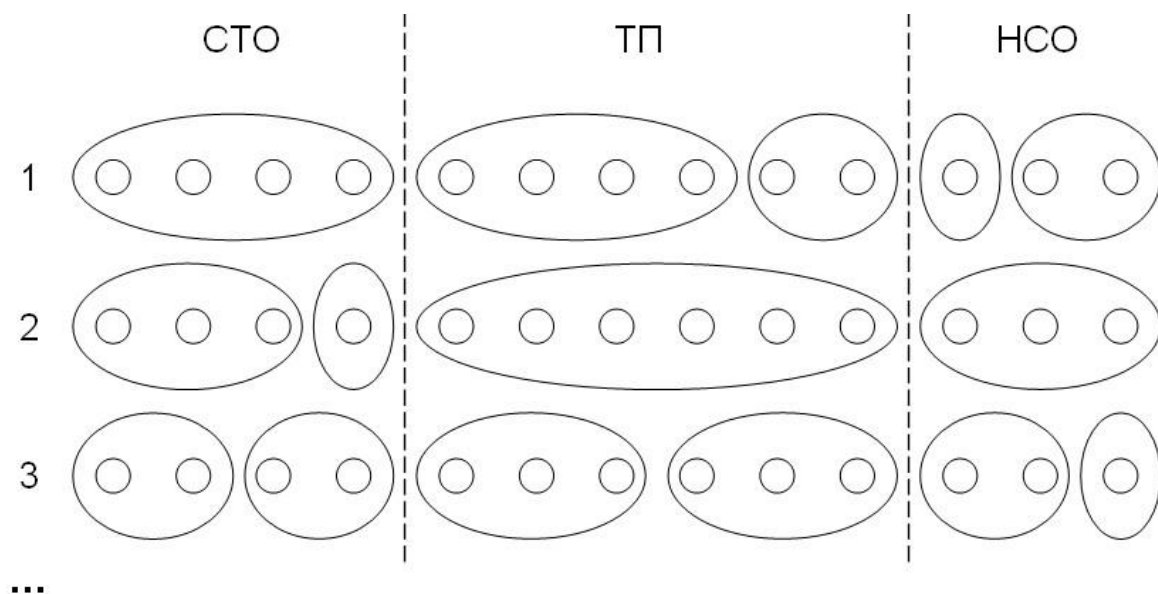


Рис. 6.2 Варианты комплектования пакетов заказов

Упорядочим различные варианты по возрастанию стоимости выполнения работ ТПП, то есть первый вариант соответствует наименьшей стоимости, стоимость второго варианта больше стоимости первого и т.д. Так как первые несколько вариантов являются наиболее удачными, то логично предположить, что комбинации этих вариантов могут быть еще более удачными. Составим несколько таких комбинаций, одна из них показана на рис. 6.3, и рассчитаем стоимость этих новых вариантов. После этого вновь упорядочим все варианты по стоимости. Если новые варианты оказались более удачными, они попадут в начало списка. После этого опять повторим процедуру составления новых вариантов и т.д.

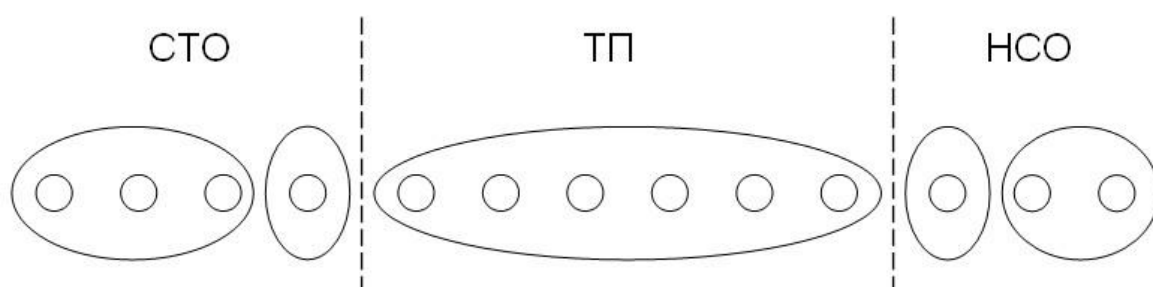


Рис. 6.3 Новый вариант, образованный из вариантов 1 и 2 (НСО взято из варианта 1, а СТО и ТП – из варианта 2)

Рассмотренная схема направленного перебора представляет собой реализацию так называемого генетического алгоритма [31]. Дадим кратко его общее описание и введем соответствующую терминологию.

Генетический алгоритм. Генетический алгоритм (ГА) представляет собой метод оптимизации, основанный на концепциях естественного отбора и генетики. В этом подходе переменные, характеризующие решение, представлены в виде ген в хромосоме. ГА оперирует конечным множеством решений (популяцией) – генерирует новые решения как различные комбинации частей решений популяции, используя такие операторы, как отбор, рекомбинация (кроссинговер) и мутация. Новые решения позиционируются в популяции в соответствии с их положением на поверхности оптимизируемой функции.

Идею ГА подсказала сама природа и работы Дарвина. Делается предположение, что если взять два вполне хороших решения задачи и каким-либо образом получить из них новое решение, то существует высокая вероятность того, что новое решение получится хорошим или даже более лучшим. В ГА используют моделирование эволюции (естественного отбора) или если проще – борьбы за выживание. В природе, по

упрощенной схеме, каждое животное стремится выжить, чтобы оставить после себя как можно больше потомства. Выжить в таких условиях могут лишь сильнейшие.

Таким образом, следует организовать некоторую среду – популяцию, населить ее решениями – особями, и устроить им борьбу. Для этого нужно установить функцию, по которой будет определяться сила особи – качество предложенного ею решения. Основываясь на этом параметре можно определить каждой особи количество оставляемых ею потомков, или вероятность того, что эта особь оставит потомка. Причем, не исключен вариант, когда особь со слишком низким значением этого параметра умрет.

В нашей задаче оптимизации стоимости работ по ТПП с учетом многовариантного формирования пакетов заказов роль популяции играет сформированное множество вариантов решений, роль особи (или хромосомы) – конкретный вариант решения, т.е. вариант пакетов заказов, а роль генов – отдельные пакеты заказов.

Общая схема работы генетического алгоритма выглядит следующим образом.

1. Формируется начальная популяция, т.е. массив решений некоторым образом заполняется конкретными решениями (особями). В частности, решения могут генерироваться случайным образом.
2. Вычисляется приспособленность каждой особи популяции по ее признакам с использованием критериев. Чем лучшее значение целевой функции обеспечивает особь, тем выше ее приспособленность.
3. Особи ранжируются по критерию приспособленности. Из особей с наиболее высоким уровнем приспособленности отбирается определенное число родительских пар (минимум, одна пара).
4. Выполняется операция кроссинговера, которая состоит в случайном выборе точки на хромосоме, относительно которой будет производиться скрещивание. В примере на рис. 6.3 этой точкой стала точка разделения групп ТП и НСО. При скрещивании часть новой особи до этой точки формируется за счет одного родителя, а часть после этой точки – за счет другого родителя.
5. Новые особи с определенной вероятностью мутируют, то есть происходит изменение на уровне одного из генов. В примере на рис. 6.3 это может быть деление первого пакета заказов СТО на две части. Вероятность мутации обычно полагают равной порядка 1%.

6. Вычисляется приспособляемость новых особей, после чего эти особи заменяют в популяции предыдущие наименее приспособленные особи. Очевидно, что если приспособляемость какой-либо новой особи ниже, чем приспособляемость старых, то эта особь не попадает в популяцию.
7. Если самое лучшее решение в популяции не признается удовлетворительным, то осуществляется переход к шагу 3 описанного алгоритма. Если же решение признано удовлетворительным, то алгоритм заканчивает работу.

Существует достаточно большое число разновидностей генетического алгоритма, которые отличаются способами создания начальной популяции, представлением генов, выбором родительских пар, методами кроссинговера или мутации. Здесь следует отталкиваться не от формальных предпочтений, а от существа решаемой задачи, так чтобы учет ее конкретных особенностей способствовал повышению эффективности процесса оптимизации.

Применение ГА для решения задачи формирования пакетов заказов. В нашем случае важную роль играет разделение пакетов заказов на группы. Это связано с тем, что выбор точки при кроссинговере целесообразно осуществлять на границе группы, а не внутри нее. Поэтому важно дать рекомендации по составлению таких групп.

Группа характеризует определенную специализацию исполнителя. Например, КБ оснастки занимается проектированием пресс-форм и штампов, а технологическое бюро – разработкой ТП. Конечно, возможен исполнитель, который имеет в своем составе оба таких подразделения, и который может решать обе задачи. Для такого исполнителя возможен пакет заказов, в который входят единичные заказы из обеих групп. Однако в такой пакет целесообразно объединять обе группы целиком. Создание большого числа «смешанных» пакетов, в которые входят, например, заказы на разработку нескольких ТП и нескольких единиц оснастки, не имеет большого смысла, так как это затруднит поиск исполнителей. Кроме того, ограничение на создание «смешанных» пакетов не ограничивает числа вариантов, так как исполнитель широкого профиля может взять в работу не один, а несколько пакетов – например, пакет на проектирование и изготовление всех необходимых пресс-форм и пакет на разработку половины требуемых ТП.

Еще один вопрос, связанный с группами, заключается в том, являются ли единичные заказы, входящие в группу, равноправными между собой с точки зрения их отнесения к тому или другому пакету. Иными словами, если есть два технологических процесса $ТП_1$ и $ТП_2$, причем $ТП_1$ входит в пакет Z_4 , а $ТП_2$ – в пакет Z_5 , то имеет ли смысл рассматри-

вать заказы, в которых $ТП_1$ и $ТП_2$ поменялись местами? Так как группы формируются на основе общности входящих в них компонент, то на поставленный вопрос следует дать отрицательный ответ.

Таким образом, при последующем выполнении в ГА операций кроссинговера и мутации будем, в качестве аксиом, учитывать следующие два положения:

- Группы могут быть объединены в один пакет заказов только целиком, но не по частям;
- Все единичные заказы внутри группы равноправны между собой.

Отметим, что эти два положения не дают ответа на вопрос, сколько должно быть групп и каково должно быть их содержание. Этот вопрос должен решаться индивидуально с учетом сложности комплекса работ по ТПП данного изделия и с учетом предварительного анализа возможностей потенциальных исполнителей. Так, для несложного изделия работы по ТПП могут включать в себя разработку 15 ТП, проектирование и изготовление 5 пресс-форм и 2 единиц НСО. В этом случае состав групп может выглядеть так, как показано выше на рис. 6.1. Если же в состав работ по ТПП входит, в частности, проектирование и изготовление большого числа пресс-форм разной степени сложности, штампов горячей и холодной штамповки, вырубных штампов, специального режущего и измерительного инструмента, различных зажимных приспособлений и т.д., то очевидно, что группа СТО должна быть разбита на необходимое число отдельных групп.

Теперь конкретизируем описанные выше семь пунктов ГА с учетом особенности нашей конкретной задачи.

1. Формирование начальной популяции. Как отмечалось выше, крупные заказы являются наиболее предпочтительными. Поэтому оптимальной точкой может служить решение, представляющее собой пакет, включающий все задачи ТПП. Далее в состав начальной популяции включаются решения, содержащие цельные группы заказов (рис. 6.4). Размер начальной популяции, как и состав групп, зависит от сложности комплекса работ по ТПП.

2. Вычисление приспособленности каждой особи популяции. Эта задача решается путем выбора исполнителей для каждого варианта пакетов заказов с использованием многоагентного алгоритма (см. рис. 5.3). В результате для каждого варианта пакетов определяется стоимость работ по ТПП, т.е. для каждой особи определяется соответствующее значение целевой функции.

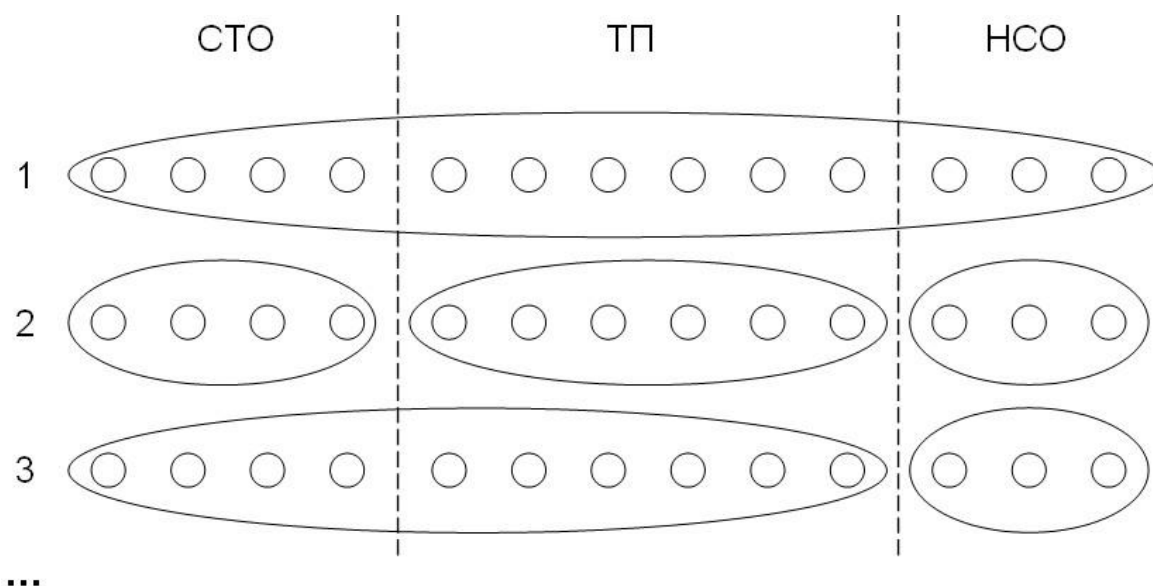


Рис. 6.4 Состав решений в начальной популяции

3. Ранжирование и отбор. Особи в массиве решений ранжируются так, что $C_1 < C_2 < \dots < C_i < \dots < C_N$ (см. выражение 6.1). После этого m решений с наименьшим значением целевой функции выбираются для создания родительских пар. При так называемом элитном отборе из выбранных решений составляются все возможные пары, число которых равно $m * (m - 1) / 2$.

4. Выполнение кроссинговера. Эта операция выполняется так, как описано выше в четвертом шаге общей схемы ГА. Точка скрещивания выбирается случайным образом на одной из границ групп пакетов заказов. Если граница находится внутри пакета (см., например, вариант 3 на рис. 6.4), то происходит разделение пакета по этой границе. Если в результате скрещивания потомок повторяет одного из родителей, то такой вариант отбрасывается. В примере на рис. 6.4 такое может произойти, если скрещивать варианты 2 и 3, выбрав точку скрещивания на границе групп ТП и НСО. Взамен отброшенного варианта можно создать из него новый путем разделения одного из пакетов (в нашем примере можно разделить пакет заказов НСО на два).

5. Мутация. Эта операция выполняется путем деления одного из пакетов – например самого крупного, или выбранного случайным образом. Точка деления в пакете тоже может выбрана случайным образом. Однако с практической точки зрения более целесообразно делить пакет на две равные части. Если число единичных заказов в пакете нечетное, то при делении число заказов в одной части пакета будет на единицу больше чем в другой. Еще один вариант мутации может заключаться в

том, что число K пакетов в группе увеличивается на единицу путем объединения всех единичных заказов группы в общий массив и последующего деления этого массива на K равных (или примерно равных) частей.

6. Создание нового поколения особей. Для каждой новой особи (нового варианта) рассчитывается значение целевой функции так же, как на шаге 2. Новые особи добавляются в массив решений, после чего весь массив ранжируется так, что $C_1 < C_2 < \dots < C_i < \dots < C_L$ (см. выражение 6.1). Наименее приспособленные особи, располагающиеся в нижней части массива решений, удаляются из популяции (их число равно числу добавленных новых особей). Результирующий массив решений может рассматриваться как новое поколение особей.

7. Повтор предыдущих шагов или завершение алгоритма. Очевидно, что каждый повторный цикл шагов ГА будет улучшать предыдущее решение, так что остановка алгоритма целесообразна только в двух случаях:

- допустимое время на принятие решения исчерпано;
- каждое последующее решение не улучшает существенно значение целевой функции, т.е. алгоритм работает в области ее экстремума. Для правила остановки алгоритма необходимо установить значение Q такого «несущественного» приращения, а также задать максимальное количество последовательно выполненных циклов ГА, в которых получаемое приращение может оказаться меньше Q .

Теоретически существует еще один критерий остановки – это ситуация, когда выполнен полный перебор возможных решений. Однако, в практических случаях такой вариант крайне маловероятен. Тем не менее, формально в алгоритме должна присутствовать проверка этой ситуации, чтобы избежать закливания.

Необходимо отметить еще один важный момент. Работа ГА в нашем случае неявно предполагает, что задача подбора исполнителей, решаемая на основе применения описанного в п. 5 многоагентного алгоритма, выполняется полностью автоматически, то есть не содержит элементов диалога и вмешательства человека. В противном случае каждый цикл ГА будет занимать такое время, при котором выполнение большого числа итераций ГА станет неприемлемым.

7. Математические основы принятия решений в условиях неопределенности

При рассмотрении многоагентного алгоритма в п. 5 было отмечено, что ряд частных задач при конфигурировании виртуального предприятия в сфере ТПП не позволяет однозначно сформулировать критерии, необходимые для их решения. Ситуация, когда задача не может быть сформулирована точно и содержит элементы неопределенности, встречается во многих других областях научной и инженерной деятельности. Это привело к созданию специального математического аппарата – теории нечетких множеств и нечеткой логики, направленного на решение именно таких задач.

Поскольку методы теории нечетких множеств и нечеткой логики не изучаются в рамках специальности «Технология приборостроения», то прежде чем рассматривать их применение в области конфигурирования виртуальных предприятий, необходимо дать краткие сведения об этой теории и методах. Такие краткие сведения приводятся ниже, в данном разделе пособия. Более подробно познакомиться с этим математическим аппаратом можно в книге [32].

Общие сведения. Теория нечетких множеств, основные идеи которой были предложены американским математиком Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) более 35 лет назад, позволяет описывать качественные, неточные понятия и наши знания об окружающем мире, а также оперировать этими знаниями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения вычислительной техники и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило название нечеткого моделирования.

В последнее время нечеткое моделирование является одним из наиболее перспективных направлений в области управления и принятия решений. Нечеткое моделирование оказывается особенно полезным, когда в описании технических систем и бизнес-процессов присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных количественных методов.

В области управления техническими системами нечеткое моделирование позволяет получать более адекватные результаты по сравнению

с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления. Диапазон применения нечетких методов с каждым годом расширяется, охватывая такие области, как проектирование промышленных роботов и бытовых электроприборов, управление доменными печами и движением поездов метро, автоматическое распознавание речи и изображений.

Нечеткая логика, которая служит основой для реализации методов нечеткого управления, более естественно описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений, чем традиционные формально-логические системы. Именно поэтому изучение и использование математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности.

Первые реализации нечетких моделей в промышленности были получены в Европе и относятся к середине 1970-х годов. В начале 1980-х годов нечеткая логика и теория нечетких множеств получили дальнейшее развитие в целом ряде программных средств поддержки принятия решений и в экспертных системах анализа данных. После этого на первое место в мире по применению нечетких методов вышла Япония, которая реализовала нечеткие технологии в управлении различными устройствами и механизмами. Появление микропроцессоров и микроконтроллеров инициировало резкое увеличение бытовых приборов и промышленных установок с алгоритмами управления на основе нечеткой логики. В настоящее время в Японии запатентовано более чем 3000 соответствующих устройств в этой области. Слово «фаззи» (fuzzy – нечеткий) стало символом популярности и коммерческого успеха новых промышленных изделий в этой стране.

Только в начале 1990-х годов ведущие европейские корпорации поняли, что они практически уступили Японии одну из ключевых современных технологий. С этого времени были предприняты серьезные усилия наверстать упущенные возможности в этой области. Именно в этот период в Европе появилось более 200 видов промышленных изделий и устройств, в которых были реализованы нечеткие модели. Это были, главным образом, бытовые приборы, которые характеризовались более эффективной экономией электроэнергии и водопотребления без дополнительного увеличения цены изделия. Другие промышленные приложения относились к автоматизации производства, включая управление химическими и биологическими процессами, управление станками и сборочными конвейерами, а также различные интеллектуальные датчики.

Все больший интерес к нечетким технологиям проявляют также компании из США, особенно те из них, которые испытывают жесткую конкуренцию со стороны европейских и азиатских фирм. Нечеткая логика оказалась превосходным инструментом для разработки систем управления внутренними компонентами персональных компьютеров, а также алгоритмов компрессии речи и видео. Известны приложения из области теле- и радиосвязи, направленные на устранение влияния отраженных сигналов, реализованы нечеткие алгоритмы для распознавания речи, развернуты исследования по нейро-сетевым технологиям. Министерство обороны США финансирует исследования в области построения систем управления вооружением и тренажеров для обучения пилотов истребителей на основе нечетких технологий. Национальное управление по аэронавтике и космонавтике (НАСА) предполагает использовать нечеткие модели для решения специальных задач в космосе.

В России также ведутся работы по применению методов нечеткого моделирования в различных областях науки и техники. В качестве примера можно привести разработку и исследование методов принятия решений на основе нечетких моделей в задачах проектирования информационно-вычислительных сетей [33].

Область приложений теории нечетких множеств и нечеткой логики продолжает неуклонно расширяться. При этом процесс разработки и применения нечетких моделей тесно связывается с концепцией системного моделирования как наиболее общей методологией построения и использования информационных моделей сложных систем различной физической природы.

Элементы теории нечетких множеств. Нечеткое множество (fuzzy set) представляет собой совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя с полной определенностью утверждать – принадлежит ли тот или иной элемент рассматриваемой совокупности данному множеству или нет. Другими словами, нечеткое множество отличается от обычного множества тем, что всех или части его элементов не существует однозначного ответа на вопрос: «Принадлежит или не принадлежит тот или иной элемент рассматриваемому нечеткому множеству?» Для ответа на этот вопрос на нечетком множестве вводится так называемая функция принадлежности, которая для каждого элемента множества определяет, в какой степени этот элемент принадлежит множеству. В качестве области значений функции принадлежности обычно используется интервал действительных чисел, заключенных между 0 и 1 (включая и сами эти значения).

Математическое определение нечеткого множества. Формально нечеткое множество $\mathcal{A}$ определяется как множество упорядоченных пар

или кортежей вида: $\langle x, \mu_{\mathcal{A}}(x) \rangle$, где x является элементом некоторого универсального множества или универсума X , а $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов $x \in X$ некоторое действительное число из интервала $[0, 1]$, т.е. данная функция определяется в форме отображения:

$$\mu_{\mathcal{A}}: X \rightarrow [0, 1]. \quad (7.1)$$

При этом значение $\mu_{\mathcal{A}}(x) = 1$ для некоторого $x \in X$ означает, что элемент x определенно принадлежит нечеткому множеству $\mathcal{A}$, а значение $\mu_{\mathcal{A}}(x) = 0$ означает, что элемент x определенно не принадлежит нечеткому множеству $\mathcal{A}$.

Формально конечное нечеткое множество будем записывать в виде: $\mathcal{A} = \{ \langle x_1, \mu_{\mathcal{A}}(x_1) \rangle, \langle x_2, \mu_{\mathcal{A}}(x_2) \rangle, \dots, \langle x_n, \mu_{\mathcal{A}}(x_n) \rangle \}$, а в общем случае – в виде: $\mathcal{A} = \{ \langle x, \mu_{\mathcal{A}}(x) \rangle \}$.

Нечеткие множества будут обозначаться рукописными прописными буквами: $\mathcal{A}, \mathcal{B}, \mathcal{C}, \mathcal{D}$, а для записи классических (не нечетких) множеств будут использоваться общепринятые обозначения в форме: A, B, C, D .

В теории нечетких множеств сохраняют свой смысл некоторые специальные классические множества. Так например, *пустое нечеткое множество*, или множество, которое не содержит ни одного элемента, по-прежнему обозначается через $\emptyset$ и формально определяется как такое нечеткое множество, функция принадлежности которого тождественно равна нулю для всех без исключения элементов: $\mu_{\emptyset} = 0$. Что касается другого специального множества, то так называемый *универсум*, обозначаемый через X , уже был использован выше в качестве обычного множества, содержащего в рамках некоторого контекста все возможные элементы. Формально удобно считать, что функция принадлежности универсума как нечеткого множества тождественно равна единице для всех без исключения элементов: $\mu_X = 1$.

Носитель нечеткого множества. Носителем нечеткого множества $\mathcal{A}$ называется обычное множество A_S , которое те и только те элементы универсума, для которых значения функции принадлежности соответствующего нечеткого множества отличны от нуля. Математически носитель нечеткого множества определяется следующим условием:

$$A_S = \{ x \in X \mid \mu_{\mathcal{A}}(x) > 0 \}, \quad \text{для любого } x \in X \quad (7.2)$$

Очевидно, что пустое нечеткое множество имеет пустой носитель, а носитель универсума, рассматриваемого как нечеткое множество, совпадает с самим универсумом.

В зависимости от количества элементов в нечетком множестве, по аналогии с обычными множествами, можно определить конечные и бесконечные нечеткие множества.

Способы задания нечетких множеств. Нечеткие множества могут быть заданы двумя основными способами:

1. В форме списка с явным перечислением всех элементов и соответствующих им значений функции принадлежности, образующих рассматриваемое нечеткое множество. При этом зачастую элементы с нулевыми значениями функции принадлежности просто не указываются в данном списке. Этот способ подходит для задания нечетких множеств с конечным дискретным носителем и небольшим числом элементов. В этом случае нечеткое множество удобно записывать в виде: $\mathcal{A} = \{ \langle x_1, \mu_{\mathcal{A}}(x_1) \rangle, \langle x_2, \mu_{\mathcal{A}}(x_2) \rangle, \dots, \langle x_n, \mu_{\mathcal{A}}(x_n) \rangle \}$, где n – рассматриваемое число элементов нечеткого множества.
2. В форме математического выражения для соответствующей функции принадлежности. Этот способ может быть использован для задания произвольных нечетких множеств как с конечным, так и с бесконечным носителем. В этом случае нечеткое множество удобно записывать в виде: $\mathcal{A} = \{ \langle x, \mu_{\mathcal{A}}(x) \rangle \}$ или $\mathcal{A} = \{ x, \mu_{\mathcal{A}}(x) \}$, где $\mu_{\mathcal{A}}$ – некоторая функция, заданная аналитически в форме математического выражения $f(x)$ или графически в форме некоторой кривой. Наиболее часто используемые виды функций принадлежности будут рассмотрены ниже.

Для формальной строгости при задании нечетких множеств необходимо явно указывать соответствующий универсум X элементов, из которых формируется конкретное нечеткое множество. В общем случае никаких предположений относительно элементов этого множества не делается. Однако с практической точки зрения целесообразно ограничить универсум элементами рассматриваемой предметной области или решаемой задачи. Поскольку при построении нечетких моделей систем используются количественные переменные, то наиболее часто в качестве универсума X используется некоторое подмножество действительных чисел R , например множество неотрицательных действительных чисел или множество натуральных чисел.

Основные типы функций принадлежности. Формальное определение нечеткого множества (7.1) не накладывает никаких ограничений на выбор конкретной функции принадлежности. Однако на практике удобно использовать те из них, которые допускают аналитическое представление в виде некоторой простой математической функции. Это упроща-

ет не только соответствующие численные расчеты, но и сокращает объемы памяти, необходимой для хранения отдельных значений этих функций принадлежности.

В качестве первого типа функций принадлежности рассмотрим кусочно-линейные функции. Характерными примерами таких функций являются «треугольная» и «трапецевидная» (рис. 7.1). В нашем примере каждая из этих функций задана на универсуме $X = [0, 10]$. Аналитические выражения для данных функций (а также для всех приводимых ниже изображений других функций) можно найти в книге [32].

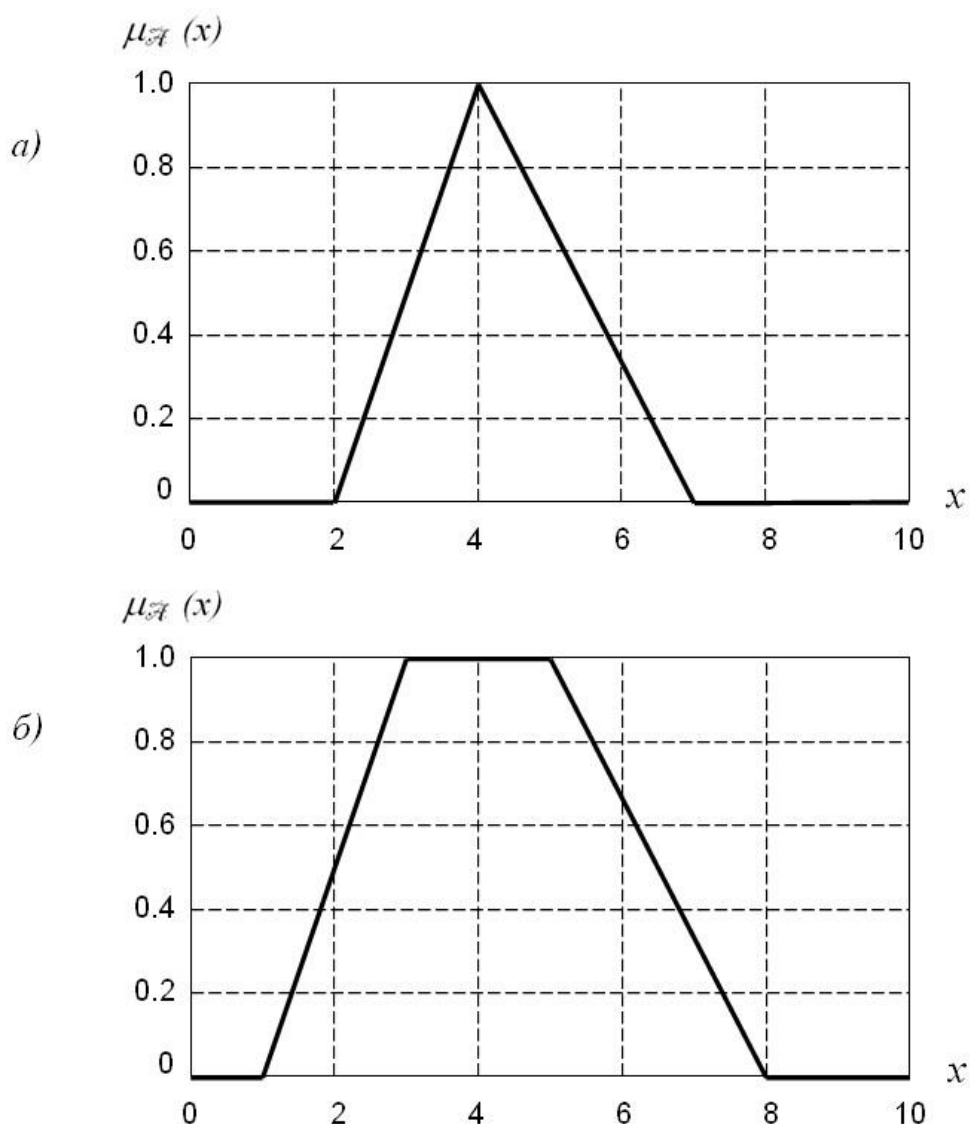


Рис. 7.1 Графики функций принадлежности: а – треугольная форма; б – трапецевидная форма

Прокомментируем смысл функции принадлежности на примере трапецевидной функции (рис. 7.1, б). Элементы x со значениями в интервалах $[0, 1]$ и $[8, 10]$ определенно не принадлежат нечеткому множеству $\tilde{\mathcal{A}}$ – для них значение функции принадлежности $\mu_{\tilde{\mathcal{A}}}(x) = 0$. Напротив, элементы x со значениями в интервале $[3, 5]$ определенно принадлежат нечеткому множеству $\tilde{\mathcal{A}}$, так как для них значение функции принадлежности $\mu_{\tilde{\mathcal{A}}}(x) = 1$. Элементы x со значениями в интервалах $[1, 3]$ и $[5, 8]$ принадлежат нечеткому множеству $\tilde{\mathcal{A}}$ «в той или иной степени», причем эта степень тем выше, чем ближе значение x к центральному интервалу $[3, 5]$.

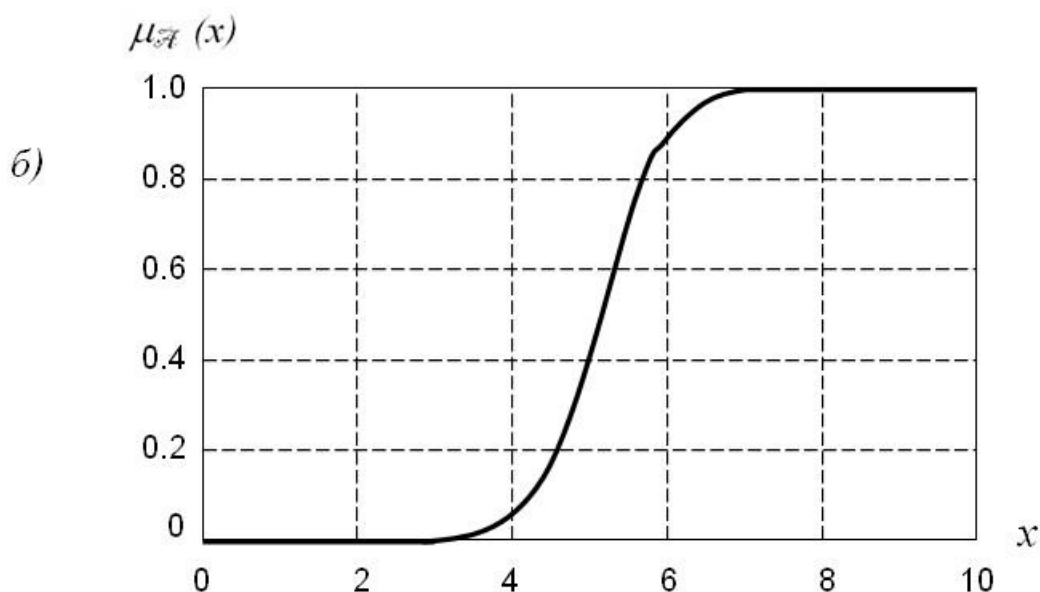
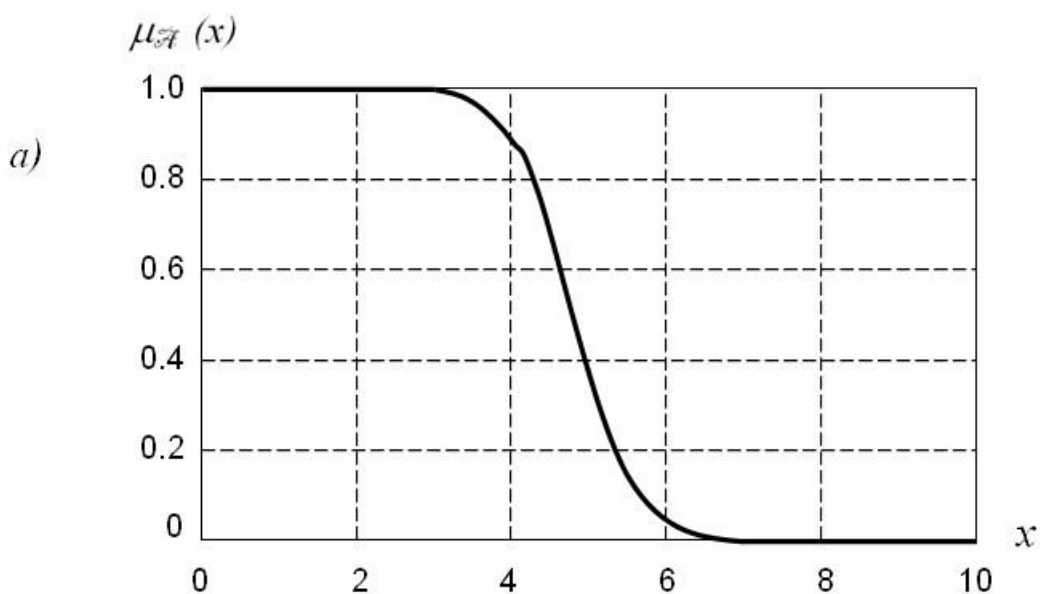


Рис. 7.2 Графики функций принадлежности: а – Z-образная форма;
б – S-образная форма

Примерами второго типа функций принадлежности являются так называемые Z-образные и S-образные функции, которые получили свое название по виду кривых, которые представляют их графики (рис. 7.2). Вместо сплайнов могут использоваться также отрезки прямых линий; в этом случае функции называются соответственно линейной Z-образной и линейной S-образной.

И, наконец, к третьему наиболее распространенному виду функций принадлежности относятся так называемые П-образные функции. Пример одной из таких функций приведен на рис. 7.3. Существуют различные аналитические представления, определяющие форму кривой. В частности, хорошо известная в теории вероятностей функция плотности нормального распределения также может быть отнесена к классу П-образных функций принадлежности.

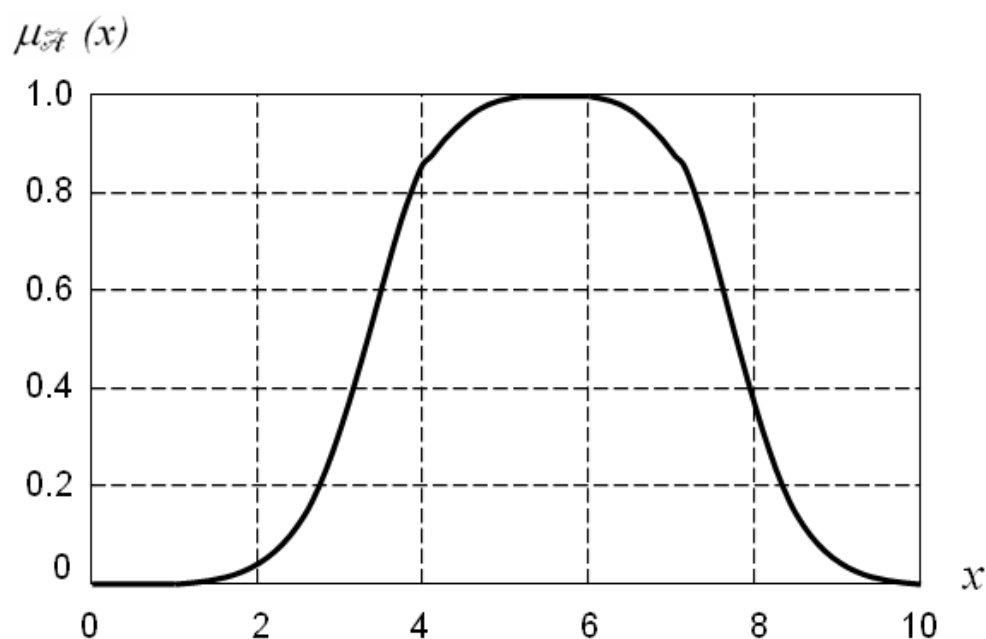


Рис. 7.3 График П-образной функций принадлежности

Операции над нечеткими множествами. Так же, как и в случае обычных множеств, над нечеткими множествами могут выполняться операции пересечения, объединения и разности. Однако в случае нечетких множеств необходимо определить ту функцию принадлежности, ко-

торая будет соответствовать результирующему множеству, т.е. тому множеству, которое является результатом выполнения соответствующей операции. С правилами определения результирующих функций принадлежности можно ознакомиться в книге [32].

Нечеткая и лингвистическая переменные. Нечеткие величины, числа и интервалы. Рассмотренное выше понятие нечеткого множества допускает различные уточнения, которые используются для более адекватного отражения семантической неопределенности при построении нечетких моделей сложных систем. Одним из таких уточнений являются понятия нечеткой и лингвистической переменных.

Определения нечеткой и лингвистической переменных. Нечеткая переменная определяется как кортеж $\langle \alpha, X, \mathcal{A} \rangle$, где α – наименование или название нечеткой переменной; X – область ее определения (универсум); $\mathcal{A} = \{x, \mu_{\mathcal{A}}(x)\}$ – нечеткое множество на X , описывающее возможные значения, которые может принимать нечеткая переменная α . Говоря о нечеткой переменной α , мы всегда будем иметь в виду некоторое нечеткое множество $\mathcal{A}$, которое определяет ее возможные значения.

Обобщением нечеткой переменной является так называемая лингвистическая переменная, которая также определяется как кортеж: $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где:

- β – наименование или название лингвистической переменной;
- T – базовое терм-множество лингвистической переменной или множество ее значений (термов), каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной α ;
- X – область определения (универсум) нечетких переменных, которые входят в определение лингвистической переменной β ;
- G – некоторая синтаксическая процедура, которая описывает процесс образования или генерирования из множества T новых, осмысленных в рассматриваемом контексте значений для данной лингвистической переменной;
- M – семантическая процедура, которая позволяет поставить в соответствие каждому новому значению данной лингвистической переменной, получаемому с помощью процедуры G , некоторое осмысленное содержание посредством формирования соответствующего нечеткого множества.

Рассмотрим пример, поясняющий смысл приведенных определений. Пусть необходимо формализовать субъективную оценку скорости движения автомобиля в пределах городской черты. При субъективной оценке обычно используются такие определения, как «малая скорость»,

«средняя скорость» и «высокая скорость». В качестве диапазона скоростей в нашем примере будем рассматривать интервал от 0 до 100 км в час.

Формализация субъективной оценки скорости движения автомобиля может быть выполнена с помощью лингвистической переменной $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где:

β – скорость движения автомобиля;

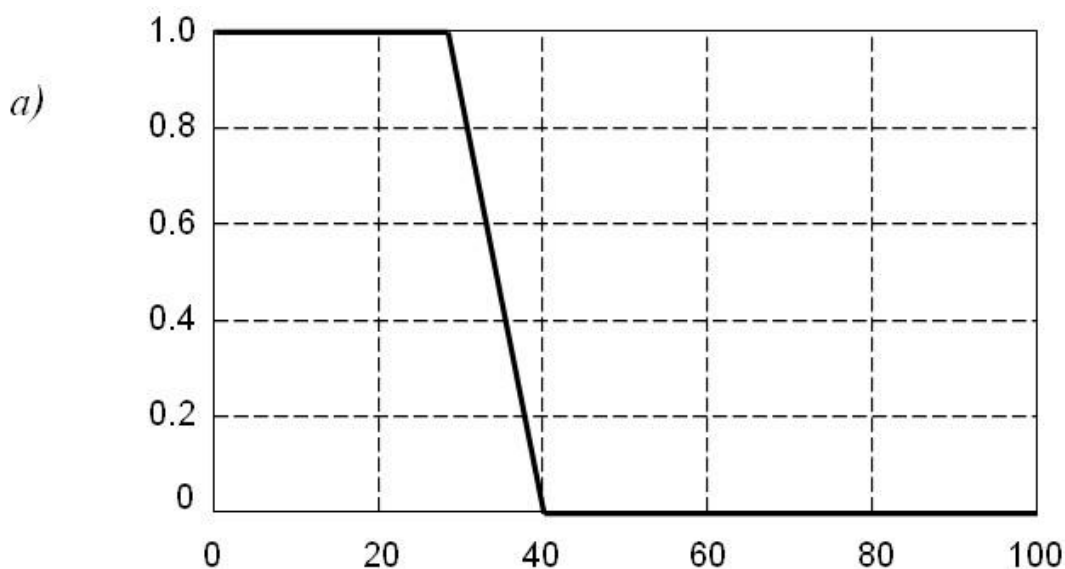
$T = \{\text{«малая скорость»}, \text{«средняя скорость»}, \text{«высокая скорость»}\}$;

$X = [0, 100]$;

G – процедура образований новых термов с помощью логических связок И, ИЛИ и модификаторов типа «очень», «почти» и т.п. Например, «малая или средняя скорость», «очень высокая скорость»;

M – процедура задания на $X = [0, 100]$ нечетких переменных «малая скорость», «средняя скорость» и «высокая скорость», а также новых термов, образованных с помощью процедуры G .

Функции принадлежности для нечетких множеств «малая скорость», «средняя скорость» и «высокая скорость» могут выглядеть например так, как показано на рис.7.4.



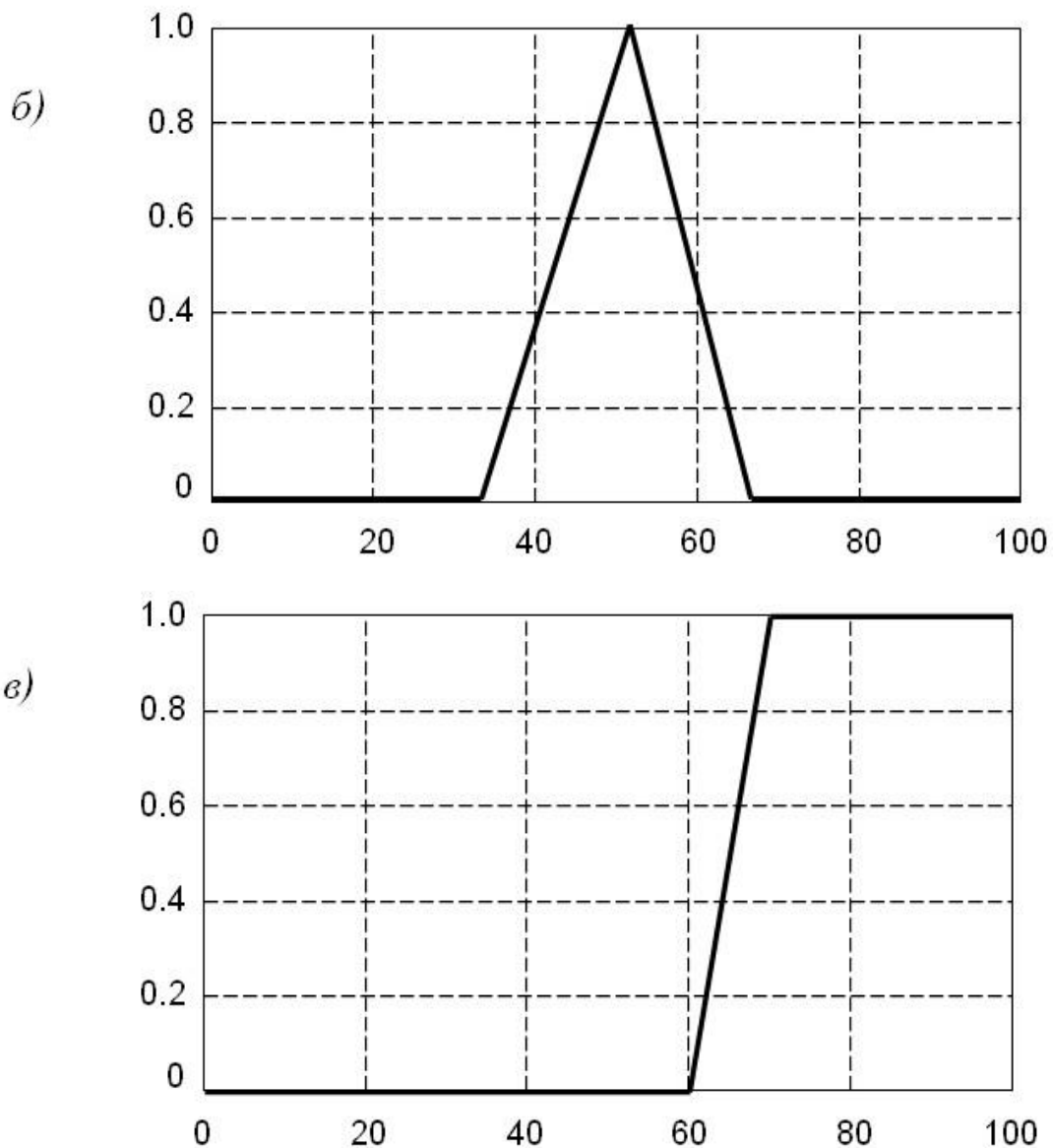


Рис. 7.4 Графики функций принадлежности для нечетких переменных «малая скорость» (а), «средняя скорость» (б), «высокая скорость» (в)

Нечеткие величины, числа и интервалы. Процесс нечеткого моделирования основывается на количественном представлении входных и выходных переменных системы в форме нечетких множеств. Такое представление связано с рассмотрением специальных нечетких множеств, которые задаются на множестве действительных чисел и обладают некоторыми дополнительными свойствами. Наиболее общим понятием в этом контексте является понятие нечеткой величины.

Нечеткой величиной называется произвольное нечеткое множество $\tilde{\mathcal{A}} = \{x, \mu_{\tilde{\mathcal{A}}}(x)\}$, заданное на множестве действительных чисел $\mathbf{R}$, т.е. для

которого универсумом X служит множество R . Другими словами, функция принадлежности нечеткой величины есть отображение $\mu_{\mathcal{A}}(x): R \rightarrow [0, 1]$. Если в качестве универсума взять подмножество неотрицательных действительных чисел, то получим определение неотрицательной нечеткой величины.

Примерами нечетких величин являются нечеткие множества, функции принадлежности которых изображены на рис. 7.1 – 7.3. Наибольший интерес для нечеткого моделирования представляет конкретизация нечеткой величины в форме нечетких чисел и интервалов.

Нечетким интервалом называется нечеткая величина с выпуклой функцией принадлежности. Нечеткое множество $\mathcal{A} = \{x, \mu_{\mathcal{A}}(x)\}$ с универсумом X называют выпуклым, если его функция принадлежности удовлетворяет следующему неравенству:

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) \geq \min \{ \mu_{\mathcal{A}}(a), \mu_{\mathcal{A}}(b) \}, \quad (7.3)$$

для любых значений $x, a, b \in X$, при которых $a < x < b$ и $a \neq b$.

Примерами нечетких интервалов могут служить нечеткие множества с функциями принадлежности, изображенными на рис. 7.1-б, 7.2 и 7.3.

Нечетким числом называется такая нечеткая величина, функция принадлежности которой является выпуклой и унимодальной. Примерами нечетких чисел могут служить нечеткие множества с функциями принадлежности, изображенными на рис. 7.1-а и 7.4-б.

Над нечеткими числами и интервалами могут быть определены аналоги арифметических операций сложения, вычитания, умножения и деления [32].

Элементы нечеткой логики. Нечеткая логика предназначена для формализации человеческих способностей к неточным или приближенным рассуждениям, которые позволяют более адекватно описывать ситуации с неопределенностью. В классической логике все высказывания и рассуждения могут иметь только значение «истина» (**И**, 1) или «ложь» (**Л**, 0). В предложенном Л. Заде варианте нечеткой логики множество истинностных значений высказываний обобщается до интервала действительных значений $[0, 1]$, что позволяет высказыванию принимать любое значение истинности из этого интервала. Это численное значение является количественной оценкой степени истинности высказывания, относительно которого нельзя с полной уверенностью заключить о его истинности или ложности. Использование в качестве множества истинностных значений интервала $[0, 1]$ позволяет построить логическую систему, в рамках которой оказалось возможным выполнять рассуждения с неопределенностью и оценивать истинность высказываний типа:

«скорость автомобиля довольно высокая», «давление в системе значительное», «высота полета предельно низкая» и др.

Элементарное нечеткое высказывание. Исходным понятием нечеткой логики является элементарное нечеткое высказывание. Под ним понимается повествовательное предложение, выражающее законченную мысль, относительно которой мы можем судить об ее истинности только с некоторой степенью уверенности. Степень истинности элементарного нечеткого высказывания принимает значение из замкнутого интервала $[0,1]$, причем 0 и 1 являются предельными значениями степени истинности и совпадают со значениями «ложь» и «истина» соответственно.

Элементарные нечеткие высказывания будем обозначать теми же буквами, что и нечеткие множества: $\mathcal{A}, \mathcal{B}, \mathcal{C}, \mathcal{D}$ и т.д.

Для оценки степени истинности произвольного нечеткого высказывания удобно ввести в рассмотрение специальное отображение T , которое действует из множества рассматриваемых нечетких высказываний $\mathcal{U}$ в интервал $[0, 1]$, т.е. $T: \mathcal{U} \rightarrow [0, 1]$. Это отображение будем называть *отображением истинности* нечетких высказываний. Значение истинности некоторого нечеткого высказывания $\mathcal{A} \in \mathcal{U}$ будем обозначать через $T(\mathcal{A})$.

Основные логические операции с нечеткими высказываниями. К таким основным операциям, как и в классической логике, относятся логическое отрицание, конъюнкция, дизъюнкция и импликация.

Логическим отрицанием нечеткого высказывания $\mathcal{A}$ (записывается как $-\mathcal{A}$, читается как «не $\mathcal{A}$ ») называется унарная логическая операция, результат которой является нечетким высказыванием, истинность которого по определению принимает значение:

$$T(-\mathcal{A}) = 1 - T(\mathcal{A}) \quad (7.4)$$

Конъюнкцией нечетких высказываний $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ (записывается как $\mathcal{A} \wedge \mathcal{B}$, читается как « $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ ») называется бинарная логическая операция, результат которой является нечетким высказыванием, истинность которого определяется по формуле:

$$T(\mathcal{A} \wedge \mathcal{B}) = \min \{ T(\mathcal{A}), T(\mathcal{B}) \} \quad (7.5)$$

Логическую конъюнкцию нечетких высказываний также называют нечетким логическим И, нечеткой конъюнкцией или min-конъюнкцией.

Дизъюнкцией нечетких высказываний $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ (записывается как $\mathcal{A} \vee \mathcal{B}$, читается как « $\mathcal{A}$ или $\mathcal{B}$ ») называется бинарная логическая опе-

рация, результат которой является нечетким высказыванием, истинность которого определяется по формуле:

$$T(\mathcal{A} \vee \mathcal{B}) = \max \{ T(\mathcal{A}), T(\mathcal{B}) \} \quad (7.6)$$

Логическую дизъюнкцию нечетких высказываний также называют нечетким логическим ИЛИ, нечеткой дизъюнкцией или max-дизъюнкцией.

Импликацией нечетких высказываний $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ (записывается как $\mathcal{A} \supset \mathcal{B}$, читается как «из $\mathcal{A}$ следует $\mathcal{B}$ ») называется бинарная логическая операция, результат которой является нечетким высказыванием, истинность которого определяется по формуле:

$$T(\mathcal{A} \supset \mathcal{B}) = \max \{ \min [T(\mathcal{A}), T(\mathcal{B})], 1 - T(\mathcal{A}) \} \quad (7.7)$$

Эту форму нечеткой импликации называют нечеткой импликацией Заде. Существует также целый ряд других форм, которые различаются между собой формулами для определения истинности $T(\mathcal{A} \supset \mathcal{B})$ [32].

Нечеткая импликация играет важную роль в процессе нечетких логических рассуждений. Так же, как и в классической логике, первый ее операнд называется посылкой или антецедентом, а второй – заключением или консеквентом.

Правила и системы нечетких продукций. Продукционные системы были разработаны в рамках исследований по методам искусственного интеллекта и нашли широкое применение для представления знаний и вывода заключений в экспертных системах, основанных на правилах. Поскольку нечеткий вывод реализуется на основе нечетких продукционных правил, рассмотрение базового формализма нечетких продукционных моделей приобретает самостоятельное значение.

Правило нечеткой продукции. Под правилом нечеткой продукции (или просто под нечеткой продукцией) понимается выражение следующего вида:

$$(i) : Q; P; \mathcal{A} \Rightarrow \mathcal{B}; S; F; N \quad (7.8)$$

где:

(i) – имя нечеткой продукции;

Q – сфера применения нечеткой продукции;

P – условие применимости ядра нечеткой продукции;

$\mathcal{A} \Rightarrow \mathcal{B}$ – ядро нечеткой продукции, в котором $\mathcal{A}$ – условие ядра (или антецедент), $\mathcal{B}$ – заключение ядра (или консеквент), $\Rightarrow$ – знак логического следования (или секвенции);

S – метод определения количественного значения степени истинности заключения ядра;

F – коэффициент определенности нечеткой продукции;

N – постусловия нечеткой продукции.

В качестве имени (i) нечеткой продукции может выступать та или иная совокупность букв или символов, позволяющая однозначным образом идентифицировать нечеткую продукцию в системе нечеткого вывода или базе нечетких правил. В частном случае, в качестве имени продукции может использоваться ее номер в системе.

Сфера применения нечеткой продукции Q описывает явно или неявно ту часть предметной области, которую представляет отдельная продукция. Это позволяет выполнить декомпозицию всей предметной области в целом и тем самым повысить эффективность работы продукционной системы.

Условие применимости ядра нечеткой продукции P представляет собой логическое выражение. Если оно присутствует, то активизация ядра продукции становится возможной только в случае выполнения этого условия. Во многих случаях этот элемент продукции может быть опущен или включен в ядро.

Ядро $\mathcal{A} \Rightarrow \mathcal{B}$ записывается, как правило, в более привычной форме: ЕСЛИ $\mathcal{A}$ ТО $\mathcal{B}$. Здесь $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ – некоторые выражения нечеткой логики, которые наиболее часто представляются в форме нечетких высказываний.

Метод определения количественного значения степени истинности заключения ядра P определяет способ или алгоритм нечеткого вывода.

Коэффициент определенности нечеткой продукции F выражает количественную оценку или относительный вес нечеткой продукции. Коэффициент F принимает значение из интервала $[0, 1]$ и часто называется весовым коэффициентом правила продукции.

Постусловия нечеткой продукции N описывают действия которые необходимо выполнить в случае реализации ядра продукции, то есть получения информации об истинности $\mathcal{B}$.

Продукционная нечеткая система. Под такой системой понимается согласованное множество нечетких продукций или правил нечетких продукций в форме ЕСЛИ $\mathcal{A}$ ТО $\mathcal{B}$ (или в виде IF $\mathcal{A}$ THEN $\mathcal{B}$). В этом согласованном множестве нечетких продукций можно выделить три типа элементарных нечетких высказываний:

1. Нечеткие высказывания, которые присутствуют в правилах только в качестве условий. Такие высказывания можно рассматривать в качестве входных переменных продукционной нечеткой системы.

2. Нечеткие высказывания, которые присутствуют в правилах только в качестве заключений. Такие высказывания можно рассматривать в качестве выходных переменных продукционной нечеткой системы.
3. Нечеткие высказывания, которые присутствуют в одних правилах в качестве заключений, а в других – в качестве условий. Такие высказывания можно рассматривать в качестве промежуточных или внутренних переменных продукционной нечеткой системы.

В системе, изображенной на рис. 7.5, нечеткие высказывания $\{\mathcal{A}_i\}$ являются ее входными переменными, нечеткие высказывания $\{\mathcal{D}_i\}$ – выходными переменными, а высказывания $\{\mathcal{B}_i\}$ и $\{\mathcal{C}_i\}$ – внутренними переменными. Смысл продукционной системы состоит в том, что она позволяет на основании некоторого набора значений входных переменных получить, путем применения логического вывода, соответствующий набор значений выходных переменных.

Отметим, что некоторые внутренние переменные тоже могут представлять конечный интерес для пользователя продукционной системы и в этом смысле могут быть отнесены к категории выходных переменных.

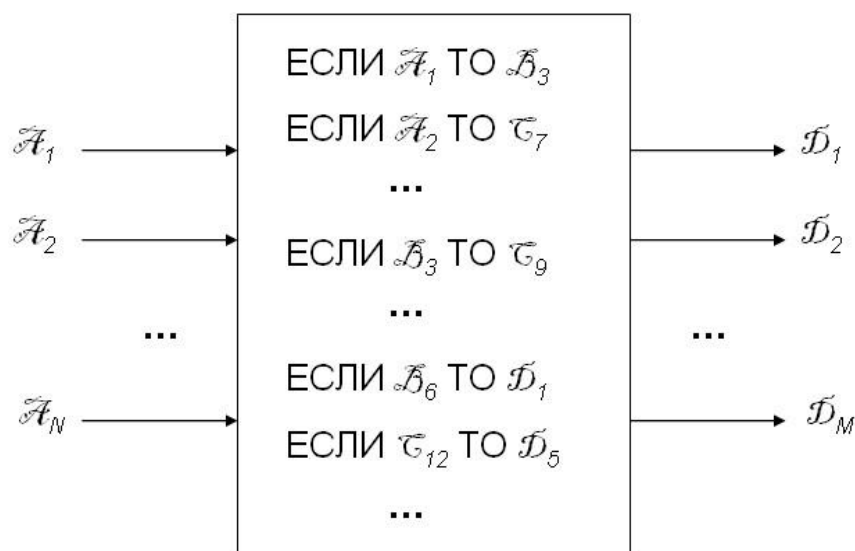


Рис. 7.5 Продукционная нечеткая система

Приведенное выше определение продукционной нечеткой системы не включает в себя процедуру нечеткого логического вывода. Однако часто, говоря о продукционных системах, под ними понимают их про-

граммную реализацию, которая включает в себя как согласованное множество правил продукций, так и систему логического вывода. Ниже мы будем придерживаться, как правило, такого понимания продукционной нечеткой системы.

Основная проблема приближенных рассуждений с использованием нечетких правил продукций заключается в том, чтобы на основе некоторых нечетких высказываний с известной степенью истинности, которые являются условиями нечетких правил продукций, оценить степень истинности других нечетких высказываний, являющихся заключениями соответствующих нечетких правил продукций.

Чтобы иметь возможность решить эту проблему, необходимо ответить на более частный вопрос: «чему должна быть равна степень истинности заключения отдельного нечеткого правила продукции, если известна степень истинности условия этого правила?». Таким образом, в системах нечетких продукций центральное место занимает метод определения истинности заключений в нечетком правиле продукции.

Решение этого вопроса базируется на использовании так называемых *нечетких отношений* [32], рассмотрение которых выходит за рамки данного пособия. Эти отношения позволяют установить формальные зависимости между функциями принадлежности условия и заключения нечеткого правила продукции.

Системы нечеткого вывода. Процесс нечеткого вывода представляет собой некоторую процедуру или алгоритм получения нечетких заключений на основе нечетких условий. Этот процесс реализуется с помощью системы нечеткого вывода.

Рассматриваемые ниже в соответствии с [32] системы нечеткого вывода являются частным случаем продукционных нечетких систем, в которых условия и заключения правил продукций формулируются в форме нечетких высказываний относительно значений тех или иных лингвистических переменных. Такие высказывания носят название нечетких лингвистических высказываний.

Нечеткие лингвистические высказывания. Нечетким лингвистическим высказыванием называется высказывание одного из следующих видов:

- Высказывание « β есть α », где β – наименование лингвистической переменной, β есть α – ее значение, которому соответствует отдельный терм из базового терм-множества T лингвистической переменной (см. выше определение лингвистической переменной β).

- Высказывание « β есть $\nabla\alpha$ », где ∇ – модификатор, соответствующий таким словам как ОЧЕНЬ, ПОЧТИ и другим, которые могут быть получены с использованием процедур G и M данной лингвистической переменной (см. выше определение лингвистической переменной β).
- Составные высказывания, образованные из высказываний предыдущих двух видов и нечетких логических операций И, ИЛИ, НЕ.

Поскольку в системах нечеткого вывода нечеткие лингвистические высказывания занимают центральное место, ниже будем называть их просто нечеткими высказываниями.

Простейшее правило нечеткой продукции, в случае использования в его ядре нечетких высказываний, будет иметь вид:

$$\text{ЕСЛИ « } \beta_1 \text{ есть } \alpha_1 \text{ » ТО « } \beta_2 \text{ есть } \alpha_2 \text{ »} \quad (7.9)$$

Основные этапы нечеткого вывода. Как отмечалось выше, процедура нечеткого вывода позволяет на основании некоторого набора значений входных переменных получить, путем применения логического вывода, соответствующий набор значений выходных переменных (см. рис. 7.5). Эта процедура включает в себя ряд последовательных этапов, к которым относятся: формирование базы правил, фаззификация, агрегирование, активизация, аккумуляция и дефаззификация (рис. 7.6). Эти этапы рассматриваются ниже.

Формирование базы правил. База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических или экспертных знаний в той или иной предметной области. Эта база представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных. Наиболее часто база правил представляется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ «условие_1» ТО «закключение_1» } (F_1) \\ \text{ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ «условие_1» ТО «закключение_1» } (F_2) \\ \dots \\ \text{ПРАВИЛО_n: ЕСЛИ «условие_1» ТО «закключение_1» } (F_n) \end{aligned} \quad (7.10)$$

Здесь через F_i , $i = (1, 2, \dots, n)$ обозначены весовые коэффициенты соответствующих правил. Эти коэффициенты могут принимать значения из интервала $[0, 1]$. Если они отсутствуют, то можно условно считать их равными 1.



Рис. 7.6 Этапы нечеткого вывода

В виде условий и заключений выступают нечеткие высказывания. Для задания значений (термов) лингвистических переменных часто используют специальные общепринятые сокращения, которые приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1 Сокращения для термов лингвистических переменных

Принятое сокращение	Англоязычная расшифровка	Русскоязычное наименование
NB	Negative Big	Отрицательное большое
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
NS	Negative Small	Отрицательное малое
ZN	Zero Negative	Отрицательное близкое к 0
Z	Zero	Нуль, близкое к 0
ZP	Zero Positive	Положительное близкое к 0
PS	Positive Small	Положительное малое

PM	Positive Middle	Положительное среднее
PB	Positive Big	Положительное большое

Фаззификация. Под фаззификацией понимается процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких переменных на основе обычных (не нечетких) исходных данных. Фаззификацию еще иногда называют *введением нечеткости*.

Целью этапа фаззификации является установление соответствия между конкретным (обычно, численным) значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной. После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в условиях базы правил системы нечеткого вывода.

Формально процедура фаззификации выполняется следующим образом. До начала этого этапа предполагаются известными конкретные значения всех входных переменных системы нечеткого вывода, т.е. множество значений $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Каждое значение a_i принадлежит X_i , где X_i – универсум лингвистической переменной β_i . Эти значения могут быть получены либо от датчиков, либо другим, внешним по отношению к системе нечеткого вывода способом.

Далее рассматривается каждое из подусловий вида « β_i есть α_i » правил системы нечеткого вывода, где α_i – некоторый терм с известной функцией принадлежности $\mu_{\alpha_i}(x_i)$. При этом значение a_i используется в качестве аргумента $\mu_{\alpha_i}(x_i)$, тем самым находится количественное значение $b_i = \mu_{\alpha_i}(a_i)$. Это значение и является конечным результатом фаззификации подусловия « β_i есть α_i ».

Термин «подусловие» используется по той причине, что условие может быть составным, то есть построено из условий вида « β_i есть α_i » и логических связок И, ИЛИ и НЕ (см. выше определение нечеткого лингвистического высказывания). Если условие является простым, а не составным, то можно считать что условие включает в себя лишь одно подусловие, совпадающее с данным условием.

Для иллюстрации этого этапа рассмотрим пример фаззификации нечеткого высказывания «'скорость автомобиля' есть 'средняя'», или в менее формальной записи: «*скорость автомобиля средняя*». Пусть функция принадлежности терма «*средняя*» соответствует приведенной выше на рис. 7.4,б. Предположим далее, что текущая скорость автомо-

биля равна 55 км в час, т.е. $a_1 = 55$ км/ч. Тогда фаззификация приведенного нечеткого высказывания даст в результате число, приближенно равное 0.73, что иллюстрируется на рис. 7.7.

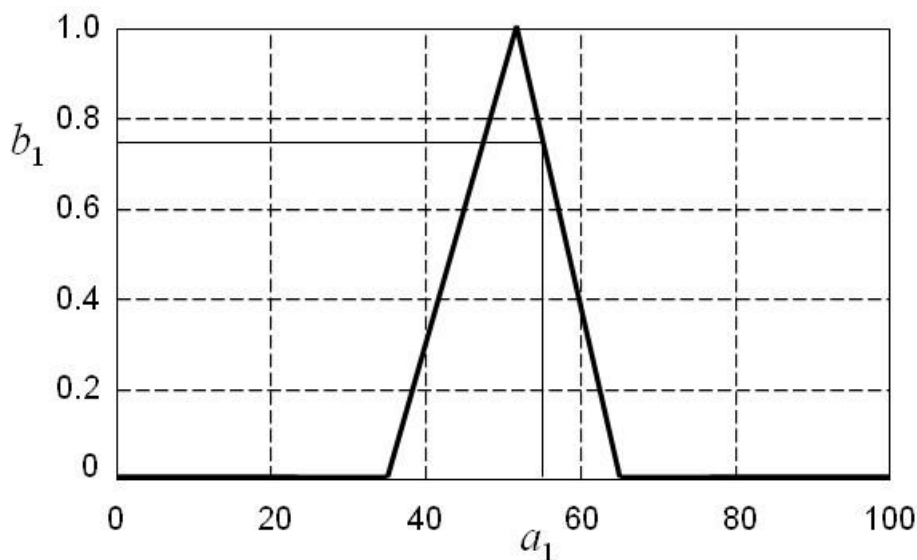


Рис. 7.7 Пример фаззификации условия

Агрегирование. Операция агрегирования необходима для завершения процедуры фаззификации применительно к составным условиям, так как необходимо определить степень истинности всего такого условия в целом. Степень истинности составного условия определяется путем выполнения операций над функциями принадлежности подусловий в соответствии с правилами выполнения логических операций над нечеткими высказываниями. Эти правила определяются приведенными выше формулами (7.4), (7.5) и (7.6).

Активизация. Активизация в системах нечеткого вывода представляет собой процесс нахождения степени истинности для каждого из заключений базы правил нечетких продукций (мы здесь не будем рассматривать случай, когда заключение состоит из нескольких подзаключений), после чего выполняется корректировка функций принадлежности выходных лингвистических переменных.

Формально значение истинности заключения $c_i^{(j)}$ определяется как произведение значения истинности условия $b_i^{(j)}$ на значение коэффициента F_j . Если $F_j = 1$, то $c_i^{(j)} = b_i^{(j)}$. Здесь индекс j соответствует номеру правила ПРАВИЛО_j (см. выражение (7.10)).

По определению, каждая из выходных лингвистических переменных β_i (см. выражение (7.9)) имеет свою функцию принадлежности $\mu_{\beta_i}(x)$. Если переменная β_i участвует в правиле j , то ее функция принадлежности корректируется по одному из возможных правил [32], одним из которых является правило min-активизации:

$$\mu_{\beta_i}(x)^{(j)} = \min \{ c_i^{(j)}, \mu_{\beta_i}(x) \} \quad (7.11)$$

Пример корректировки функции принадлежности на основе правила min-активизации приведен на рис. 7.8. Здесь скорректированная функция принадлежности $\mu_{\beta_i}(x)^{(j)}$ изображена более жирной линией.

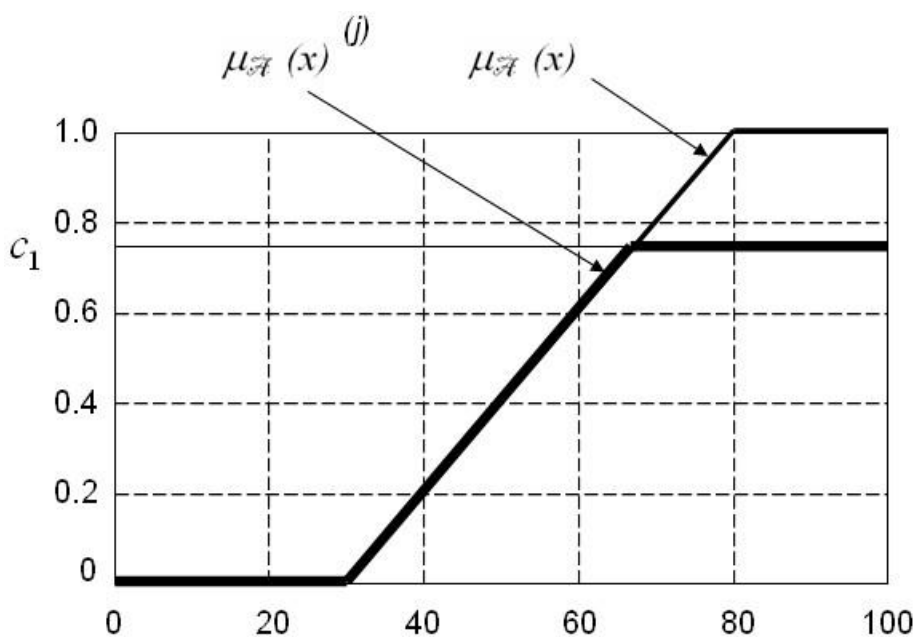


Рис. 7.8 Пример исходного и скорректированного значения функции принадлежности

Аккумуляция. Необходимость процедуры аккумуляции обусловлена тем, что одна и та же выходная лингвистическая переменная может присутствовать в нескольких правилах базы правил нечетких продукций. Поэтому для такой лингвистической переменной необходимо определить некоторую «итоговую» функцию принадлежности, которая «объединяла» бы все те функции принадлежности, которые были получены для этой переменной в разных правилах.

Формально данная процедура аккумуляции сводится к операции объединения нечетких множеств, о которой мы упоминали выше. Функ-

ция принадлежности множества $\mathcal{D}$, являющегося объединением множеств $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$, может быть определена по формуле:

$$\mu_{\mathcal{D}}(x) = \max \{ \mu_{\mathcal{A}}(x), \mu_{\mathcal{B}}(x) \}, \quad \text{для любого } x \in X \quad (7.12)$$

Дефаззификация. Завершающая процедура дефаззификации в системах нечеткого вывода представляет собой процесс нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой выходной лингвистической переменной. Эти обычные значения могут быть использованы устройствами или процедурами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода. Дефаззификацию иногда называют *приведением к четкости*.

Математически дефаззификация заключается в определении некоторого центра площади, заключенной под графиком функции принадлежности. В качестве математического метода при этом могут использоваться: метод центра тяжести, метод центра площади, или метод левого модального значения [32].

Конкретные алгоритмы нечеткого вывода. Рассмотренные выше этапы нечеткого вывода не конкретизируют процедуру вывода в деталях. Так, например, могут использоваться различные виды формул для процедуры активизации или дефаззификации. В силу этого существуют различные конкретные алгоритмы нечеткого вывода, к основным из которых относятся алгоритм Мамдани (Mamdani), алгоритм Цукамото (Tsukamoto), алгоритм Ларсена (Larsen), алгоритм Сугено (Sugeno) и упрощенный алгоритм нечеткого вывода [32].

Отметим, что вся рассмотренная выше процедура нечеткого вывода может применяться к базе правил итеративно. В самом деле, при наличии так называемых промежуточных нечетких переменных (см. рис. 7.5) мы не можем при нечетком выводе рассматривать те правила, у которых входные переменные еще не определены. Поэтому итерации должны продолжаться до тех пор, пока все промежуточные переменные не будут определены и пока все правила не пройдут через систему нечеткого вывода.

Существует ряд программных систем, реализующих механизмы нечеткого вывода и тем самым существенно облегчающих проведение нечеткого моделирования в конкретных прикладных задачах. Наиболее известной и распространенной из таких систем является MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, разработанная американской компанией MathWorks Inc. [32].

8. Оптимизация выбора исполнителей с применением методов нечеткой логики

При решении задачи конфигурирования виртуального предприятия на основе многоагентного алгоритма, рассмотренного в п.4, возникает ряд частных подзадач, допускающих их формулировку в терминах нечеткой логики. Одной из таких задач является необходимость ответить на вопрос: «В состоянии ли предприятие, предлагающее свои услуги, выполнить данный заказ, с учетом имеющегося уровня сложности этого заказа?» Разумеется, если передать детальное описание заказа специалистам предприятия, то, проведя соответствующий анализ, они дадут ответ на этот вопрос. Однако при этом время поиска исполнителей заказчиком может затянуться на неоправданно большой или даже неприемлемый срок по следующим причинам:

- Заказ состоит из большого числа подзаказов, так что на анализ всех подзаказов объективно нужно большое время.
- Специалисты предприятия заняты текущей деятельностью и не могут оперативно выделить время на анализ поступившего заказа.
- С учетом того, что число потенциальных исполнителей может быть достаточно велико, у заказчика может оказаться недостаточно ресурсов для проведения контактов со всеми возможными исполнителями.

В силу этих причин необходимо по крайней мере иметь быстрый механизм отсеивания тех исполнителей, которые (точно или скорее всего) не в состоянии выполнить данный заказ. Такое отсеивание возможно при автоматическом сопоставлении характеристик данного заказа с характеристиками услуг исполнителя. Однако, если характеристики заказа носят количественный характер, то описание услуг исполнителя по большей части носит качественный характер, например: «изготавливаем пресс-формы средней сложности» или «изготавливаем все виды пресс-форм за исключением крупногабаритных». Таким образом, формальное решение данной задачи возможно только с применением методов нечеткой логики.

Поскольку системы нечеткого вывода, такие как MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, берут на себя решение задач нечеткого вывода, начиная с этапа фаззификации и заканчивая этапом дефаззификации, то пользователю остается решить следующие задачи:

- Определить набор используемых лингвистических переменных и дать их полное описание в соответствии с определением лингвистической переменной;
- Сформировать базу правил нечетких продукций, определяющую взаимозависимости между данными лингвистическими переменными;
- Ввести сформированную базу правил, описания лингвистических переменных и численные значения входных переменных в систему нечеткого вывода;
- Выполнить процедуру нечеткого вывода;
- Принять решение на основании численных значений выходных переменных.

Мы не ставим здесь задачу составления некоторой реальной базы правил, так как это требует детального рассмотрения конкретной предметной области; кроме того, такая реальная база правил может оказаться достаточно большой по объему. Наша задача состоит в том, чтобы на несложном примере показать применимость методов нечеткой логики при решении задач конфигурирования виртуального предприятия.

Пусть речь идет о заказе на изготовление пресс-формы и классификация такого заказа исполнителем идет по двум критериям – габаритам пресс-формы и степени ее сложности. Введем в рассмотрение две лингвистические переменные «Габариты пресс-формы» и «Степень сложности пресс-формы».

Определим первую из этих переменных. При этом габариты будем оценивать по максимальному из размеров (длина, ширина и высота) в миллиметрах. Примем условно, что габариты определяются в интервале $[0, 1000]$. Тогда:

β_1 – габариты пресс-формы;

$T = \{\text{«малые габариты»}, \text{«средние габариты»}, \text{«большие габариты»}\};$

$X = [0, 1000]$.

В целях простоты не будем рассматривать модификаторы типа «очень», «более или менее» и др. Далее, пусть функции принадлежности нечетких переменных терм-множества T лингвистической переменной β_1 выглядят так, как показано на рис. 8.1.

Теперь перейдем к определению второй лингвистической переменной β_2 – степень сложности пресс-формы.

Понятие степени сложности пресс-формы является во многом субъективным и зависит от целого ряда факторов. В нашем примере будем считать, что таких факторов два – количество деталей в пресс-форме и число линий разъема пресс-формы. Поскольку сложность пресс-формы может определяться через данные факторы лишь приблизительно, то эти факторы также должны описываться в виде некоторых лингвистических переменных: β_3 и β_4 .

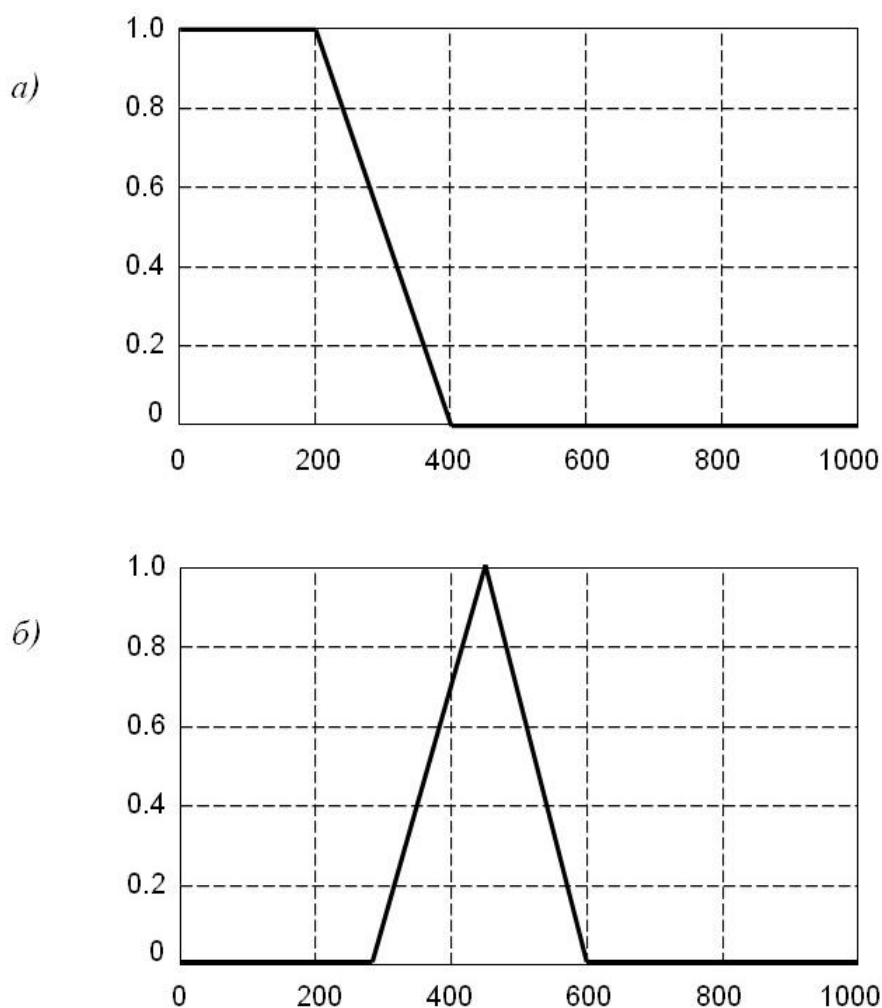
Определим лингвистическую переменную β_3 :

β_3 – число деталей (ЧД) в пресс-форме;

$T = \{\text{«малое ЧД»}, \text{«среднее ЧД»}, \text{«большое ЧД»}\};$

$X = [0, 1000].$

Примем, что вид функций принадлежности нечетких переменных терм-множества T лингвистической переменной β_3 совпадает с видом функций, представленных на рис.8.1.



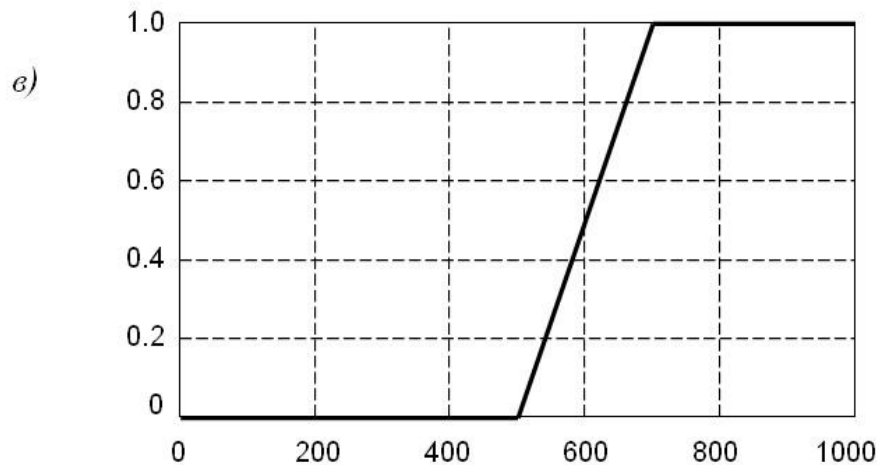


Рис. 8.1 Функции принадлежности для нечетких переменных «малые габариты» (а), «средние габариты» (б), «большие габариты» (в)

Далее определим лингвистическую переменную β_4 . При этом будем считать, что число линий разъема не превышает пяти.

β_4 – число линий разъема (ЛР) в пресс-форме;

$T = \{\text{«малое число ЛР»}, \text{«среднее число ЛР»}, \text{«большое число ЛР»}\};$

$X = \{1, 2, 3, 4, 5\}.$

Так как универсум X лингвистической переменной β_4 представляет собой дискретное множество с небольшим числом элементов, то, как отмечалось выше, нечеткие переменные терм-множества T удобно описать в виде $\{ \langle x_1, \mu_{\tilde{A}}(x_1) \rangle, \langle x_2, \mu_{\tilde{A}}(x_2) \rangle, \dots, \langle x_n, \mu_{\tilde{A}}(x_n) \rangle \}$, где n – рассматриваемое число элементов нечеткого множества. Тогда:

«малое число ЛР» = $\{ \langle 1, 1.0 \rangle, \langle 2, 0.8 \rangle, \langle 3, 0.3 \rangle, \langle 4, 0.0 \rangle, \langle 5, 0.0 \rangle \}$

«среднее число ЛР» = $\{ \langle 1, 0.0 \rangle, \langle 2, 0.3 \rangle, \langle 3, 1.0 \rangle, \langle 4, 0.3 \rangle, \langle 5, 0.0 \rangle \}$

«большое число ЛР» = $\{ \langle 1, 0.0 \rangle, \langle 2, 0.0 \rangle, \langle 3, 0.3 \rangle, \langle 4, 0.8 \rangle, \langle 5, 1.0 \rangle \}$

Вернемся к определению второй лингвистической переменной β_2 – степень сложности пресс-формы.

β_2 – степень сложности (СС) пресс-формы;

$T = \{\text{«малая СС»}, \text{«средняя СС»}, \text{«большая СС»}\};$

$X = [0, 1].$

Как видно из определения универсума X , степень сложности пресс-формы характеризуется некоторым коэффициентом сложности, лежащим в пределах от 0 до 1. В качестве функций принадлежности нечетких переменных терм-множества T лингвистической переменной β_2 будем использовать те же функции, вид которых представлен на рис 8.1,

с той разницей, что значения по оси абсцисс должны быть поделены на 1000.

Связь лингвистической переменной β_2 с переменными β_3 и β_4 может быть установлена с помощью следующих правил:

ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ «число деталей в пресс-форме малое» ТО «степень сложности пресс-формы малая»

ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ «число деталей в пресс-форме среднее» ТО «степень сложности пресс-формы средняя»

ПРАВИЛО_3: ЕСЛИ «число деталей в пресс-форме большое» ТО «степень сложности пресс-формы большая»

ПРАВИЛО_4: ЕСЛИ «число ЛР в пресс-форме малое» ТО «степень сложности пресс-формы малая»

ПРАВИЛО_5: ЕСЛИ «число ЛР в пресс-форме среднее» ТО «степень сложности пресс-формы средняя»

ПРАВИЛО_6: ЕСЛИ «число ЛР в пресс-форме большое» ТО «степень сложности пресс-формы большая»

Отметим, что значение истинности переменной «степень сложности пресс-формы» определяется в процессе нечеткого логического вывода на основании учета всех модификаций функций принадлежности, полученных в разных правилах (см. в п. 7 описание этапа аккумуляции в системах нечеткого вывода).

Теперь перейдем к правилам, определяющих реакцию возможного соисполнителя на заказ с теми или иными характеристиками. Дело в том, что однозначная (положительная или отрицательная) реакция возникает у соисполнителя не на любой из заказов. Некоторые заказы с одной стороны являются для соисполнителя проблемными, а с другой – выгодными. Поэтому возможна реакция типа: «скорее бы взял заказ, чем не взял».

Определим реакцию возможного соисполнителя как лингвистическую переменную β_5 :

β_5 – реакция соисполнителя (РС);

$T = \{\text{«отрицательная»}, \text{«промежуточная»}, \text{«положительная»}\};$

$X = [-1, 1].$

Пусть функции принадлежности нечетких переменных термножества T лингвистической переменной β_5 выглядят так, как показано на рис. 8.2.

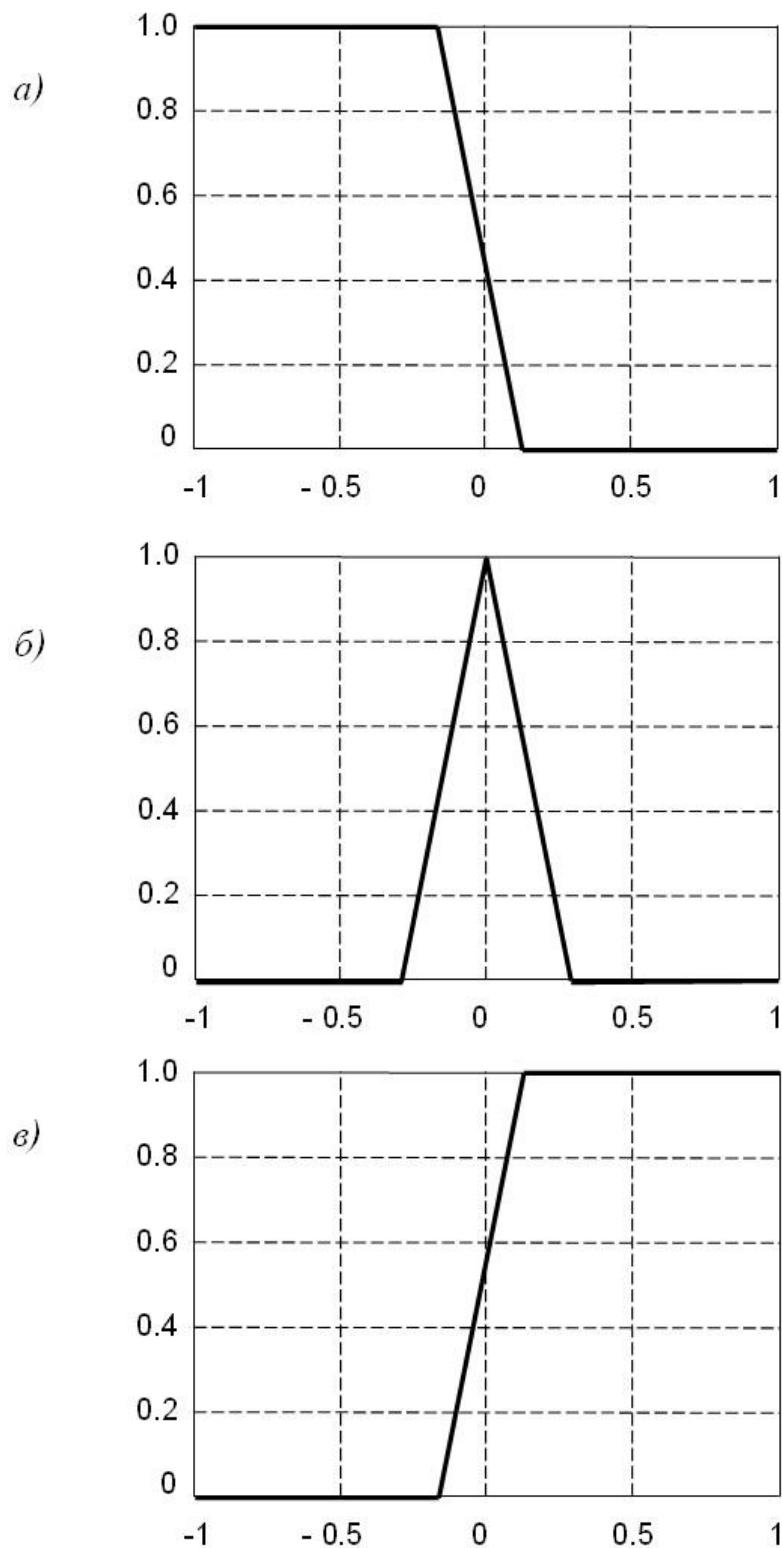


Рис. 8.2 Функции принадлежности для нечетких переменных «отрицательная» (а), «промежуточная» (б), «положительная» (в)

Правила, связывающие реакцию соисполнителя с характеристиками заказа, могут иметь следующий вид:

ПРАВИЛО_7: ЕСЛИ «габариты пресс-формы малые ИЛИ габариты пресс-формы средние» ТО «РС положительная»

ПРАВИЛО_8: ЕСЛИ «габариты пресс-формы большие» ТО «РС отрицательная»

ПРАВИЛО_9: ЕСЛИ «степень сложности пресс-формы малая» ТО «РС положительная»

ПРАВИЛО_10: ЕСЛИ «степень сложности пресс-формы средняя» ТО «РС промежуточная»

ПРАВИЛО_11: ЕСЛИ «степень сложности пресс-формы большая» ТО «РС отрицательная»

Таким образом, база правил нечетких продукций в рассматриваемой задаче образована совокупностью правил {ПРАВИЛО_1, ПРАВИЛО_2, ..., ПРАВИЛО_11}. Задав конкретные значения входных параметров (которые соответствуют характеристикам конкретного заказа) и используя систему нечеткого вывода, можно получить соответствующее значение выходной переменной, в качестве которой выступает реакция возможного соисполнителя.

Действия, предпринимаемые заказчиком с учетом значения реакции соисполнителя, находятся за пределами системы нечеткого вывода. Например заказчик может действовать по следующему принципу:

- Если значение реакции соисполнителя больше или равно 0, то контакты с возможным соисполнителем будут продолжены;
- Если значение реакции меньше 0, то соисполнитель исключается из списка возможных претендентов на выполнение заказа.

Еще раз отметим, что данный пример лишь иллюстрирует методику применения нечеткого вывода в рамках интересующей нас задачи по выбору исполнителей при конфигурировании виртуального предприятия. Составление реальной базы правил нечетких продукций не только требует детального знания конкретной предметной области, но и может оказаться достаточно трудоемкой процедурой.

9. Организация сети участников виртуального предприятия

При рассмотрении алгоритмов конфигурирования виртуального предприятия (пп. 4-6 и 8) под термином «виртуальное предприятие» фактически понималась активная сеть его участников. Такое понимание не противоречит приведенному в п.1 определению виртуального предприятия. Однако, некоторые рассмотренные в п.1 типы виртуальных предприятий, строго говоря, выходят за рамки данного определения. Это касается типа предприятий, в которых организатор создает определенную информационную и управленческую среду для включения производителей в активные сети. Тем самым создаются предпосылки для того, чтобы в короткий срок построить нужную активную сеть. В таких виртуальных предприятиях могут быть реализованы крупные проекты промышленного производства.

Построение данной информационно-управленческой среды является отдельной задачей, в общем случае не связанной с алгоритмами конфигурирования. Эту задачу мы будем называть задачей организации сети потенциальных участников виртуального предприятия, или короче – задачей организации сети участников виртуального предприятия (СУВП).

СУВП не сводится к простой совокупности потенциальных участников, а представляет собой систему более высокого уровня. Эта система является открытой сетью, в которой организатор не управляет участниками, а создает среду и механизмы для функционирования сети. Так как СУВП является сложной социальной сетью, то ее построение и функционирование следует рассматривать в соответствии с принципами построения самоорганизующихся систем.

Самоорганизующиеся системы. Концепция самоорганизации возникла в середине 1940-х годов, когда ученые начали разрабатывать первые математические модели, описывающие логику функционирования нейронных сетей [35]. Позже в кибернетике сформировалось определение самоорганизующейся системы, как системы, которая может изменять свою структуру и функции с целью адаптации к изменениям окружающей среды.

В технических системах в первую очередь применение нашли простейшие принципы самоорганизации, когда система в целях адаптации

изменяет лишь значения своих внутренних параметров (например, величину коэффициента усиления в цепи обратной связи). Такие системы получили название самонастраивающихся. Современные робототехнические системы могут обладать более сложными механизмами самоорганизации. Однако наиболее сложные механизмы самоорганизации имеют место в живых системах [34].

Высокоразвитые живые системы, к которым относятся и социальные системы, обладают возможностью создания новых структур и режимов поведения в процессе развития, обучения и эволюции. Общая для всех живых систем особенность заключается в том, что все они представляют собой открытые системы, функционирующие вдали от состояния равновесия. Для того чтобы осуществлялась самоорганизация, необходим непрерывный поток материи и энергии сквозь систему. Для наиболее высокоорганизованных живых систем, в том числе и для социальных, необходимо также наличие потока информации.

Самоорганизующиеся системы обладают памятью, способностью к самообучению и к принятию решений. Кроме того, их характеризует большое число обратных связей как между системой и внешней средой, так и между компонентами системы (рис. 9.1).

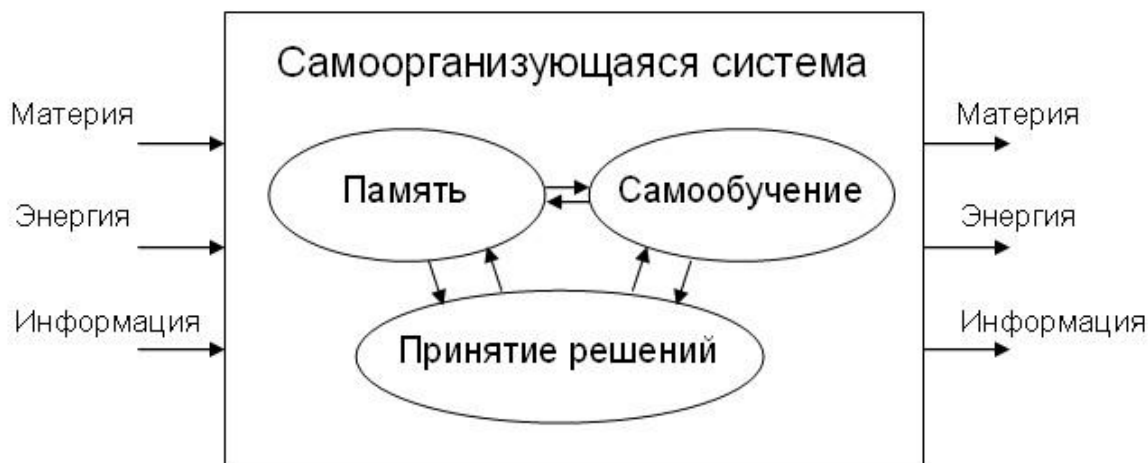


Рис. 9.1 Характеристики самоорганизующейся системы

Механизмы самоорганизации существенно зависят от конкретного класса систем. В нашем случае их следует рассматривать применительно к построению СУВП. Эти механизмы должны не только обеспечить жизнеспособность СУВП за счет ее адаптации к изменяющимся внеш-

ним условиям, но и способствовать ее дальнейшему совершенствованию.

Критерии оптимизации в СУВП. Очевидно, что потенциальные участники виртуального предприятия являются конкурентами при распределении очередного заказа. Это иллюстрирует и критерий оптимизации в многоагентном алгоритме, изложенном в п. 5, когда исполнитель выбирается с учетом максимального значения рейтинга, а рейтинг определяется формулой. Иными словами, чем быстрее и дешевле потенциальный участник может выполнить заказ, тем больше у него шансов этот заказ получить, независимо от прочих факторов. Однако неочевидно, что для СУВП в целом такой подход является оптимальным.

Для СУВП как самостоятельной системы должны существовать собственные критерии оптимального функционирования, отличные от рассмотренных выше критериев, используемых при генерации активных сетей. Возможен вариант, при котором критерии генерации активных сетей строятся таким образом, что учитывают требования оптимального функционирования СУВП в целом.

Для СУВП, как социальной самоорганизующейся системы, важны факторы, которые способствуют большей устойчивости системы и улучшению качества формируемых активных сетей. К таким факторам относятся:

- тенденция к росту числа потенциальных участников в СУВП;
- повышение профессионального уровня участников СУВП;
- учет интересов социальных систем, играющих для СУВП роль окружающей среды;
- учет прогрессивных тенденций развития глобальной социальной среды.

Чтобы обеспечить принятие решений с учетом первого из перечисленных выше факторов, можно ввести в определение рейтинга R_M предприятия-участника Π_M (см. выше формулу (5.1)) дополнительную составляющую Q_M , которую назовем фактором поддержки:

$$R_M = \omega_1 \times \frac{C_{Ai\zeta\hat{e}}}{C_{Ai\hat{e}\tilde{m}}} + \omega_2 \times \frac{T_{Ai\zeta\hat{e}}}{T_{Ai\hat{e}\tilde{m}}} + Q_M, \quad (9.1)$$

Фактор Q_M носит социальный характер – он направлен на поддержку новых членов СУВП и на поддержку тех участников, которые могли бы выполнить данный заказ, но не имеют в данном виде работ большого опыта (такая поддержка имеет определенную аналогию с принципами антимонопольной политики). Фактор Q_M может быть определен по формуле:

$$Q_M = \frac{AG}{(G_M + 1)} + \frac{AE}{(E_M + 1)},$$

(9.2)

где:

G_M – число лет, в течение которых предприятие M является членом СУВП;

E_M – число заказов данного класса, выполненных предприятием M ;

AG и AE – весовые коэффициенты.

Третий из перечисленных выше факторов также допускает его учет в формуле определения рейтинга. Например, мы заинтересованы в поддержке предприятий отечественной промышленности больше, чем в поддержке зарубежных исполнителей. Чтобы зафиксировать этот факт, введем в формулу рейтинга дополнительную составляющую U_M :

$$R_M = \omega_1 \times \frac{C_{Ai\grave{c}\grave{a}\grave{e}}}{C_{Ai\grave{e}\grave{n}\grave{i}}} + \omega_2 \times \frac{T_{Ai\grave{c}\grave{a}\grave{e}}}{T_{Ai\grave{e}\grave{n}\grave{i}}} + Q_M + U_M, \quad (9.3)$$

где: $U_M = 1$ – для отечественных предприятий; $U_M = 0$ – для зарубежных предприятий.

Учет второго и четвертого из перечисленных выше факторов в формуле рейтинга (8.3) представляется проблематичным. Для централизованного (то есть не проводимого участниками самостоятельно) повышения профессионального уровня участников СУВП, а также для учета прогрессивных тенденций развития окружающей среды, в СУВП необходимо создание специальных средств.

Централизованное повышение профессионального уровня участников СУВП. Централизованное управление в СУВП предполагает наличие в этой сети специальных организационных структур. Такие структуры могут иметь вид ассоциаций – например, ассоциации производителей оснастки и инструмента. Участники ассоциации могут:

- организовывать совместные группы для обучения специалистов различного профиля на курсах повышения квалификации;
- принимать участие в выставках и конференциях, имеющих отношение к сфере деятельности СУВП;
- проводить совместные семинары по обмену опытом;
- размещать информацию о своей деятельности на специальных сайтах и т.д.

Повышение квалификации участников наиболее целесообразно проводить на базе специализированных научно-образовательных цен-

тров. Так, например, в СПбГУ ИТМО создан Научно-образовательный центр «Интегрированные компьютерные технологии проектирования и производства приборов и систем» (НОЦ ИКТ), основные компетенции которого включают:

- обучение методам применения компьютерных технологий при проектировании и ТПП приборов и систем;
- обучение методам использования компьютерных технологий при изготовлении деталей и узлов, а также при автоматизированной сборке приборов и систем;
- обучение методам использования интеллектуального оборудования, интегрированного с компьютерными технологиями – установок быстрого прототипирования, станков с ЧПУ, координатно-измерительных машин, и др.;
- обучение методам использования информационных технологий при построении виртуальных предприятий, как наиболее современной формы организации распределенного промышленного производства приборов и систем.

НОЦ ИКТ включает в свой состав следующие лаборатории:

- учебно-научная лаборатория интегрированных информационных систем;
- учебно-научная лаборатория проектирования прикладных программных систем;
- учебно-научная лаборатория имитационного моделирования технологических и производственных процессов;
- учебно-производственная лаборатория интеллектуального технологического оборудования;
- учебно-технологическая лаборатория микросистем с использованием информационных и оптических технологий;
- учебно-научная лаборатория технологий быстрого прототипирования изделий;
- учебно-производственная лаборатория сборки и монтажа блоков на печатных платах на основе применения интеллектуального оборудования;
- учебно-научная лаборатория моделирования и управления функциональными характеристиками поверхностного слоя деталей;
- учебно-научная лаборатория автоматизации сборки оптических изделий и узлов.

Лаборатории НОЦ ИКТ являются самостоятельными структурными единицами, которые могут в своей работе кооперироваться как между собой, так и с другими лабораториями СПбГУ ИТМО и с внешними предприятиями и организациями.

Как отмечено выше, взаимодействие между участниками СУВП предполагает обмен информацией о своей деятельности. Однако следует помнить, что участники СУВП являются потенциальными конкурентами, и с этой точки зрения не заинтересованы в повышении профессионального уровня друг друга. Это требует создания тонких механизмов, обеспечивающих определенные приоритеты при принятии решений в пользу кооперации, а не конкуренции.

Учет прогрессивных тенденций развития глобальной социальной среды. Вопросы взаимоотношения конкуренции и кооперации играют центральную роль в экосистемах и социальных системах. Доказано, что в таких системах, в силу всеобщей взаимосвязи процессов, оптимизация системы лишь по одному из параметров, без учета остальных, губительна для всей системы в целом [35]. Наглядным примером служит кризис идеологии «общества потребления», когда стремление к приобретению все новых материальных благ, без наличия интегрирующих нравственных основ, приводит к деградации общества. Этот кризис уже осознан научными и общественными кругами, идет поиск путей выхода из него. Если выход будет найден, то это будет свидетельством высокого уровня механизмов самоорганизации, которыми обладает современное общество.

В результате взаимоотношения социальных подсистем могут претерпеть существенные изменения. Разумеется, эти изменения будут представлять собой достаточно длительный процесс, так что производственные структуры будут иметь время для адаптации. Однако четкое осознание необходимости этих изменений будет способствовать более быстрой адаптации, и как следствие – выживанию социальных систем современного производства.

10. Реализация ТПП в условиях ВП на основе использования комплекса средств информационно-управленческой системы

При построении модели АСТПП в среде виртуального предприятия особое внимание следует уделить выбору инструментальных средств реализации проекта. Основным критерием поиска является способность решений организовать единую трехмерную среду коллективной работы. Для руководителя проекта, формирующего план работ, не должно иметь значения, где территориально находится исполнитель. Подобные информационные системы строятся на базе Web-технологий. Их использование дает возможность взаимодействия всех участников такого проекта в едином информационном пространстве независимо от их фактического местоположения. При этом единственным ограничителем является необходимость доступа к сети Internet. Стоит отметить, что Web-технологии не имеют аналогов в своем ценовом сегменте, что делает их наиболее предпочтительным решением. Применение предприятиями собственных систем передачи данных зачастую не оправдано, так как приводит к большим финансовым затратам, при этом загрузка такого комплекса остается не полной. Использование глобальной сети Internet позволяет сократить расходы на организацию связи, получить возможность постоянного соединения, а значит и современного обновления используемой информации.

Как уже было сказано, в качестве базовой платформы должна использоваться PDM-система, которая представляет собой ядро информационно-управленческой среды. Необходимость ее интеграции с системами, порождающими документацию того или иного вида, очевидна. При этом программный модуль интеграции должен обеспечивать двухстороннюю передачу данных между системами проектирования и средой PDM в необходимом количестве и виде.

Выбор в качестве базового средства реализации SmarTeam обосновывается тем, что данная система является уникальной по своей настройке и адаптации инструментальной средой. Основной стратегией при выборе PDM-системы является ориентация на включение АСТПП в среду единого информационного пространства, представляющего собой комплекс информационных систем и средств интеграции, основанный

на единой для всех базе данных. Кроме того, выбор данного решения определялся примерами успешного внедрения АСТПП на базе ENOVIA SmarTeam среди отечественных приборо- и машиностроительных предприятий.

Редактирование структуры классов данной системы осуществляется без применения каких-либо средств программирования. Еще одной особенностью SmarTeam является модульная структура построения системы – вокруг ее ядра разрабатывается ряд модулей, каждый из которых представляет открытую программную систему. Разработчик в инструментальной среде SmarTeam может легко создавать свои подсистемы или модернизировать уже имеющиеся.

Разработка модели данных АСТПП виртуального предприятия

На основе объектно-ориентированного подхода разрабатывается модель данных АСТПП виртуального предприятия, поддерживающая реализацию ТПП в единой информационно-управленческой среде. При этом должны быть учтены особенности выполнения ТПП в условиях кооперации. Преобразование объектно-ориентированной модели АСТПП в архитектуру информационно-управленческой системы осуществляется на основе метода формирования баз данных PDM-системы Smarteam.

Разработка модели данных в Smarteam осуществляется с использованием подсистем:

- Smarteam Data Model Designer – модуль, предназначенный для создания и изменения структуры баз данных (БД);
- Form designer – модуль, предназначенный для оформления паспортов объектов;
- Smarteam Editor – рабочий инструмент пользователя, используемый для пополнения и изменения данных.

При запуске Smarteam Editor загружается БД проектов. Подобная БД может содержать все данные и документы предприятия.

В соответствии с объектно-ориентированной моделью АСТПП виртуального предприятия необходимо средствами Smarteam:

- создать классы объектов в соответствии с их иерархией;
- назначить атрибуты объектов каждого рассматриваемого класса;
- указать тип данных для атрибутов объекта в соответствии с возможностями инструментальной среды (табл. 1011).

Табл. 10.1. Типы данных системы Smarteam

Тип	Описание
Integer	Только целочисленные. Диапазон: 32768..32767
Char	Только символьные
Long Integer	Целочисленные. Диапазон -2147483648..2147483647
Double Precision	Числовые двойной точности. Диапазон - $1.7 \cdot 10^{308}$.. $5.0 \cdot 10^{-324}$
Date	Дата (Время в виде календаря) dd/mm/yy (день/месяц/год)
Lookup Table	Выпадающий список
Reference to Class	Ссылка на другой класс (отображается в виде таблицы)
Effective Date From	Дата (Время в виде календаря) dd/mm/yy (день/месяц/год) «Эффективен с» (специфичный атрибут SMARTTEAM)
Effective Date Until	Дата (Время в виде календаря) dd/mm/yy (день/месяц/год) «Эффективен до» (специфичный атрибут SMARTTEAM)
Time Stamp	Дата и время (Время в виде календаря, день/месяц/год + час.+мин.)
Relative Time	Дата и время (Время в виде календаря, день/месяц/год + час.+мин.+сек.)
Boolean	Булево (логическое) выражение (Да/Нет или Правда/Ложь)
Memo	Текстовое поле, неограниченного размера
URL	Поле для ввода web – ссылок (адрес сайта)

Предварительный анализ позволяет установить состав и структуру данных, характеристики объектов исследуемой области. Данная информация представляет собой исходные данные для формирования модели

данных, то есть, по сути, является заданием к проектированию архитектуры БД.

Инструмент Smarteam Data Model Designer позволяет проектировщику выполнить формирование БД системы без использования средств программирования. Реализована эта возможность системы с помощью технологии COM.

COM – это платформо-независимая распределенная объектно-ориентированная система для создания приложений, осуществляющих взаимодействие друг с другом.

COM предлагает следующие возможности:

- возможность встраивания (добавления новых приспособлений в приложения, не требует его перестроения/компиляции);
- возможность взаимодействия с другими объектами независимо от рабочей среды;
- доступность в пределах одного процесса, в других процессах или с удаленного ПК;
- стандартизация объектно-ориентированного программирования, включая: типы объектов, стандартные методы, соглашения обозначений, инкапсуляцию.

Данными, относящимися к COM объекту, можно манипулировать через его интерфейсы. Ниже приведена схема (рис. 10.1) взаимодействия приложения с COM–объектом.

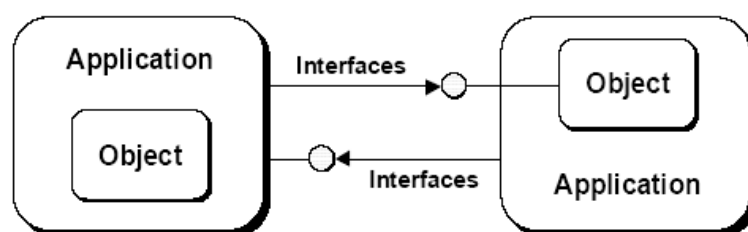


Рис. 10.1. Интерфейс взаимодействия модуля PDM-системы Smarteam с COM–объектом

Модель объекта (МО) в Smarteam имеет следующие преимущества:

- независимость языка программирования (МО Smarteam может использоваться в любой современной среде разработки; например: Microsoft Visual Studio, VBScript и Jscript, Borland Delphi, Java - любые среды разработки, имеющие возможность работы с технологией COM);

- стандартные принципы программирования и соглашения об обозначениях (MO Smarteam раскрывается как объект автоматизации и использует те же самые соглашения об обозначениях, как и MO Microsoft Office);
- гибкость (MO Smarteam совместима с распределенным объектом COM (DCOM), поэтому может быть доступна в другом процессе или на другом ПК сети).

В общем случае проектирование БД системы выполняется следующим образом.

Запустив утилиту Smarteam Data Model Designer, проектировщик приступает к редактированию стандартной модели данных PDM Smarteam (Smarteam Demo). В первую очередь системой предлагается внести изменения в состав классов PDM-системы. Для того чтобы добавить новый класс, необходимо выполнить следующие действия:

- Выбрать в дереве классов «класс-родитель» – тот, в который будет входить создаваемый класс (класс может быть как основным, так и дополнительный, в первом случае он добавляется в корень дерева классов).
- Задать имя класса в соответствующем поле.
- Добавить новый класс в существующую модель данных.

Для каждого нового класса необходимо отредактировать список его атрибутов. Первоначальный перечень атрибутов формируется автоматически в зависимости от характеристик «класса-родителя». Атрибуты Smarteam определяются параметрами: «наименование», «отображение», «тип», «размер», «описание», «обязательный/ зависимый».

Как показывает практика, полнота представления параметров класса зависит от уровня понимания проектировщиком назначения данного вида объектов.

После проведения всех необходимых изменений в модели данных производится формирование паспорта объекта. Для этого используется утилита Form Designer. На данном этапе проектировщик выполняет изменение паспорта нового класса объектов, автоматически сгенерированного средствами Smarteam.

В итоге проводится пересчет базы данных, результатом которого является создание новой информационно-управленческой среды. Таким образом, средствами Smarteam на основе объектно-ориентированного подхода формируется модель данных АСТПП, обеспечивающая выполнение ТПП в единой интегрированной информационной среде предприятия и учитывающая особенности функционирования предприятия в условиях кооперации.

Разработка технологических процессов в интегрированной информационно-управленческой среде, поддерживающей жизненный цикл продукции. Для выполнения проектирования технологических процессов в архитектуре PDM Smarteam предлагается ввести следующие классы данных:

- Проекты.
- Технологические процессы.
- Оборудование.
- Инструменты и оснастка.
- Материалы.
- Нормативно-технологическая документация.

Технологический процесс, проектируемый в информационно-управленческой среде, формируется в виде информационной модели. Благодаря тому, что АСТПП реализуется на основе объектно-ориентированного подхода, информационная модель ТП может не содержать в себе непосредственно тех данных, которые были получены из базы данных при проектировании (например, наименования операций и переходов, сведения о режущем инструменте и др.). Сохраняются только логические ссылки на их местоположение. Таким образом, исключается дублирование информации. Изменение любого элемента базы данных приводит к тому, что импортированная информация автоматически обновляется во всех разработанных ТП.

Проектируемый в Smarteam технологический процесс представляется в виде дерева. Элементы дерева располагаются в следующей последовательности (рис. 10.2):

- план подготовки производства (ППП);
- «Сумма технологий»;
- процесс «Расцеховки» (Рц);
- этап обработки (Э);
- технологический процесс;
- № операции;
- № перехода;
- контролируемый параметр (П).

Таким образом, для формирования электронной модели ТП вводятся новые обозначения. Под планом подготовки производства (ППП) понимается множество предварительных инструкций, записываемых перед началом описания ТП. «Сумма технологий» представляет собой папку в дереве модели, в которой размещается вся информация о проектируе-

мом ТП. Расцеховочный маршрут описывает последовательность цехов, задействованных при изготовлении изделия. Кроме того, в дереве указывается этап обработки (Э), задающий номер цеха-исполнителя.

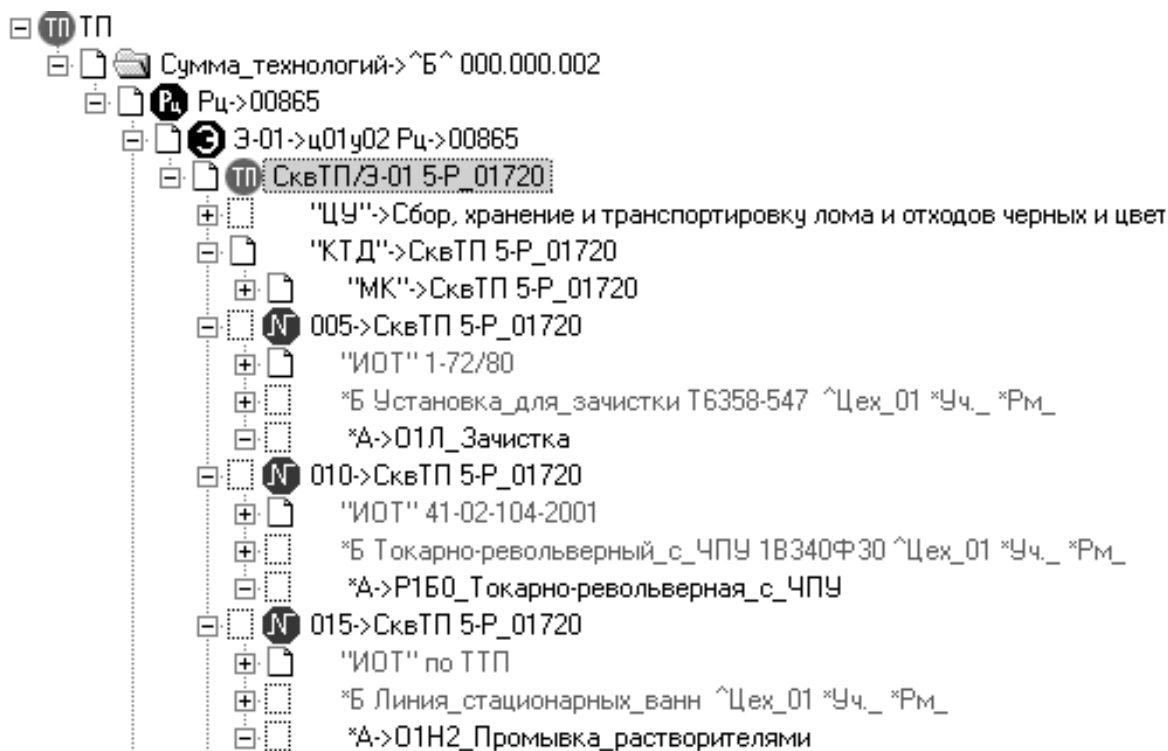


Рис. 10.2. Проектирование ТП в АСТПП Smarteam

Далее по дереву последовательно формируется технологический процесс, включающий операции, переходы и контролируемые параметры. Предложенная модель позволяет сохранить привычную структуру технологического процесса, что должно способствовать внедрению АСТПП. В системе Smarteam существует два способа проектирования ТП:

- Проектирование «сквозных» ТП.
- Проектирование ТП по методам обработки.

Под «Сквозным» ТП понимается технологический процесс одного метода обработки. «Проектирование ТП по методам обработки» – это технологический процесс, описывающий все методы обработки, входящие в состав данного ТП.

Для проектирования ТП в АСТПП Smarteam разработан специальный графический интерфейс (рис. 10.3), использование которого позволяет:

- обеспечить наглядное представление структуры ТП в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД;
- показать оптимальную последовательность описания ТП;
- оперативно использовать накопленный опыт проектирования;
- упростить и ускорить процесс проектирования за счет повышения эргономичности.

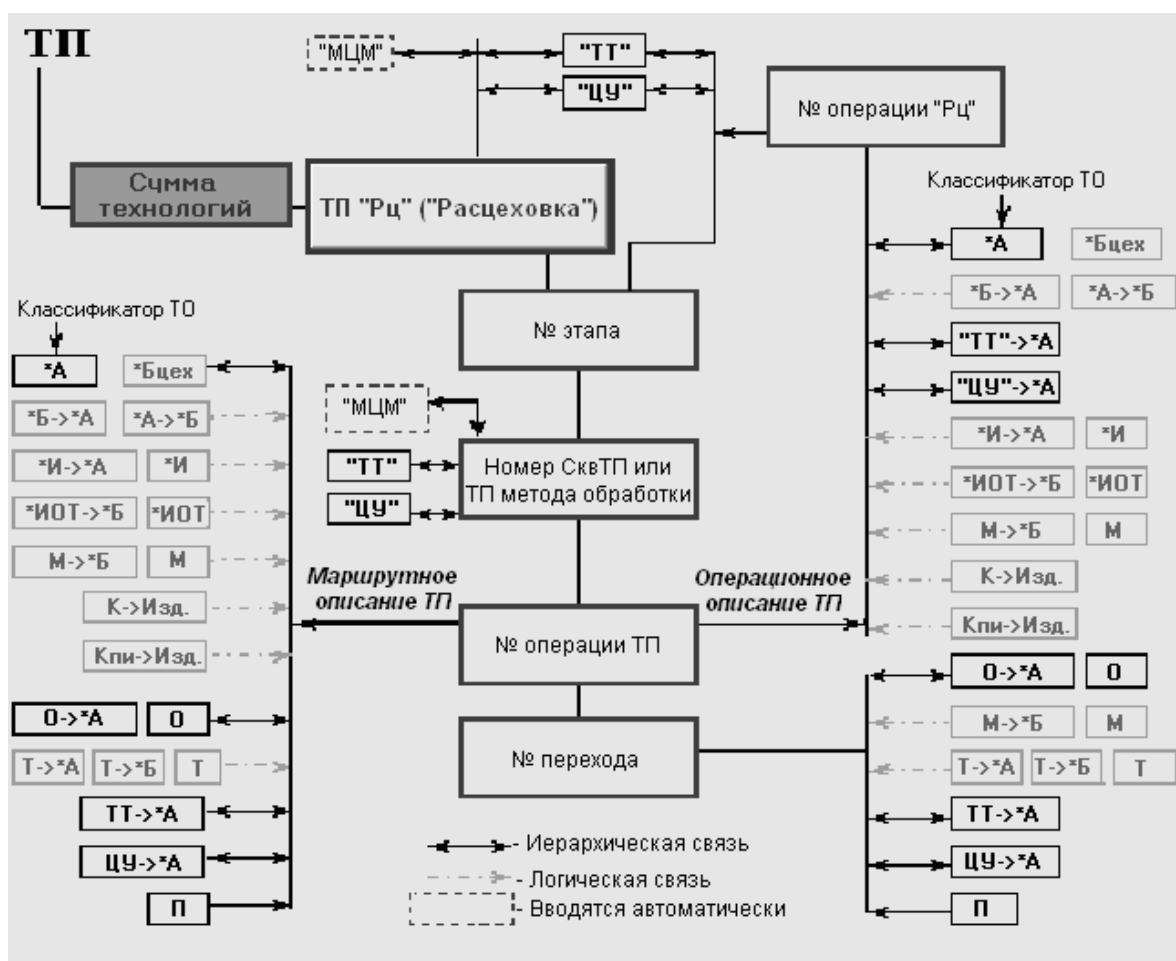


Рис. 10.3. Графический интерфейс проектирования технологических процессов в АСТПП Smarteam

Данный интерфейс определяет последовательность проектирования ТП. Например, если в дереве модели выделен некоторый элемент, то на схеме будут цветом выделены только те этапы проектирования, которые могут быть доступны при описании именно указанного элемента.

Обозначения, использованные для его создания, соответствуют обозначениям, принятым при проектировании ТП на бумажных носителях (табл. 10.2).

Информация элементов электронной модели ТП разделена на две части: постоянную и переменную. К постоянной информации относится описание объекта, а к переменной – принимаемые элементом значения.

Табл. 10.2. Обозначения ТП

№ п/п	Коды строк в ТП	Содержание
1	*А	Наименование операции
2	МЕ	Мероприятие по плану подготовки производства
3	“МЦМ”	Межцеховой маршрут
4	О	Содержание операции или перехода
5	П01-Пnn	Контролируемый параметр (размер)
6	ТТ	Техническое требование
7	ЦУ	Примечание
8	*Б	Оборудование
9	*И	Инструкция или другая НТД
10	*ИОТ	Инструкция по охране труда и ТБ
11	М	Материал заготовки или материал технологический
12	Тпр	Приспособление
13	ТпрВ	Инструмент вспомогательный к приспособлению
14	Три	Инструмент режущий
15	ТриВ	Инструмент вспомогательный к режущему
16	Тси	Средства измерения
17	ТсиВ	Инструмент вспомогательный к средствам измерения
18	Тслес	Инструмент слесарно-монтажный
19	Тспец	Инструмент специальный
20	Ттара	Специальная тара
21	Туп	Управляющая программа (станком)

Для разработки ТП на некоторое изделие необходимо выполнить следующие действия. В самом общем случае на первом этапе необходимо создать новый проект в группе классов «Проекты». Затем выбрать изделие, входящее в данный проект, для которого требуется разработать технологический процесс. На его электронном паспорте имеется клавиша вызова программы «Передачи данных в ТП». При ее активации в группе классов «Технологические процессы» автоматически создаются следующие объекты в логической связи с изделием:

- папка «Сумма технологий с обозначением проекта»;
- «Расцеховка».

Далее с использованием графического интерфейса производится формирование ТП. Например, для создания операции необходимо указать элемент схемы «№ операции», для перехода – «№ перехода» и т.д. Технологические процессы по различным видам обработки для одного изделия в АСТПП Smarteam могут разрабатываться параллельно несколькими технологами.

Вся необходимая текстовая и текстово-графическая технологическая документация формируется автоматически на основании электронной модели ТП. Для генерации технологической документации в разделе «Сформировать технологические документы» необходимо выбрать элемент с обозначением создаваемого документа.

Технологическая документация на изделия в Smarteam формируется в формате Excel, на следующем рисунке представлен элемент сгенерированной операционной карты.

01У	А. Установить изделие в рабочую зону		
02	Подрезать торец, выдерживая размеры		
П>ТСИ	L56-0,74(n01)>>ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166-89		
Три	2102-4005 T15K6		
Р	Рр (ПИ=1) (D=40мм) (L=215мм) (t=1,5) (i=1) (S=0,2мм/об) (n=315об/мин) (v=38м/мин)		
03	Точить поверхность, выдерживая размеры		
П>ТСИ	D75-0,46(n02)>>ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166-89		
Три	2102-4005 T15K6		
04	Сверлить отверстие, выдерживая размеры		
П>ТСИ	№3>>ТМ8133-4074h11; №4>>ШГ-160-0,05 ГОСТ 162-90		
Три	Сверло Ф8		
05	Притупить острые кромки в пределах 0,1...0,4мм радиусом или фаской		
Три	2102-4005 T15K6		
06У	Б. Переустановить изделие		

Рис.10.4 Операционная карта, сгенерированная в системе АСТПП Smarteam

Предложенный метод проектирования технологической документации учитывает необходимость выполнения ТПП изделий в единой интегрированной информационной среде предприятия. Разработка технологических процессов непосредственно средствами PDM-системы позволяет избежать излишнего дублирования информации. Традиционно АСТПП создаются в виде самостоятельных систем, интегрированных с PDM по принципу импорта-экспорта. Использование такого подхода приводит к удвоению числа БД технологического назначения. При этом возникает проблема поддержания их актуальности (синхронизации БД).

Таким образом, разработка АСТПП в соответствии с принципами PLM-методологии позволяет повысить эффективность работы специалистов предприятия и приводит к сокращению сроков выпуска продукции.

Реализация проектов ТПП в среде АСТПП виртуального предприятия. Формирование виртуального предприятия основывается на трех видах сетей, в качестве вершин которых выступают участники виртуального предприятия, а дуг – кооперативные взаимосвязи между ними. Первый вид сети – это активная сеть, объединяющая компании, принимающие непосредственное участие в реализации какого-либо проекта. Второй и третий тип – это внутренняя и внешняя сети, объединяющие соответственно постоянных (зарегистрированных пользователей) и потенциальных участников виртуального предприятия.

Организация и поддержка эффективной работы информационной структуры могут быть обеспечены наличием единого координирующего центра виртуального предприятия. Такая компания-медиатор берет на себя функции по созданию информационно-управленческой системы, объединяющей все направления деятельности виртуального предприятия. Самый распространенный на данный момент вариант таких организационных структур – это крупная фирма, в производственный процесс которой вовлечено множество небольших предприятий-подрядчиков.

Базовыми направлениями деятельности координатора при создании единого информационного пространства виртуального предприятия могут быть:

- оперативное информирование участников о ходе работ, выполняемых в активных сетях, о возникающих проблемах и о результатах совместных проектов;
- внедрение единой организационно-управленческой среды (по крайней мере, использование WEB-интерфейсов доступа к АСТПП компании, координирующей взаимодействие);

- распространение единых базовых средств автоматизации на предприятиях (CAD/CAM/CAE), участвующих в создаваемых виртуальных структурах (этим достигается сокращение времени и улучшение качества выполнения заказов, повышение уровня взаимопонимания предприятий-участников процесса);
- регулярное проведение семинаров для специалистов-участников виртуального предприятия с целью их ознакомления с новыми техническими решениями и для обмена опытом;
- размещение технической и презентационной информации в Internet с целью поиска новых заказов и привлечения новых участников виртуального предприятия.

При этом открытая информационная среда должна обеспечивать поддержку принятия решений о размещении заказов компании. Специалисты предприятий должны иметь возможность доступа к информации:

- о политике своей компании в области кооперативного ведения проектов;
- обо всех ранее реализованных в среде виртуального предприятия сделках и их результатах;
- о распределенных ресурсах виртуального предприятия и возможностях их загрузки;
- о новейших технических и организационных решениях, реализованных в среде виртуального предприятия.

Все перечисленные выше данные позволят специалистам компаний ориентироваться в новой виртуальной среде предприятия, принимать решения о выборе видов работ, реализацию которых целесообразно производить в кооперации с другими участниками виртуального предприятия.

Реализовать работу пользователей АСТПП виртуального предприятия на основе PDM Smarteam предлагается следующим образом.

В соответствующий отдел компании поступает заказ на ТПП одного из изделий проекта. На каждый элемент изделия специалистами создается РНТП, который в свою очередь детализируется до уровня заказов (любая операция РНТП может содержать одну или более заявку на выполнение работ по ТПП на другом предприятии).

Информация о заказах проекта размещается на сайте компании. Идентификационные параметры заказа фиксируются в паспорте «Заказа». Механизм *File Control* системы Smarteam позволяет указывать (прикреплять) документы, содержащие подробную информацию о заказе и закрепленные за ним.

Любой участник виртуального предприятия может оставить свои предложения на их реализацию. Поиск производителей предлагается осуществлять через сеть Internet, а все сведения о заказах представлять в PDM-системе. Для обеспечения информационной целостности представления данных необходимо в PDM-системе реализовать процесс регистрации потенциальных подрядчиков. Функционально это может выглядеть следующим образом. Ознакомившись с предложениями компании-заказчика, производитель фиксирует свои намерения на выполнение некого заказа. При этом зарегистрированные пользователи могут осуществить вход в систему, внося в соответствующие поля свои login и password, всем остальным необходимо зарегистрироваться. В любом случае активизируется ссылка на WEB-странице и в автоматическом режиме загружается WEB-интерфейс PDM-системы Smarteam и создается новый объект. Если пользователь системы зарегистрирован, то этот объект будет принадлежать классу «Предложение». Паспорт на новый заказ должен содержать сведения, необходимые для фиксирования предложения от потенциального исполнителя (рис. 10.5).

Рис. 10.5. Атрибуты класса «Предложение»

Если потенциальный исполнитель проекта ранее не принимал участие в деятельности виртуального предприятия, то он может зарегистрироваться в системе: тем самым создается новый объект класса «Подрядчики» в АСТПП Smarteam. В этом случае от пользователя требуется

указать контактную информацию и прочие сведения о представляемой им фирме, ее производственных возможностях и своей должности (рис. 10.6).

Только после указания этой обязательной информации производитель может оставить свои предложения по заинтересовавшему его заказу (после создания объекта «Подрядчик» автоматически создается новое предложение на оказание услуг). После выполнения заказа информация о совершенной сделке фиксируется как экземпляр класса «*История работы с подрядчиком*».

Управление заказами заключается в планировании, наблюдении и контроле их выполнения, а также принятии оперативных мер при отклонении от плана или по другим причинам. Управление и координирование действий всех участников виртуального предприятия целесообразно осуществлять с помощью технологии Workflow.

Рис. 10.6 Атрибуты класса «Подрядчик»

Эффективность управления в первую очередь зависит от того, насколько открытой является информационная среда ТПП, и имеют ли участники виртуальной ТПП доступ к единой базе данных о продуктах, процессах и ресурсах. Это подчеркивает важность того положения, что

информационная среда ТПП должна строиться как единое информационное пространство, реализуемое средствами PDM-системы.

Таким образом, формируется множество предложений в информационно-управленческой системе соответствующих заказам определенного проекта. Данные, предоставленные потенциальными производителями, анализируются в автоматическом режиме программами-агентами. Отчеты о текущем состоянии дел генерируются этими агентами и доставляются менеджерам проектов. Проводя экспертную оценку данных, специалисты предприятия осуществляют контроль над ситуацией на рынке. Таким образом, после завершения подготовительного этапа проводится расчет оптимальной конфигурации виртуального предприятия. Тем самым формируется активная сеть виртуального предприятия. После чего запускаются процессы урегулирования договорных отношений.

Предполагается, что управление внутренними производственными процессами предприятия и процессами взаимодействия с другими компаниями осуществляется под управлением графиков WorkFlow. В моделях ТПП проектировщику предоставляется возможность формирования заказов на выполнение различных работ. На следующем рисунке предлагается график, регламентирующий действия специалистов предприятия после формирования такого заказа.

Согласно предложенной схеме (рис 10.7), работа в среде АСТПП виртуального предприятия, выполненная на основе PDM Smarteam, будет происходить следующим образом.

На предприятии начинается подготовка производства нового изделия. Соответственно в системе для реализации проекта создается новый элемент класса *«Проекты»*, соответствующий данной задаче. Конструкторская документация (КД) на новое изделие фиксируется в классе *«Документы»*, при этом средствами Smarteam устанавливается логическая связь между конструкторскими данными и ранее созданным проектом. В соответствии со структурой изделия для каждого его элемента необходимо разработать технологический процесс. В АСТПП Smarteam в логической связи с рассматриваемым изделием создается новый элемент класса *«Технологический процесс»*.

Если для сформированного ТП необходимо часть работ выполнить за счет ресурсов других предприятий, то для данного ТП формируются один или несколько заказов – создаются новые элементы класса *«Заказ»*.

Потенциальные исполнители проекта извещаются о формировании пакета заказов средствами Internet. Поступившие предложения фиксируются в виде элементов класса *«Предложение»* АСТПП Smarteam. Так сохраняется информационная целостность проекта.

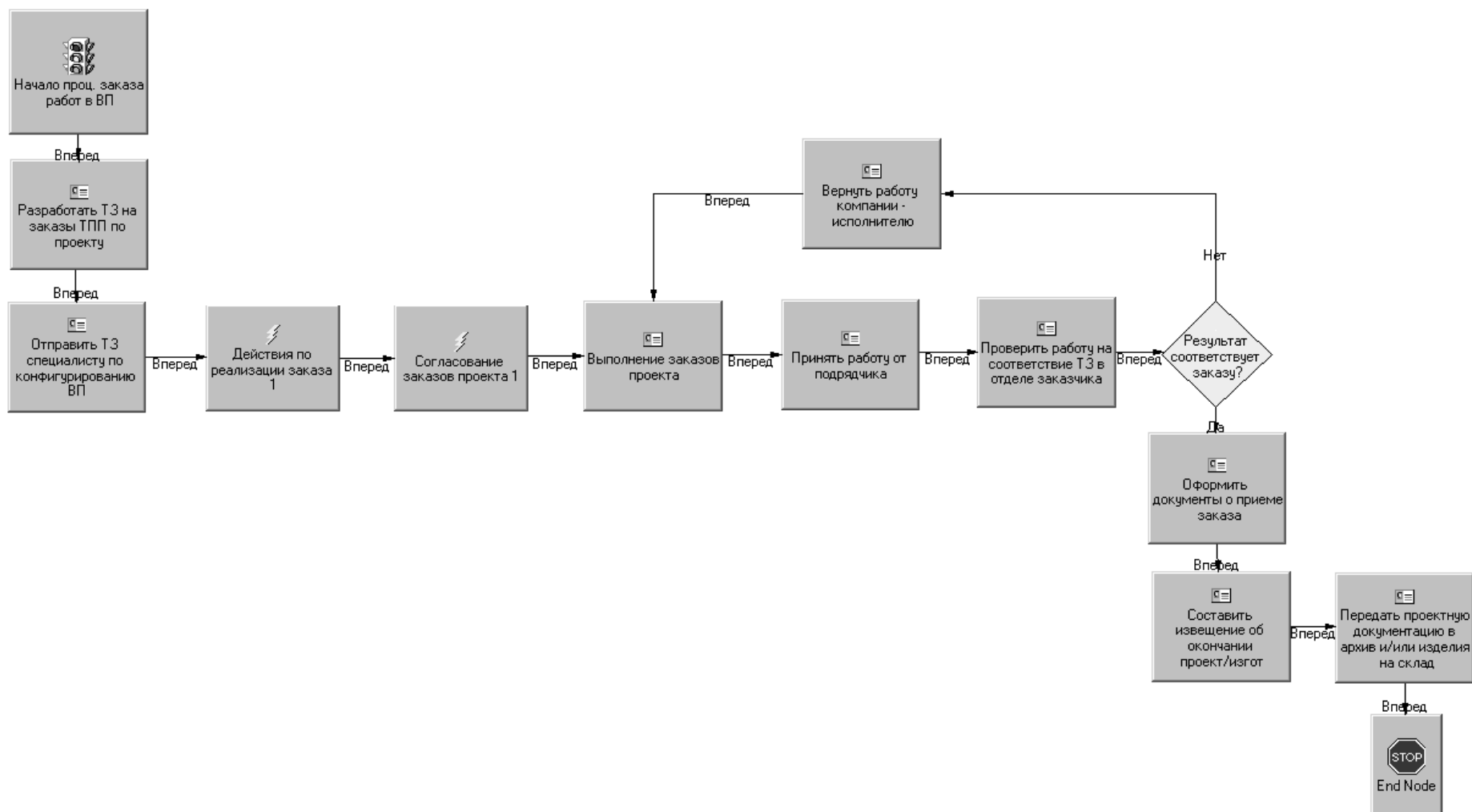


Рис. 10.7 График управления внутренними процессами предприятия по реализации заказа в среде виртуального предприятия

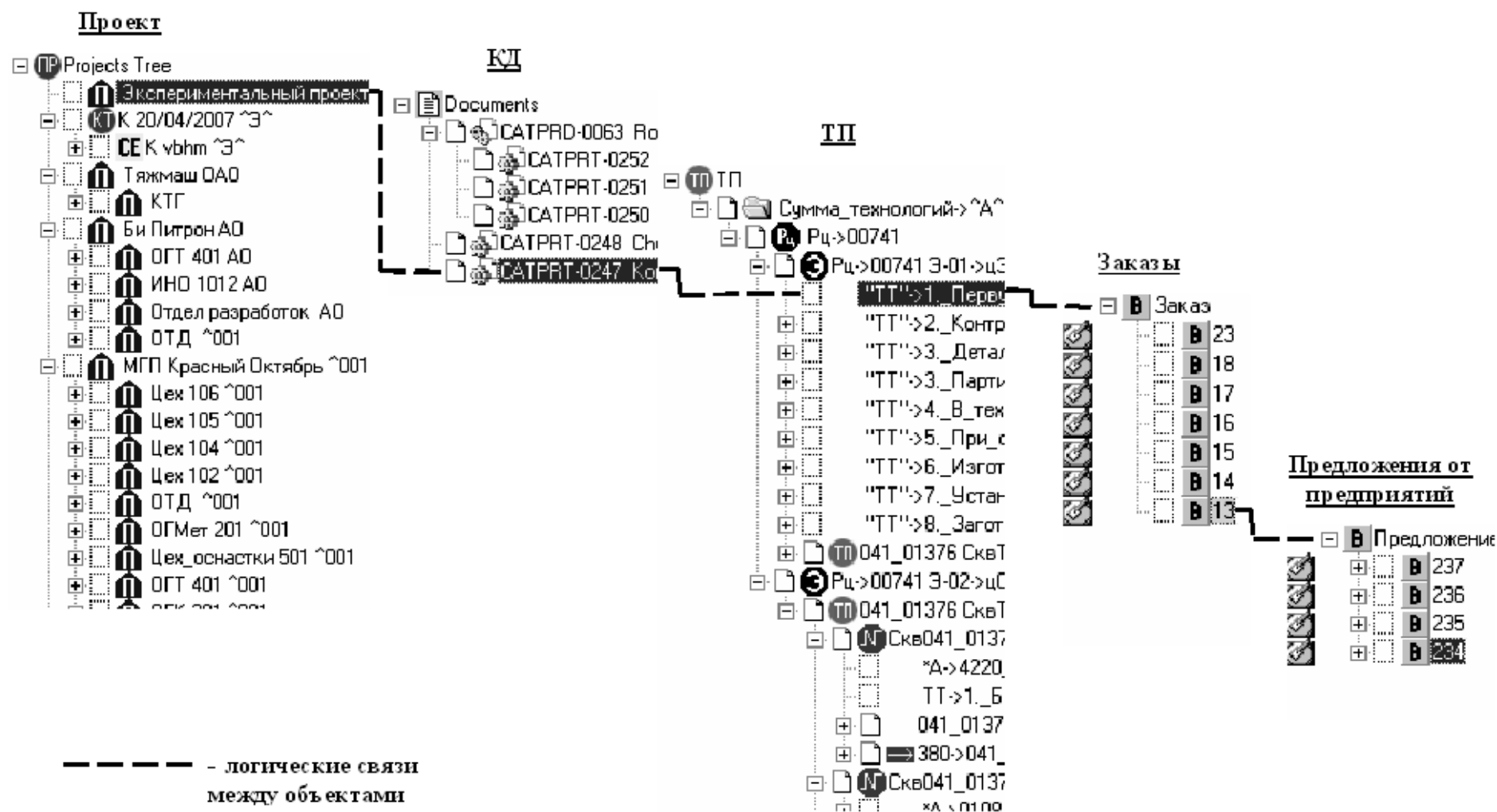


Рис. 10.8 Механизм реализации заказа на ТПП участниками виртуального предприятия средствами Smarteam

Следует отметить, что таким образом формируется многоуровневая база данных о проекте, реализация которой становится возможной за счет использования средств АСТПП Smarteam.

Наконец по разработанной ранее методике осуществляется конфигурирование виртуального предприятия – каждому заказу подбирается конкретная компания-производитель.

Таким образом, можно утверждать, что информационно-управленческая система охватывает все процессы, связанные с реализацией ТПП в условиях виртуального предприятия: от работы непосредственно технологов, до деятельности менеджеров предприятия. Предложенная схема позволяет реализовать в едином информационном пространстве действия всех участников виртуального предприятия по совместной реализации ТПП.

Использование ENOVIA SmarTeam обеспечивает:

- ускорение процессов ТПП за счет параллельного выполнения работ и электронного обмена данными между специалистами;
- повышение качества и достоверности информации за счет прозрачности системы и взаимоконтроля участников процессов проектирования;
- накопление и сохранение информации в электронном виде;
- отсутствие ненужного дублирования информации;
- гибкость создаваемой АСТПП, удобство ее развития и адаптации к меняющимся условиям производственной среды;
- удаленное использование функционала АСТПП;
- координирование совместной работы участников кооперации в единой информационной среде;
- согласование работы различных автоматизированных систем проектирования и производства в распределенной среде.

PDM-система ENOVIA SmarTeam обладает возможностями, позволяющими обеспечить работоспособность распределенной информационно-управляющей среды через следующие Web-интерфейсы:

- SmarTeam Web Editor (SWE) – обеспечение полного доступа удаленных пользователей (с функциями создания и редактирования данных) к общей базе данных через Internet;
- SmarTeam Navigator (SNV) – обеспечение доступа удаленных пользователей к общей базе данных через Internet в режиме "только для чтения";

- SmarTeam Community Workspace (SCT) – решение задач по всей распределенной цепочке поставок в едином информационном пространстве через Internet;
- SmarTeam Multi-site Administration (SMA) – администрирование распределенных баз данных (Multi-site);
- SmarTeam BOM/Briefcase – обеспечение управления спецификациями рабочих мест, не имеющих базовых модулей SmarTeam;
- SmarTeam Gateway – обеспечение интеграции с ERP-системами и другими приложениями АСТПП;
- SmarTeam Multi-site – организация работы сети филиалов предприятия в едином информационном пространстве и другие.

Система способна разворачиваться на серверной платформе Windows и взаимодействовать с базами данных SQL Server, Oracle и DB2. Наличие доступа через Web позволяет пользователям, находящимся в различных местах страны или мира, работать как единая команда. Важной функцией ENOVIA SmarTeam является обеспечение взаимодействия между различными специалистами предприятия (или предприятий партнеров). Клиенты системы могут обмениваться информацией, прикрепляя к сообщению все необходимые документы, что сильно облегчает процесс согласования данных между пользователями, территориально удаленными друг от друга [36].

Функционирование ENOVIA SmarTeam в распределенной среде происходит на 4 уровнях: файловая структура (базы данных), web-сервисы, клиентская и серверная части (рис. 10.9).

Для перевода системы в распределенную среду необходимо выполнить ряд мероприятий. Первой задачей является развертывание Web-сервера ENOVIA SmarTeam. Текущая версия системы разработана для Microsoft Windows Server 2003 SP1 (или R2) и требует установки Windows Server 2003 SP1 (или R2). Web-сервер должен иметь доступ как к сети Internet, так и к внутренней сети предприятия. Для работы через Web в ENOVIA SmarTeam предусмотрены два модуля: Web Editor и Navigator.

На следующем шаге необходимо упростить структуру БД для обеспечения быстродействия Web-приложений. Необходимо объединить ряд разделов модели данных. Например, создать класс «Документы» и отразить в нем информацию, представленную в разделах КД, ТП и НТД.

Третьей и самой трудоемкой задачей является перенесение дополнительного функционала (скриптов) локальной версии ENOVIA SmarTeam в Web-среду. Помимо перевода множества программных модулей на

другую платформу необходимо обеспечить наименьшее возможное число обращений к базе данных системы.

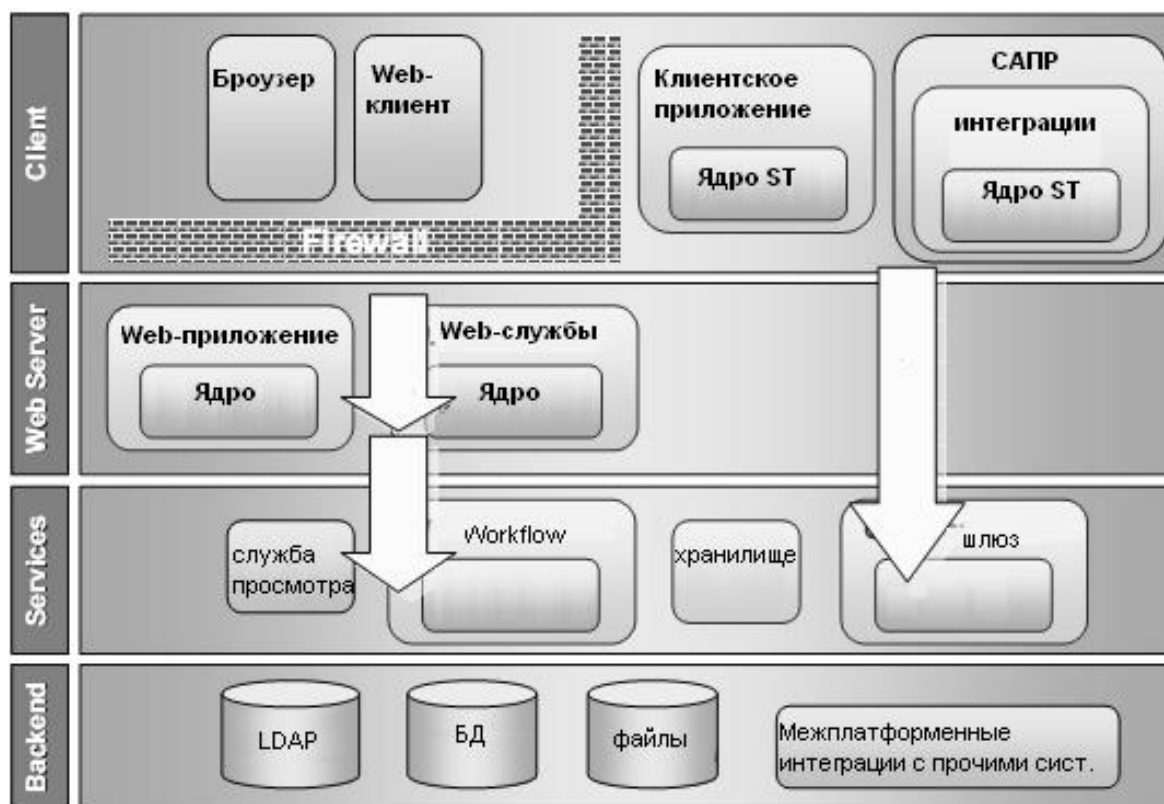


Рис. 10.9 Архитектура PDM-системы ENOVIA SmarTeam

Целью построения программных комплексов на базе Web-технологий является переход к новым условиям работы в территориально-распределенной среде, при условии сохранения всех преимуществ систем, ориентированных на работу в локальных сетях. Современный уровень развития Internet-технологий позволяет создавать решения такого рода. При этом перед разработчиками стоит ряд проблем. Необходимо создавать методики функционирования и развертывания подобных систем, обеспечивать эффективную интеграцию с различными средствами проектирования (CAD/CAM/CAE/ERP), работающими локально, а также решать вопросы о защите передаваемой информации.

Организация коллективной работы в онлайн-среде при помощи инструмента 3D Live

Для расширения возможностей систем ENOVIA, CATIA и DELMIA в распределенной среде разработчики представили новое решение 3D Live, которое является своего рода онлайн-приложением перечисленных выше пакетов.

Программное решение 3D Live создает для всех пользователей единую трехмерную среду коллективной работы, в результате чего ускоряется процесс принятия решений, стимулируется внедрение инноваций на таких стадиях, как производство, маркетинг, управление проектом и общее руководство предприятием. Данное средство позволяет обрабатывать новые идеи, и создавать интеллектуальную продукцию в коллективной Web-среде, благодаря чему достигаются заметные преимущества перед конкурентами на быстро развивающихся высокотехнологичных рынках.

В упрощенном виде система 3D Live представляет собой навигатор по базе данных виртуального предприятия. Существует ряд организационных проблем, которые тормозят развитие и распространение инноваций. 3D Live предлагает решение, которое позволит упростить и наладить работу предприятий в условиях современного рынка.

Первая задача, которую удастся разрешить, – это управление всеми данными проекта и контроль над ними, независимо от их происхождения, будь то внутренняя разработка, выполненная в рамках одного предприятия инжиниринговом центре и представляющая собой, например, CAD-файл, либо материалы, переданные из внешней организации. Все эти данные должны быть учтены в процессе работы и максимально задействованы.

Вторая решенная проблема – это управление сложными бизнес-процессами предприятий. В единой среде задействовано большое количество различных специалистов, которые обладают своей уникальной точкой зрения на все реализуемые действия – маркетологи, проектировщики, технологи, служба технической поддержки и т.п. Система предоставляет для них единый, адекватный для всех позиций механизм общения, который позволяет гарантировать, что, несмотря на различие поставленных перед специалистами задач, все они смогут работать параллельно/согласованно и будут способствовать скорейшей реализации проекта, достижению единой цели.

В-третьих, удалось решить задачу организации единой творческой, рабочей среды для специалистов, работающих над одним проектом, но находящихся в разных городах или даже странах.

Система 3D Live – это эргономичное легкоосваиваемое программное приложение, которое открывает новый уровень работы в виртуальном пространстве. Все сотрудники имеют доступ к глобальному проектному представлению о продукте с помощью трехмерной визуализации данных и постоянному сотрудничеству в процессе работы. Комбинируя универсальный язык трехмерных моделей с усовершенствованными инструментами поиска и on-line общения, 3D Live обеспечивает легкое продвижение продукта на всей стадии его жизненного цикла благодаря быстрой и простой работе специалистов через Web-интерфейс.

Благодаря развитой визуализации, работе в режиме «реального времени», возможности быстрого поиска, навигации, прямому общению и обмену знаниями предоставляются неограниченные возможности для формирования виртуальной рабочей среды, реализации виртуального предприятия.

Таким образом, с помощью системы 3DLive пользователи получают следующие возможности:

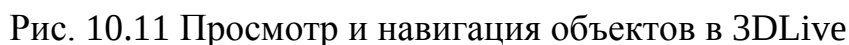
- простое взаимодействие всех специалистов предприятия между собой с использованием on-line общения для обмена знаниями;
- быструю систему поиска продукта и всех связанных с ним элементов, включая сведения о конкретных исполнителях и супервизорах процесса, гарантию точных и актуальных результатов;
- доступ к полному пакету данных о продукте (безусловно, с учетом прав доступа).

Рассмотрим основные функции системы 3DLive:

- **3D Search** – поиск сборок, деталей и документов, управляемых ENOVIA SmarTeam или ENOVIA MatrixOne.
- **3D Navigation** – быстрое и интуитивное размещение контекстных сборок и отдельных деталей, просмотр PLM атрибутов и моделей в 3D.
- **PLM Compass** – определение статуса текущего проекта и управление данными для ускорения процессов принятия решений.
- **3D Contextual Buddy List** – динамическая идентификация разработчиков объекта, владельцев и помощников.
- **3D Heads-Up** – возможность совместной работы и прямого обсуждения изделия в 3D среде.

Поиск объектов в 3DLive (3D Search) осуществляется с помощью панели инструментов PLM. Запрос на поиск объектов, проектов и документов в базе данных может быть осуществлен не только по имени или дате, но также и по PLM-атрибутам. Результаты поиска сортируются и

Перемещение и просмотр объектов в 3DLive (3D Navigation) (рис. 10.11) реализовано на основе 3D Платформы, которая систематизирует PLM информацию и способствует быстрому передвижению в 3D пространстве для работы с продуктом. Навигация осуществляется по настраиваемому иерархическому дереву (традиционное раскрытие/сворачивание дерева, фильтр дерева по атрибутам детали, по их представлению и т.д.). Динамический 3D просмотрщик позволяет масштабировать, вращать, создавать эффекты анимации с просматриваемыми изделиями.



136

формацию. Активный сектор отображает обозначение, информацию и свойства объекта относительно этого квадранта.



Рис. 10.12 3D Compass

Верхний квадрант People обеспечивает отображение данных о специалистах, вовлеченных в создание и утверждение данных PLM, предоставляет доступ к соответствующей информации: имя разработчика и согласующих, статус блокировки и т.д.

Левый сектор Shape предоставляет пользователям информацию об изменениях объекта (когда в последний раз данная деталь была модифицирована, дату последних изменений элементов детали и дату последних изменений деталей, с ней связанных).

Нижний сектор Structure является квадрантом структуры и указывает, является ли версия детали текущей.

Центральная кнопка Play «оживляет» объекты и запускает 3D анимацию/симуляцию работы. Выбранные объекты (детали или сборки) пользователь может поворачивать для просмотра разных ракурсов, осуществляя контроль за воспроизведением изображения с помощью управления запуском, остановкой, возвратом и прокруткой.

Правый квадрант Link отображает информацию о данных, связанных с этим объектом. Квадрант используется для просмотра и перехода между взаимосвязанными деталями, сборками и для понимания влияния, которое детали оказывают друг на друга.

Механизм 3D Contextual Buddy List обеспечивает доступную сеть знаний на предприятии (рис. 10.13). Пользователи напрямую подключаются к требуемым сотрудникам для непосредственного 3D взаимо-

действия. Таким образом, упрощается сотрудничество для более быстрого принятия решений.

Механизм 3D Heads-Up реализует возможность совместно представлять, раскрывать и обсуждать специалистам PLM-информацию. Данный инструмент содержит встроенный чат (рис. 10.14), благодаря которому имеется возможность обсуждать мгновенные снимки изделий в процессе работы с другими специалистами.

Как уже было сказано, 3DLive является своего рода онлайн-приложением к системам DELMIA, CATIA и ENOVIA. Рассмотрим расширение возможностей данных пакетов благодаря применению 3DLive.

DELMIA – Live Shop Floor Review (оперативный обзор цеха).

Осуществляется оперативный обзор производства, предоставляется всесторонний доступ к планированию технологического процесса, технической информации продукта и оборудованию.

Пользователи могут в интерактивном режиме воспроизвести процессы производства или перейти к различным производственным фазам, чтобы оценить предстоящие работы, а так же спланировать альтернативные процессы моделирования.

В результате организация резко уменьшит количество ошибок, вызванных неоднозначными командами или устаревшими данными о продукте, и таким образом гарантирует получение высокого качественного результата и уменьшение времени на подготовку производства.

CATIA – Live Functional Tolerancing and Annotation (FT&A) Review (оперативное назначение допусков).

Улучшает понимание и ускоряет процесс принятия решений, обеспечивая раннее определение размеров и допусков, геометрических элементов и их особенностей, а так же отношения между элементами.

Пользователям предоставляется возможность проверить и при необходимости изменить габаритные параметры согласно своим требованиям, что позволяет совершенствовать трехмерные модели продукта.

Доступный с любыми 3D Live конфигурациями (CATIA – 3DLive, DELMIA – 3DLive и ENOVIA – 3DLive) механизм CATIA – Live FT&A избавляет от необходимости создания «плоских» (2D) чертежей, увеличивая скорость и качество процессов за пределами разработки, которые запрашивают трехмерную информацию, но не используют инструменты разработки CAD.

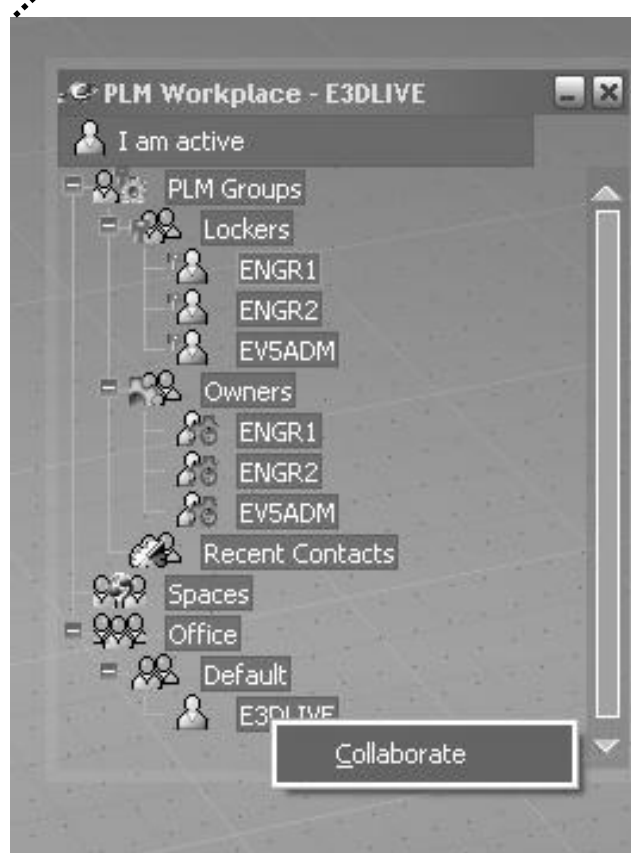
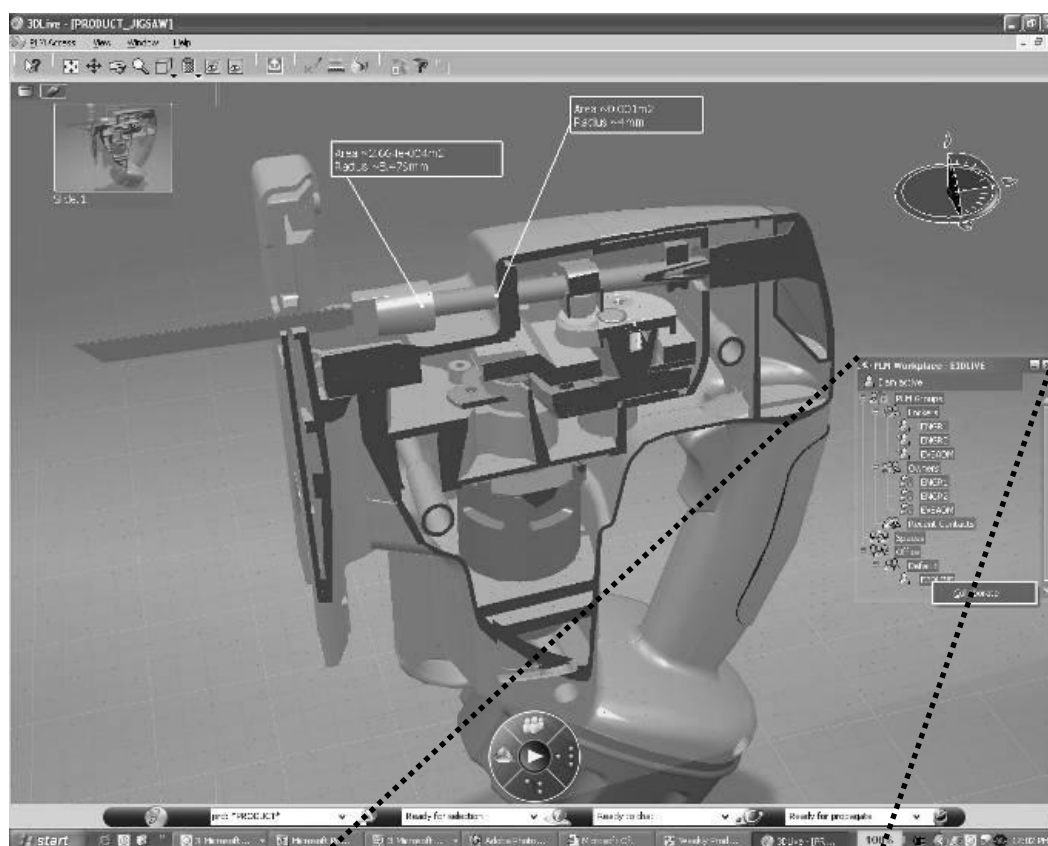


Рис. 10.13 Механизм 3D Contextual Buddy List

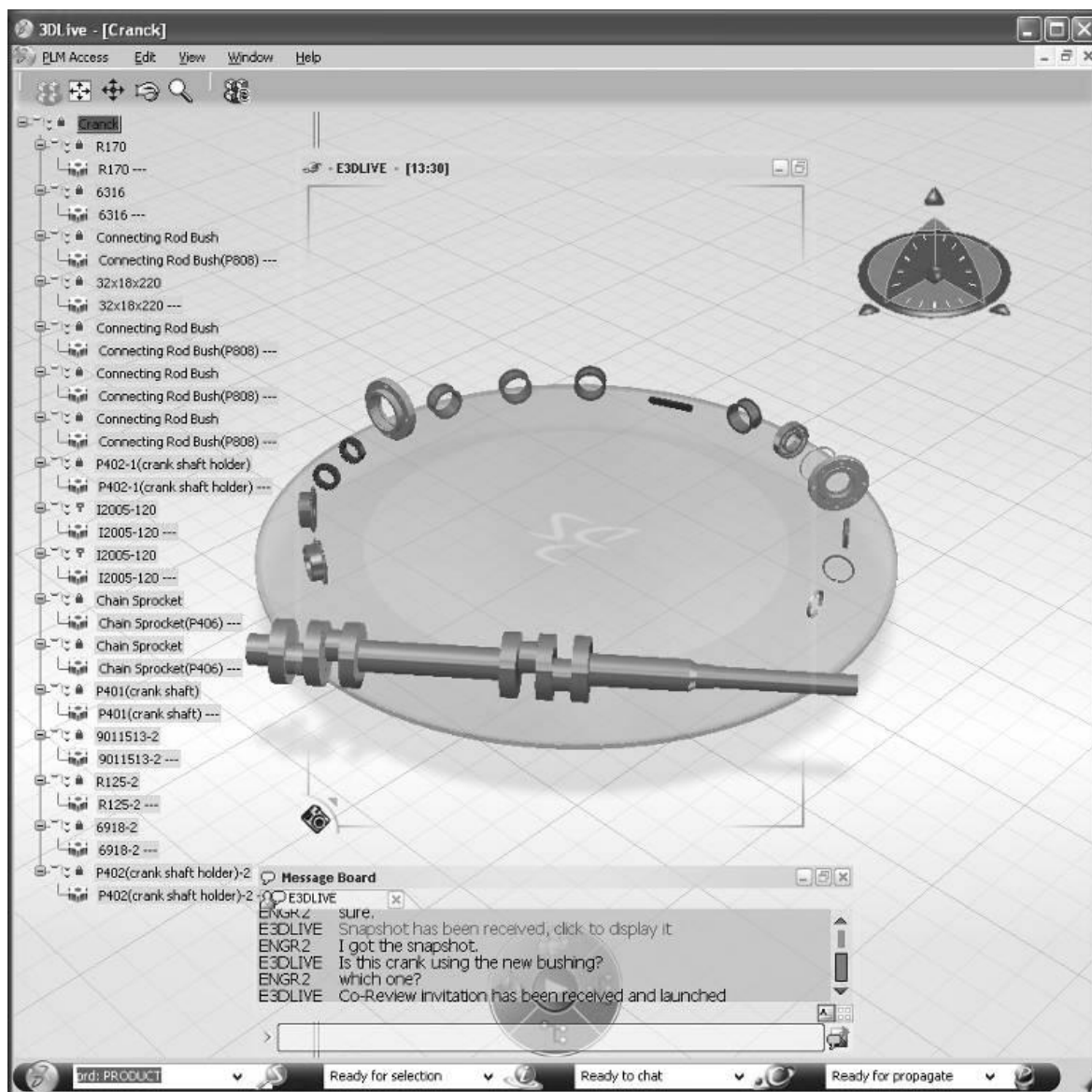


Рис. 10.14. Механизм 3D Heads-Up

В результате CATIA – Live FT&A обеспечивает:

- прямой доступ к допускам, связанным с трехмерной моделью продукта;
- простой поиск и фильтрацию данных FT&A;
- быструю идентификацию всей информации FT&A, улучшая качество и скорость анализа процессов.

ENOVIA – Live Collaborative Review (оперативный совместный обзор).

Добавляет мощные возможности коллективного поиска, визуализации и управления процессами в 3DLive.

ENOVIA – Live Collaborative Review:

- предоставляет аннотируемые представления, трехмерные модели и поперечные сечения для совместных дополнительных исследований компонентов и изделий;
- облегчает сотрудничество среди всех участников группы, вовлеченных в работу по проекту – увеличивая способность вникания в суть проблемы и ускоряя принятие решения, что благотворно сказывается на результате – повышаются доходы и снижаются сроки изготовления продукта.

Таким образом, основные преимущества работы с 3DLive заключаются в следующем:

- полноценное использование интеллектуальной собственности компании (IP);
- простые в использовании функции 3D поиска, 3D навигации и совместной работы всех специалистов;
- с использованием 3DLive расширяются возможности ENOVIA, CATIA, DELMIA;
- для пользователей ENOVIA SmarTeam и ENOVIA MatrixOne система 3DLive предлагает поддержку данных различных CAD-систем.

Библиографический список

1. *Davidow W., Malone M.* The virtual corporation: structuring and revitalizing the corporation for the 21st century". – N.Y.: Harper Business, 1992.
2. *Sandoval V.* Les autoroutes de l'information. – Paris: Hermes, 1995.
3. *Норенков И.П., Кузьмик П.К.* Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
4. *Е.И. Яблочников, Ю.В. Маслов.* Автоматизация ТПП в приборостроении / Учебное пособие. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2003. – 104 с.
5. *Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н., Падун Б.С.* Технологическая подготовка гибких производственных систем. / Под общ. ред. С.П. Митрофанова. Л: Машиностроение, 1987. – 352 с.
6. *Аверченков В.И., Капитальян И.А., Пархутин А.П.* САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. Мн.: Высшая школа, 1993. – 288 с.
7. *Азбель В.О. Звоницкий А.Ю., Каминский В.Н. и др.* Организационно-технологическое проектирование UGC/ Под общ. ред. Митрофанова. // Л. Машиностроение, 1986. – 294 с.
8. *Dr. Joel Orr.* PDM – ожидания и реальность // Информационно-аналитический журнал CAD/CAM/CAE Observer, выпуск 30, 2006 г., с. 38 – 39.
9. PLM-системы: подходит ли один масштаб для всех? Взгляд аналитиков рынка PLM-систем. // Информационно-аналитический журнал CAD/CAM/CAE Observer, выпуск 27, 2006 г., с. 2 – 5.
10. *Фомина Ю.Н., Яблочников Е.И.* Средства визуального моделирования ТПП. // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, том 33, 2006, с. 180 – 185
11. *Ойхман Е.Г., Попов Э.В.* Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии // М.: Финансы и статистика, 1997. – 336 с.
12. *Алиев Т.И.* Исследование сложных систем на основе комбинированного подхода. // материалы конференции «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моде-

- лирования в промышленности и прикладных разработках». – СПб.: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003, с. 50 – 55.
13. Рыжиков Ю.И. Месты имитации в моделировании дискретных систем. // материалы конференции «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках». – СПб.: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003, с. 19 – 22.
 14. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач // М.: Наука, 1977. 352 с.
 15. Гусельников В.С., Колобов Д.Ю., Саломатина А.А., Фомина Ю.Н., Яблочников Е.И. Методы и средства создания систем управления жизненным циклом изделия. // Материалы 7-й международной конференции «CAD/CAM/PDM-2007». – М.: Институт проблем управления РАН, 2007.
 16. Фомина Ю.Н., Яблочников Е.И. Методы распределения заказов на выполнение ТПП в среде виртуального предприятия // Материалы конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов» ИПМАШ РАН. – СПб: 2007.
 17. Фомина Ю.Н., Гусельников В.С., Колобов Д.Ю. Разработка автоматизированной системы технологической подготовки производства на основе PLM-методологии. // Сборник материалов Всероссийского конкурса инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетному направлению развития науки и техники "Информационно-телекоммуникационные системы", 2006. – с.172
 18. Фомина Ю.Н. Исследование алгоритмов оптимизации конфигурирования и распределения заказов при решении задач ТПП в среде виртуального предприятия. // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, том 28, 2007
 19. Стариков А.В. Генетические алгоритмы - математический аппарат // BaseGroup Labs, 2001, 5 с.
 20. Clement R.P., Wren A. Genetic Algorithms and Bus-Driver Scheduling // Presented at the 6th International Conference for Computer-Aided Transport Scheduling, Lisbon, Portugal, 1993, 9 с.
 21. Herrera F., Lozano M., Verdegay J.L. Tackling real-coded genetic algorithms: operators and tools for the behaviour analysis // Artificial Intelligence Review, Vol. 12, No. 4, 1998. pp. 265 – 319
 22. Jennings N. R. On agent-based software engineering. // Artificial Intelligence, 117 (2000) 277-296.
 23. Axelrod R. The complexity of cooperation: agent based models of competition and collaboration, (Princeton University Press, 1997).

24. *Евгениев Г.Б.* Системология инженерных знаний. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 376 с.
25. *Wooldridge M., Jennings N.* Agent Theories, Architectures and Languages: A Survey // Intelligent Agents. ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architecture and Languages. Amsterdam, The Netherlands, August, 1994. - Springer Verlag, 1994. p. 3 – 39
26. *Чекинов С.Г.* Интеллектуальные программные исполнительные устройства (агенты) в системах связи // Информационные технологии, № 4, 2001, с.6 – 11.
27. *Smirnov A., Pashkin M., Chilov N., Levashova T.* Agent-Based Support of Mass Customization for Corporate Knowledge Management. Engineering Applications of Artificial Intelligence. V. 16, Is. 4. June 2003. p. 349 – 364.
28. *Ulieru M., Norrie D., Kremer R. and Shen W.* A multi-resolution collaborative architecture for web-centric global manufacturing, Information Sciences, 127, 3-21 (2000).
29. *Wysk R.A., Peters B.A. and Smith J.S.* A formal process planning schema for shop floor control. Engineering Design and Automation, 1(1), 3 – 19 (1995)
30. *Smirnov A., Pashkin M., Chilov N., Levashova T., Krizhanovsky A.* Agent-Based Intelligent Support to Coalition Operations: A Case Study of Health Service Logistics Support. (eds. Shalamanov, V., Johnson, G., Fay, J.) Information & Security. An International Journal. IT in Coalition and Emergency Operations. ProCon Ltd., Sofia, ISSN: 1311-1493, Volume 16, 2005. 41 – 61
31. *Романовский И.В.* Алгоритмы решения экстремальных задач // М.: Наука, 1977. – 352 с.
32. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
33. *Солодовников А.Ю.* Разработка и исследование методов применения систем поддержки принятия решений на основе нечетких моделей в задачах проектирования информационно-вычислительных сетей. Автореф. дис. канд. техн. наук. М: МЭИ (ТУ), 2006. – 20 с.
34. *Капра Ф.* Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем // Пер. с англ. под ред. В.Г. Трилиса. М: ИД «София», 2003. – 336 с.
35. *Шемакин Ю.И.* Семантика самоорганизующихся систем. Изд-во «Академический проект», 2003. – 176 с.
36. *Dr. Joel Orr.* PDM – ожидания и реальность // Информационно-аналитический журнал CAD/CAM/CAE Observer, выпуск 30, 2006. – С. 38 – 39.

Список используемых сокращений

API – Application Program Interface
CAD – Computer Aided Design
CAE – Computer Aided Engineering
CAM – Computer Aided Manufacturing
CALS – Continuous Acquisition and Life-cycle Support
CPC – Collaborative Product Commerce
IDEF – Integrated computer aided manufacturing DEFinition
OEM – Original Equipment Manufacturer
PDM – Product Data Management
PLM – Product Lifecycle Management
RUP – Rational Unified Process
SADT – Structured Analysis Design Technique
UML – Unified Modeling Language
АСТПП – Автоматизированная система ТПП
АРМ – Автоматизированное рабочее место
ВП – виртуальное предприятие
ЕИП – Единое информационное пространство
ЕСКД – Единая система конструкторской документации
ЖЦИ – Жизненный цикл изделия
ИИ – Искусственный интеллект
ИПИ – Информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий
КД – Конструкторская документация
КП – Конструкторское проектирование
МАС – Многоагентная система
НСО – Нестандартное оборудование
ОИС – Открытая информационная среда
РИИ – Распределенный искусственный интеллект
САПР – Система автоматизированного проектирования
СТО – Средства технологического оснащения
СУВП – Сеть участников виртуального предприятия
ТД – Технологическая документация
ТП – Технологический процесс
ТПП – Технологическая подготовка производства

Оглавление

1. Расширенные и виртуальные предприятия как современные формы кооперации при создании новой продукции	3
2. Построение единого информационного пространства для управления жизненным циклом изделий	13
3. Построение концептуальной модели АСТПП виртуального предприятия	20
4. Разработка алгоритма конфигурирования и распределения заказов на ТПП в среде виртуального предприятия	48
5. Конфигурирование виртуального предприятия на основе использования многоагентных технологий	57
6. Конфигурирование виртуального предприятия с учетом многовариантного формирования пакетов заказов.....	70
7. Математические основы принятия решений в условиях неопределенности	78
8. Оптимизация выбора соисполнителей с применением методов нечеткой логики	101
9. Организация сети участников виртуального предприятия	108
10. Реализация ТПП в условиях ВП на основе использования комплекса средств информационно-управленческой системы	114
Библиографический список	142
Список используемых сокращений.....	145

Евгений Иванович Яблочников
Юлия Николаевна Фомина
Анна Алексеевна Саломатина
Владимир Сергеевич Гусельников

Методы управления жизненным циклом приборов и систем в расширенных предприятиях

Учебное пособие

В авторской редакции

Зав. редакционно-издательским отделом

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 05.11.2009

Отпечатано на ризографе

Тираж 100

Заказ № 2156

Редакционно-издательский отдел
Санкт-Петербургского государственного
университета информационных
технологий, механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

