

На правах рукописи

АЛЕКСАНДРОВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ МАКРОПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 05.13.01 – системный анализ, управление
и обработка информации (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Владимир 2009

Работа выполнена на кафедре информационных систем и информационного менеджмента Владимирского государственного университета.

Научный консультант

заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор КОСТРОВ Алексей Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ЛЕВИН Михаил Григорьевич

доктор технических наук, профессор ШВЕЦОВ Анатолий Николаевич

доктор технических наук, профессор ДУБОВ Илья Ройдович

Ведущая организация

Ивановский государственный энергетический университет

Защита состоится “11” ноября 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.025.01 во Владимирском государственном университете по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ауд. 211-1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Владимирского государственного университета.

Автореферат диссертации разослан “___” _____ 2009 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу совета университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ученому секретарю диссертационного совета Д.212.025.01.

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., профессор



МАКАРОВ Р.И.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время предприятия находятся в постоянно меняющейся производственной и экономической обстановке, поэтому им необходимо иметь такую модель деятельности и такие средства управления, с помощью которых можно было бы достаточно эффективно и оперативно модернизировать общую схему бизнеса, корректируя структуру управления и деловые процессы с учетом внешних и внутренних условий. При этом в условиях динамичного рынка, глобализации и интеграции экономик разных стран в единую мировую экономическую систему возникают проблемы автоматизации управления объединяющимися хозяйствующими субъектами. Известные корпоративные информационные системы, представленные на рынке, не обеспечивают в полной мере потребностей макропредприятий (МрП), таких как крупные холдинги, производственные объединения, научно-производственные объединения, комбинаты, тресты, картели, синдикаты, концерны, государственные и транснациональные корпорации. Особенностью таких МрП является наличие следующих свойств:

- значительного масштаба как по объемам капитальных вложений, так и по численности задействованных в них работников;
- сложной распределенной (в том числе и территориально) структуры;
- иерархической многоуровневой системы управления;
- совокупности взаимосвязанных внешних и внутренних бизнес-процессов.

Следует отметить, что в настоящее время имеет место фундаментальная проблема управления МрП, и в нашей стране в связи с созданием инновационной экономики и ряда государственных корпораций решение этой проблемы приобретает особую актуальность. В диссертации предлагается методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами МрП.

В настоящее время выполнены достаточно многочисленные исследования в области развития методов совершенствования информационных систем (ИС), основанных на использовании новейших результатов в теории и практике управления. Среди авторов основополагающих работ зарубежные ученые Р. Баркер, Дж.-Д. Варнье, К. Гейн, Н. Гуарино, М. Джексон, Н. Дженнингс, Е. Йордан, Е. Кодд, К. Мак-Гоуэн, Д. Марка, Дж. Мартин, К. Опп, Д. Росс, Т. Сарсон, М. Хаммер, Дж. Чампи, П. Чен, М. Эрикссон, И. Якобсон и др.; отечественные ученые Н.А. Абрамова, В.Н. Волкова, Т.А. Гаврилова, В.М. Глушков, Е.З. Зиндер, В.А. Ивлев, Б.Г. Ильясов, В.А. Ириков, Г.Н. Калянов, Ю.А. Кафтанюк, В.Н. Козлов, А.В. Костров, Г.Г. Куликов, О.В. Логиновский, А.Г. Мамиконов, О.Б. Низамутдинов, Е.Г. Ойхман, Э.В. Попов, Д.А. Поспелов, С.А. Редкозубов, Б.Я. Советов, В.И. Скурихин, Ю.Ф. Тельнов, Э.А. Трахтенгерц, А.Н. Швецов, И.Ю. Юсупов, С.А. Яковлев и др.; их работы составляют теоретическую основу повышения эффективности управления предприятиями за счет автоматизации поддержки принятия решений, в том числе и на основе методов и средств искусственного интеллекта.

Однако в практике разработки реальных проектов автоматизации макропредприятий эти работы не всегда могут быть использованы непосредственно. Кроме того, за последние годы появились новые эффективные концепции кросс-платформенных, распределенных и интеллектуальных систем. Они могут быть реализованы в разных вариантах: это системы с интеллектуальным интерфейсом, самообучающиеся системы, адаптивные информационные системы, экспертные системы, мультиагентные системы (МАС), системы поддержки принятия решений, системы бизнес-аналитики (*Business Intelligence – BI*) и др.

Для выполнения бизнес-процессов (БП) основной деятельности предприятия необходимо обеспечить их требуемыми ресурсами: технологическими, кадровыми, финансовыми и организационными, а также эффективно управлять ими. Значимым элементом модели бизнеса, или БП, является описание организационной структуры (ОС) предприятия, т.е. его структурных подразделений: отделов, служб, цехов и т.д., и связей между ними. Между составляющими ОС управления предприятием существуют сложные взаимосвязи, поэтому изменение в каждой из них приводит к необходимости пересмотра всех остальных, что является сложным и трудоемким процессом. В связи с этим возникает необходимость формализации этого процесса, а также разработки методов и алгоритмов, позволяющих оперативно проверять идеи по изменению структуры, отрабатывать варианты и вносить изменения после проведения эксперимента на модели.

В настоящее время в условиях динамизма изменений, происходящих на отечественных предприятиях, теория управления промышленными предприятиями требует дальнейшего развития, прежде всего в отношении степени распределенности макроструктур и использования методов и средств моделирования и интеллектуализации, это обосновывает актуальность темы исследования.

В данной работе предлагается методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий для повышения эффективности управления бизнес-процессами разного рода организаций, входящих в состав макропредприятий, за счет применения подходов и методов, традиционно относящихся к направлению «искусственный интеллект».

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является повышение эффективности распределенных информационных систем управления бизнес-процессами макропредприятий за счет интеллектуализации этих процессов.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи.

1. Развитие методологии системного анализа и проектирования для обеспечения процессов тактического реинжиниринга предприятий средствами инструментальной поддержки.
2. Разработка информационного обеспечения управления разного рода ресурсами, задействованными в технологических процессах и бизнес-процессах предприятий.
3. Разработка информационного обеспечения для функционального и имитационного моделирования бизнес-процессов предприятий для их последующей оптимизации.
4. Создание метода и средств описания онтологий предметной области (ПрО) для реализации бизнес-процессов в комплексе распределенных систем управления БП макропредприятий.
5. Разработка технологической инфраструктуры для управления бизнес-процессами макропредприятий на основе ИС с использованием мультиагентного подхода.
6. Разработка информационно-алгоритмического обеспечения мониторинга исполнения бизнес-процессов в условиях макропредприятия.

Методы исследования. Исследования, выполненные в работе, базируются на системном анализе, методах классификации, теории множеств, процессном подходе к управлению предприятием, теории проектирования систем, имитационном моделировании с использованием аппарата раскрашенных сетей Петри, методологии структурного анализа и проектирования *IDEF0*, онтологическом подходе к представлению знаний, объектно-ориентированном анализе и проектировании, мультиагентном подходе к созданию ИС, формальных логических моделях представления и обработки знаний.

В качестве инструментов создания моделей деятельности предприятий использовались пакеты *Allfusion Process Modeller*, *ARIS Design Platform*, *Sybase PowerDesigner*, *Sparx Systems Enterprise Architect* и др.

Научная новизна работы заключается в следующем.

Основным научным результатом является разработанная методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий. При ее создании были получены следующие новые научные результаты:

1) метод тактического реинжиниринга бизнес-процессов макропредприятия на основе расширенной формальной модели методологии *IDEF0* и введенных в ее состав новых технологических операций в целях повышения эффективности процессов, связанных со структурными преобразованиями организаций, входящих в состав МрП, средствами инструментальной поддержки;

2) метод планирования потребности в разного рода ресурсах для обеспечения ими как технологических, так и бизнес-процессов предприятий, в основу которого положены разработанные формальные теоретико-множественные модели и алгоритмы, в частности, алгоритмы обнаружения нештатных ситуаций и их обработки на основе прецедентной модели представления знаний;

3) метод имитационного моделирования (ИМ) бизнес-процессов предприятий, в основу которого положены разработанные алгоритмы трансляции описания бизнес-процесса в *CPN*-модель с использованием шаблонов потоков работ и имитационного моделирования бизнес-процесса на базе полученных раскрашенных сетей Петри в целях повышения качества разрабатываемых моделей бизнес-процессов;

4) метод описания онтологий ПрО в графической нотации и текстовом виде на основе логики предикатов первого порядка с реализацией возможности описания поведения объектов, представляемых сущностями онтологий, для реализации бизнес-процессов организаций-партнеров в составе макропредприятий на основе мультиагентного подхода и управления ими в комплексе распределенных систем управления БП;

5) информационно-алгоритмическое обеспечение реализации мониторинга исполнения бизнес-процесса транспортировки газа газотранспортного предприятия: алгоритмы мониторинга магистрального газопровода с целью обнаружения нештатных ситуаций, метод определения места разрыва магистрального газопровода с использованием прецедентной модели представления знаний и алгоритмы формирования сценариев локализации нештатных ситуаций в качестве информационной поддержки принятия решений диспетчера.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследований легли в основу реальных алгоритмов, методов и средств автоматизации структурно-функционального и имитационного моделирования и управления сложными системами, при этом, в частности:

1) разработан инструментарий модификации *IDEF0*-моделей бизнес-процессов для обеспечения информационной поддержки принятия решений при проведении тактического реинжиниринга макропредприятий;

2) разработан инструментарий трансляции моделей бизнес-процессов как совокупностей шаблонов потоков работ в модели на аппарате раскрашенных сетей Петри и их последующего имитационного моделирования;

3) практическим результатом диссертации является также реализованный на основе разработанного информационно-алгоритмического обеспечения инструментарий созда-

ния моделей бизнес-процессов и онтологий предметных областей, позволяющий ускорить процесс проектирования и реализации мультиагентных систем управления бизнес-процессами предприятий на основе онтологического подхода к созданию таких систем;

4) предложена архитектура *FIPA*-совместимой мультиагентной платформы (МАП) для управления бизнес-процессами предприятий, включающая структуру и основные информационные потоки между ее компонентами, а также прототип мультиагентной системы для реализации БП на основе онтологий ПрО;

5) реализован программный модуль мониторинга процесса транспортировки газа по магистральному газопроводу на предмет обнаружения и локализации нештатных ситуаций в части формирования сценариев их устранения, позволяющий на основании показаний датчиков системы телемеханики обнаруживать место аварии и в случае возникновения разрывов газопровода предлагать сценарий переключения запорной арматуры в целях минимизации потерь газа и ущерба экологии.

Предложенные методы, модели и алгоритмы могут использоваться для решения широкого круга задач в области структурно-функционального и имитационного моделирования и управления бизнес-процессами предприятия, поскольку при этом обеспечиваются корректность и обоснованность решений, возможность анализа вариантов организации бизнес-процесса, а также значительно сокращаются сроки реализации информационных систем.

Основные результаты диссертации получены автором при выполнении исследований, проводимых во Владимирском государственном университете (ВлГУ), в качестве ответственного исполнителя двенадцати научно-исследовательских работ, в том числе хоздоговорных НИР № 1861/97, 2064/98, 2271/00, 2687/02 по заказу ОАО «Завод “Автоприбор”» (г. Владимир); № 2127/99 по заказу ОАО “Труд” (г. Вача Нижегородской обл.); № 2657/02, 2811/02 по заказу ОАО «Омскагрегат»; № ГБ-434/04 по программе исследований Минвуза для Росатома «Информационно-аналитическая система мониторинга за образованием, перемещением и хранением радиоактивных веществ и радиоактивных отходов»; № 3166/05 по заказу ООО «Торгово-промышленная группа “ЛИГА”»; № 3279/05 по заказу ОАО «Владимирский завод “Электроприбор”»; № 3411/06 по заказу Научно-исследовательского института измерительных систем им. Ю.Е. Седакова Росатома (Нижний Новгород); № 2701/02, 2881/03 по заказу Научно-исследовательского института приборов Росатома (г. Лыткарино Московской обл.), в результате выполнения работ, по которым получен патент на изобретение RU № 2249228 и создана программная система автоматизации процесса проведения испытаний изделий электронной техники на воздействие внешних факторов [33].

Результаты работы использованы также в инновационном проекте ИП 119/08 «Разработка образовательного комплекса для внедрения в рамках системы менеджмента качества университета системы управления стратегией его развития на основе инструментального средства *ARIS BSC 7*», выполняемом под руководством автора в рамках реализации инновационной образовательной программы «Региональная технопарковая зона / технопарк на базе Владимирского государственного университета как площадка для внедрения инновационных образовательных программ».

Результаты диссертации используются в учебном процессе кафедры информационных систем и информационного менеджмента (ИСИМ) ВлГУ в разработанных автором учебно-методических комплексах по дисциплинам «Распределенные информационные системы», «*CASE*-технологии», «Представление знаний в информационных системах», «Консалтинг при информатизации менеджмента информационных систем»,

«Консалтинг при информатизации организаций», «Консалтинг при информатизации образования», «Инструментальные средства менеджмента информационных систем» и «Информационные технологии в науке и образовании».

По перечисленным выше дисциплинам опубликованы семь учебных пособий, в том числе с грифами учебно-методических объединений; за книгу «CASE-технологии» в конкурсе на лучшую научную книгу 2006 года авторский коллектив награжден дипломом лауреата Фонда развития отечественного образования (Сочи, 2007).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на НТК «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (Владимир, 1998); Национальном симпозиуме с международным участием «Аэрокосмические приборные технологии» (Суздаль, 1999); МНК «Современные информационные технологии в образовательном процессе и научных исследованиях» (Шуя, 2000); МНПК «Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах» (Новочеркасск, 2000); НК «Предпринимательские инициативы в сфере реструктуризации и реформирования предприятий и организаций, находящихся в кризисном состоянии» (Владимир, 2000); IV МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (Владимир, 2000); II МНПК «Формирование и функционирование информационного пространства в условиях рынка» (Пенза, 2001); Diplomanden- und Doktoranden-seminar des Bereichs Wirtschaftsinformatik I (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg, 2002); VI НПК «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. «Системы управления знаниями (РБП-СУЗ-2002)» (Москва, 2002); VI Международном отраслевом конгрессе «Wirtschaftsinformatik 2003» в Техническом университете г. Дрездена (ФРГ, 2003); XVIII Всероссийской НК молодых ученых «Реформы в России и проблемы управления – 2003» (Москва, 2003); V Российской конференции по атмосферному электричеству (Владимир, 2003); МНТК «Новые методологии проектирования изделий микроэлектроники» (Владимир, 2003, 2004); III Всероссийской НТК «Искусственный интеллект в XXI веке» (Пенза, 2005); I, II, III, IV МНТК «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (Вологда, 2005, 2006, 2007, 2008); МНПК «Становление, развитие и функционирование регионального рынка в условиях социально-ориентированной экономики» (Владимир, 2006); Научно-практическом семинаре по проблемам системного анализа (Иваново, 2007); VI, VII, XII Всероссийской НТК по радиационной стойкости электронных систем (г. Лыткарино, Московской обл., НИИП Росатома, 2002, 2003, 2008); XVI, XX, XXI МНК «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ» (Ростов на Дону, 2003; Ярославль, 2007; Саратов, 2008); II Всероссийском научно-методическом симпозиуме «Смешанное и корпоративное обучение – СКО-2008» (Анапа, 2008); IV *International conference computer technologies of decision making support in dispatching management of gas transmission and producing systems – DISCOM-2009* (Москва, 2009); III МНПК «Смешанное и корпоративное обучение: проблемы и решения в сфере подготовки выпускников вузов для реального сектора экономики» – СКО-2009 (Москва, 2009); всероссийских и международных семинарах в г. Москве (в том числе в МЭСИ) и в г. Владимире (в том числе в ВлГУ).

Кроме того, были представлены экспонаты на межрегиональных выставках «Научно-техническое творчество молодых ученых», «Информационные технологии – 2003», «Информационные технологии – 2004», «Электронная Губерния 2005», «Электронная Губерния 2006» в г. Владимире, на Юбилейной выставке «Достижения НТД ВлГУ» в 2008 г., а также на конгрессе «Wirtschaftsinformatik 2003 (Дрезден, ФРГ).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, изложенных на 250 страницах; включает 50 рисунков, 15 таблиц, список использованных литературных источников (200 наименований) и 7 приложений.

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 82 работах, среди них 11 статей в изданиях из перечня ВАК.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, а также научная новизна, охарактеризованы практическая значимость работы и апробация ее результатов.

В главе 1 выявлены особенности процессного подхода к управлению деятельностью предприятия. Поставлена задача разработки методологии моделирования распределенных систем управления БП макропредприятий. Одним из путей ее решения с технологической точки зрения является следование оперативному управлению БП взаимодействующих предприятий. К основным функциям управления относят: планирование, организационную работу по выполнению и стимулированию выполнения БП, а также контроль, анализ и регулирование хода их выполнения. Для реализации процесса оперативного управления в организациях в составе макропредприятия формируется информационная инфраструктура – *ERP*-система (*Enterprise Resource Planning*), включающая управляющее ядро, в качестве которого обычно используется *BPM*-система (*BPM – Business Process Management*). Она представляет собой в составе корпоративной системы относительно автономный модуль и предназначена для координации ее работы, имитационного моделирования (ИМ) сценариев выполнения БП, их последующего анализа, а также контроля за исполнением действующих процессов. В диссертации разработана методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий, основные этапы которой следующие (рис. 1).

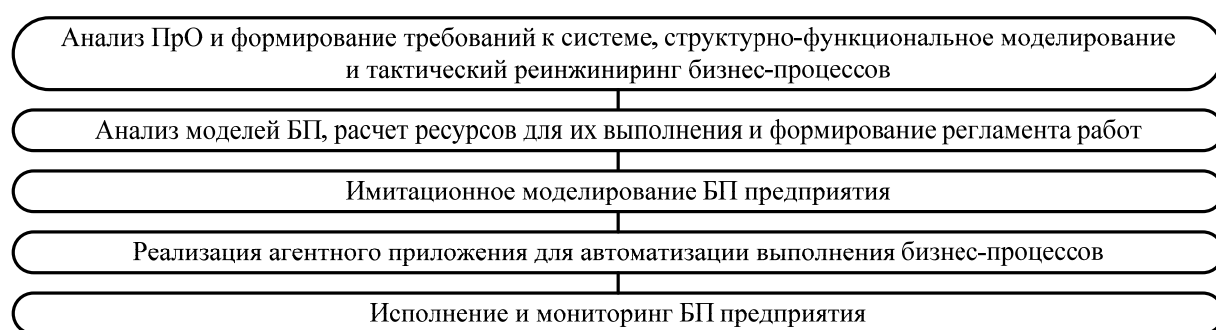


Рис. 1. Этапы методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий

В деталях разработанная методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий включает в себя следующее (рис. 2).

1. Анализ предметной области проводится в целях выявления функций, операций, концептов (понятий), объектов и взаимосвязей между ними, т.е. осуществляется спецификация онтологий предметной области. При этом разрабатываются структурно-функциональные модели БП с помощью инструментальных средств в одной из стандартных нотаций (*IDEF0*, *IDEF3*, *DFD*, *ARIS*, *BPMN*, *UML 2.0* и др.). При моделировании следует использовать шаблоны потоков работ (*workflow patterns*), которые позволяют описывать БП любой сложности, при этом модель бизнес-процесса будет состоять из набора макроэлементов. Для таких макроэлементов (блоков), а также для блока операции, начального и конечного блоков разработаны имитационные модели на аппарате раскрашенных сетей Петри (*Colour Petry Net*, *CPN*).

2. В случае выявления несоответствия моделей бизнес-процессов определенным руководством целям и требованиям осуществляется тактический реинжиниринг бизнес-процессов (РБП) предприятия. При этом строятся модели «как есть» и «как должно быть». В отличие от РБП по М. Хаммеру и Дж. Чампи, которые определяют реинжиниринг (*Business Process Reengineering*, *BPR*) как «фундаментальное переосмысление и радикальное перепланирование бизнес-процессов организации, имеющей целью резкое улучшение показателей их деятельности, таких как затраты, качество, сервис и скорость», в работе имеется в виду текущий тактический реинжиниринг, который может и не сопровождаться масштабными преобразованиями предприятия.

3. При анализе моделей БП и расчете ресурсов для их выполнения рассматривается перечень работ, для каждой из которых должны быть заданы требуемые ресурсы, а также значения ключевых показателей (трудоемкости, стоимости выполнения и т.д.). По результатам расчета трудоемкости операций процесса формируется регламент их запуска и предоставления необходимых ресурсов, что отражают календарные графики работ.

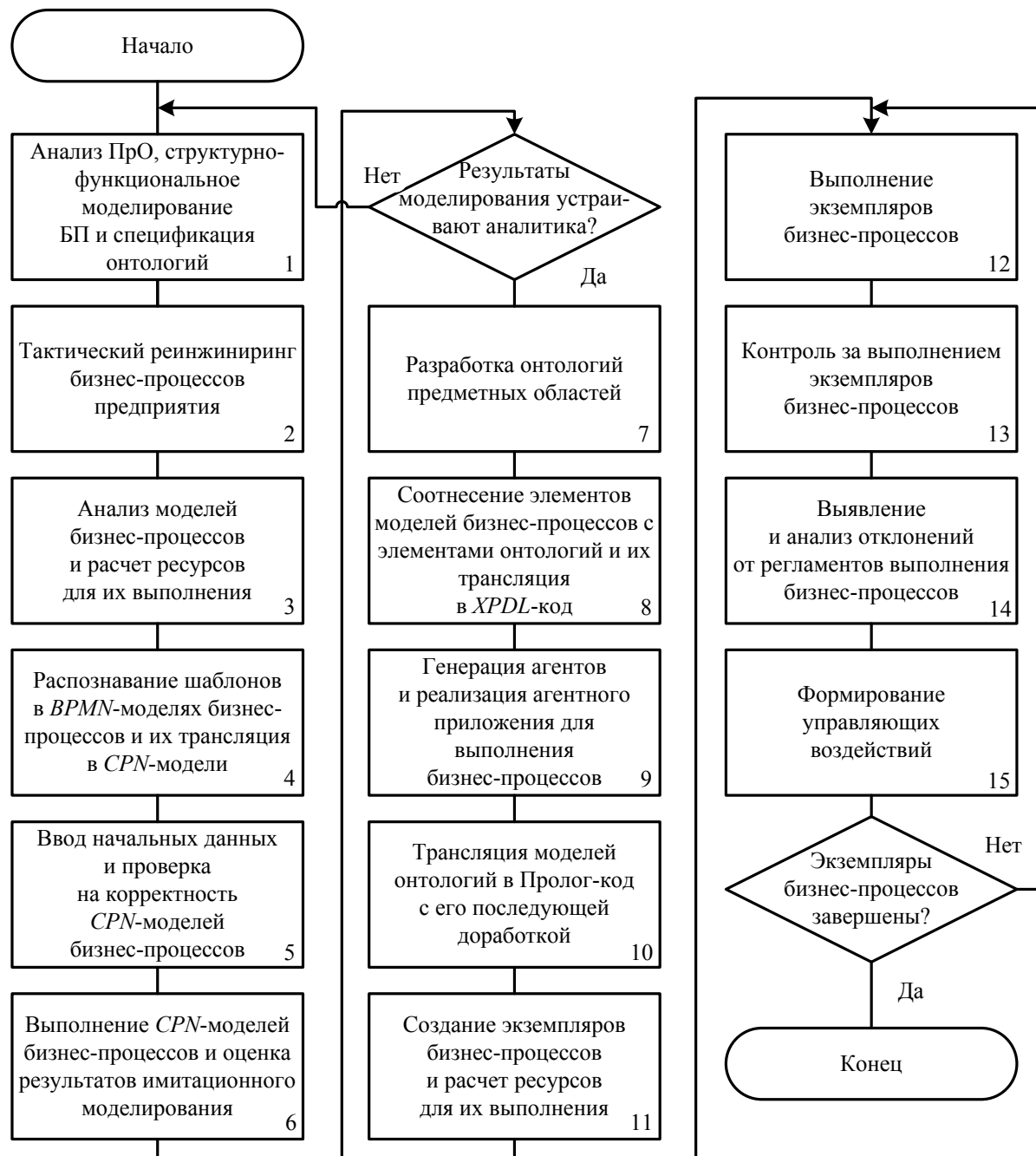


Рис. 2. Основные этапы разработанной методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий

4. Для проведения имитационного моделирования выполняются распознавание шаблонов в BPMN-моделях бизнес-процессов и их трансляция в общую раскрашенную сеть Петри. Следует отметить, что между блоками и соответствующими им фрагментами CPN-модели устанавливается взаимно однозначное соответствие, которое в последующем сохраняется.

5. В качестве начальных данных должны быть заданы длительность проведения эксперимента, законы распределения переменных и их параметры для имитации выполнения во времени конкретных функций БП. При этом в используемом инструментальном средстве необходимо задавать параметры именно для макроэлементов, а затем автоматически переносить их на соответствующие фрагменты сети Петри. Здесь также производится проверка на корректность *CPN*-моделей БП.

6. В ходе имитационного эксперимента (выполнение *CPN*-моделей БП и оценка результатов ИМ) проводится анализ полученных данных и формулируются рекомендации по совершенствованию БП. На основе этих результатов модель и графики корректируются, и эксперимент повторяется с новыми параметрами. В отдельных случаях на данном этапе прибегают к тактическому реинжинирингу БП, метод проведения которого представлен в главе 2.

Завершенная версия модели БП сохраняется в репозитории системы и объявляется референтной моделью (шаблоном) для последующего ее использования при управлении экземплярами реальных БП предприятия с помощью *BPM*-модуля. Имитационное моделирование БП предприятия рассмотрено в главе 3.

7. На этапе разработки онтологий ПрО формируются структурные модели ПрО и модели поведения отдельных сущностей онтологий ПрО.

8. Соотнесение элементов моделей БП с элементами онтологий ПрО и их трансляция в *XPDL*-код производится для последующего исполнения *BPM*-системой.

9. Генерация агентов и реализация соответствующего приложения необходимы для выполнения бизнес-процессов на мультиагентной платформе.

10. Трансляция моделей онтологий ПрО в Пролог-код и его доработка.

Организация выполнения БП проводится под управлением менеджеров всех уровней в подразделениях, где решают задачи распределения ресурсов, разделения труда и выдачи заданий. Кроме того, предусматриваются меры по стимулированию выполнения планов в подразделениях. Отдельные задачи этого этапа более подробно рассмотрены в главе 3.

11. Создание экземпляров БП осуществляется на основе соответствующих референтных моделей с предварительным уточнением исходных данных (временных характеристик, требований, условий выполнения и т.д.). Здесь также производится расчет требуемых ресурсов.

12. Выполнение экземпляров БП сопровождается автоматическими запросами к корпоративной информационной системе (*ERP*-системе) предприятия для обеспечения возможности срабатывания бизнес-правил (условий запуска и завершения операций).

13. Контроль за выполнением экземпляров БП представляет собой мониторинг исполнения экземпляра процесса в автоматическом режиме с сохранением исторической информации в репозитории, его особенности рассмотрены в главе 6.

14. При выявлении и анализе отклонений от регламентов выполнения БП фиксируются отклонения значений фактических показателей (индикаторов) БП от целевых, при выходе величин этих отклонений за рамки допустимого диапазона автоматически оповещаются ответственные лица путем рассылки электронных уведомлений и подсвечивания проблемных блоков модели процесса в инструментальном средстве. Отклонение необходимо измерить и выявить его причины. В качестве измерителя используется обобщенный показатель отклонения от графика выполнения работ в целом по БП. Необходимо также установить последствия отклонений в финансовых, сроковых и других измерителях. Кроме того, на этом этапе следует предсказывать возможные последствия отклонений с оповещением заинтересован-

ных лиц (владельцев процесса), а также выдавать рекомендации о необходимости инициализации альтернативных ветвей БП с целью устранения нештатных ситуаций.

15. Формирование управляющих воздействий (мероприятий) с целью устранения причин отклонений (отставания от плана и опережения плана) обеспечивает корректировку выполнения процесса, которая также требует проверки и контроля. Мероприятия разрабатываются, в частности, на основе анализа откорректированных графиков с учетом необходимости завершения процесса в установленный срок.

В этих условиях можно использовать различные концепции и технологии создания ИС. Однако с учетом распределенного характера ИС, больших объемов информации, требующей обработки и используемой при принятии решений, а также накопленных знаний в форме продукционных правил и фактов, предпочтение следует отдать распределенным интеллектуальным ИС. В частности, применение мультиагентного подхода позволяет использовать в БП в качестве исполнителей работ комплекс интеллектуальных агентов, которые образуют распределенную МАС. Кроме того, с учетом возможностей, которые предоставляют МАС, например, распределение вычислительной нагрузки между множеством агентов, гибкость и масштабируемость за счет децентрализованности архитектуры системы, повышение качества выполнения функций за счет поиска оптимальных вариантов при переговорах агентов и вывода на знаниях, применение мультиагентного подхода к созданию технологических платформ систем управления предприятиями вполне оправдано.

В результате в работе сформулированы следующие пять направлений в рамках реализации методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий (для каждого направления в скобках приведены номера этапов методологии согласно рис. 2).

1. Развитие методологии системного анализа и проектирования для обеспечения процессов тактического реинжиниринга предприятий средствами инструментальной поддержки (этапы 1 – частично и 2).

2. Разработка информационного обеспечения процесса управления ресурсами предприятий (этапы 3, 11).

3. Разработка информационного обеспечения для структурно-функционального и имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия с целью их последующего совершенствования (этапы 4 – 6).

4. Разработка технологической инфраструктуры для управления бизнес-процессами макропредприятий на основе мультиагентного подхода к созданию информационных систем и онтологического подхода к представлению знаний (этапы 7, 8 – частично, 9 и 10).

5. Разработка информационно-алгоритмического обеспечения реализации мониторинга исполнения бизнес-процессов предприятия (этапы 12 – 15).

Таким образом, в главе определены различные аспекты методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий: организационный, ресурсный (информационный) и технологический (инфраструктурный).

В главе 2 показаны особенности описания и структурно-функционального моделирования бизнес-процессов при их реинжиниринге, разработан метод повышения эффективности тактического реинжиниринга бизнес-процессов макропредприятия средствами инструментальной поддержки. Суть его состоит в следующем. По мере углубления в проект реинжиниринга сначала возникают, в дальнейшем множатся сложности, обусловленные формой реализации технологии реинжиниринга, которая требует формирования структурообразующих документов (структурная схема; штатное расписание; положения о

структурных подразделениях; должностные инструкции; контракты работников) и постоянной их актуализации. При выполнении этих операций вручную процесс внесения изменений лавинообразно становится все более трудоемким, это соответственно усложняет одновременное и согласованное проведение преобразований. С целью принятия рационального решения при корректировке проекта организационной структуры (ОС) применяется моделирование структур, например по методологии структурного анализа и проектирования *SADT* в версии *IDEF0*. В главе проведены анализ, формализация и развитие методологии описания бизнес-процессов организаций *IDEF0* с учетом особенностей ее применения в изменяющихся условиях. Полное формализованное описание предлагаемой методологии включает более сотни множеств и более тридцати операций на них, для каждой из которых разработан алгоритм, поэтому ниже приведен лишь небольшой фрагмент.

В сложных системах целесообразно обобщить множество моделей по отношению к предметной области в виде системы моделей.

Система IDEF0-моделей – это множество моделей, описывающих совокупность БП макропредприятия, их различных вариантов и версий, где каждая модель описывает бизнес-процессы одной конкретной организации. Множество систем моделей Z имеет вид

$$Z = \{Z_x \mid x = \overline{1, X}\},$$

где $Z_x = \langle Z_x^A, \dot{M}_x \rangle$ – кортеж, представляющий x -ую систему моделей; X – число систем моделей; $Z_x^A = \langle Z_{x1}^A, \dots \rangle$ – кортеж атрибутов (уникальное наименование, ...) x -й системы; \dot{M}_x – множество моделей x -й системы.

Модель IDEF0 – это иерархически организованная совокупность диаграмм, состоящих из блоков, соединенных дугами, где верхняя диаграмма является наиболее общей, а нижние диаграммы наиболее детализированы. Множество моделей x -й системы имеет вид

$$\dot{M}_x = \{\dot{M}_{xy} \mid y = \overline{0, Y_x}\},$$

где \dot{M}_{xy} – кортеж, представляющий в x -й системе y -ую модель (примем $\dot{M}_{xy} = M$); Y_x – число моделей в x -й системе. Модель с нулевым индексом \dot{M}_{x0} называется системной моделью, она имеет то же название, что и система, создается и удаляется вместе с системой.

Кортеж, представляющий модель M , имеет вид

$$M = \langle M^A, S \rangle,$$

где $M^A = \langle M_1^A, \dots \rangle$ – кортеж атрибутов (уникальное наименование, ...) модели; S – множество субмоделей модели. Каждая y -я модель x -й системы представлена в виде блока на системной диаграмме \dot{M}_{x0} (контекстного блока модели).

Субмодель – это определенная ветвь модели, имеющая собственную точку зрения (которая принимается на основании точки зрения модели и не противоречит ей), цель, являющуюся одной из подцелей дерева целей модели, и контекстную диаграмму, содержащую блок, расположенный на одной из диаграмм модели. Множество субмоделей S имеет вид

$$S = \{S_i \mid i = \overline{0, I^S}\},$$

где S_i – кортеж, представляющий i -ую субмодель при $i = \overline{1, I^S}$ или собственно модель при $i = 0$ (нулевую или контекстную субмодель); I^S – число субмоделей в модели. Контекстная субмодель создается вместе с моделью; в случае, когда модель состоит из единственной контекстной субмодели, множество S содержит единственный элемент: $S = \{S_0\}$.

Системная модель состоит из единственной контекстной (системной) субмодели. В общем случае субмодель служит для описания бизнес-процесса конкретной организации в составе макропредприятия. Кортёж, представляющий i -ю субмодель, должен иметь вид

$$S_i = \langle S_i^A, D_i^S, \tilde{S}_i \rangle,$$

где $S_i^A = \langle S_{i1}^A, S_{i2}^A, S_{i3}^A, \dots \rangle$ – кортеж атрибутов (уникальное наименование, точка зрения; цель и индикатор ее достижения, ...) i -й субмодели; D_i^S – множество диаграмм, из которых состоит i -я субмодель, исключая диаграммы, составляющие субмодели-потомки i -й субмодели; $\tilde{S}_i \subset S$ – множество субмоделей-потомков i -й субмодели. Каждая субмодель имеет собственную контекстную диаграмму $D_{i0}^S \in D_i^S$. Для системной субмодели эта контекстная диаграмма является единственной, она также называется контекстной диаграммой системы.

Диаграмма – это согласованное описание фрагмента предметной области, состоящее из блоков, соединенных дугами. Множество диаграмм модели D имеет вид

$$D = \{D_i \mid i = \overline{0, I^D}\},$$

где $D_i = \langle D_i^A, V_i^D, L_i^D, W_i^D \rangle$ – кортеж, представляющий i -ю диаграмму модели; I^D – число диаграмм в модели; $D_i^A = \langle D_{i1}^A, D_{i2}^A, \dots \rangle$ – кортеж атрибутов (уникальное наименование, S -номер, ...) i -й диаграммы; V_i^D – множество вершин, расположенных на i -й диаграмме; L_i^D – множество линий, соединяющих вершины i -й диаграммы; W_i^D – множество комментариев i -й диаграммы.

Каждая x -я система моделей представлена на системной диаграмме D'_{x0} . Она обязательно содержит внешний блок системы B'_{x0} , представляющий ее внешнюю среду (E).

При разработке проекта тактического реинжиниринга на основе *IDEF0*-моделей все преобразования необходимо отразить в виде соответствующих операций, выполняемых над приведенными моделями. В работе за основу принят набор операций, реализованных в наиболее широко используемых в настоящее время *CASE*-средствах структурно-функционального моделирования. При этом выявлено, что в типовом наборе базовых операций имеются определенные упущения, поэтому данный типовый перечень дополнен несколькими операциями модификации *IDEF0*-моделей, алгоритмы выполнения которых разработаны с учетом принятых взаимосвязей между функциональными блоками с целью повышения эффективности применения методологии *IDEF0* для решения задач РБП; эти вопросы подробно изложены автором в работах [6 – 8].

На основе развитых средств *IDEF0*-методологии с наложением ряда ограничений и разработанных формальных алгоритмов модификации *IDEF0*-моделей, подробно рассматриваемых автором в [1, 2], в главе предложен метод тактического реинжиниринга предприятий, основная особенность которого заключается в последовательном преобразовании *IDEF0*-модели «как есть» в модель «как должно быть». При его разработке рассмотрены типовые ситуации, которые могут иметь место при реинжиниринге организаций (см. таблицу). Для их отображения на *IDEF0*-моделях используются основные операции, а именно: добавление (удаление) блока; декомпозиция блока; удаление декомпозиции; добавление (удаление) линии, соединяющей коннектор с блоком; добавление (удаление) линии, соединяющей один блок с другим блоком; перенос блока с одной диаграммы на другую и др.

Типовые ситуации реинжиниринга организаций

Ситуации	Документы	Стр. схема	Штат. расп.	Пол. подр.	Долж. инстр.	Конт-ракты
1. Изменение заработной платы			+			+
2. Добавление (сокращение) функции, выполнение которой осуществляется без значительных затрат рабочего времени и других ресурсов*						
3.1. Добавление (сокращение) функции со значительным объемом работ без изменения численности подразделения*					+	
3.2.1. Добавление (сокращение) функции со значительным объемом работ с изменением численности подразделения без изменения взаимоотношений с другими подразделениями			+		+	+
3.2.2. Добавление (сокращение) функции со значительным объемом работ с изменением численности подразделения и взаимоотношений с другими подразделениями			+		+	+
4. Увеличение численности подразделения за счет вакантных мест					+	+
5.1. Перераспределение функций между работниками внутри подразделения в пределах одной структурной единицы (бюро, группы или участка) подразделения*					+	
5.2. Перераспределение функций между работниками внутри подразделения между различными структурными единицами*				+	+	
6.1. Сокращение численности внутри подразделения с ликвидацией функций			+	+	+	+
6.2. Сокращение численности внутри подразделения с перераспределением функций сокращенных работников*			+	+	+	+
7. Уход работника по собственному желанию						
8. Повышение (понижение) работника по службе на вакантную должность					+	+
9.1. Перевод работника из одного подразделения в другое на вакантную должность					+	+
9.2. Перевод работника из одного структурного подразделения в другое с передачей функций			+	+	+	+
10.1. Создание (ликвидация) структурной единицы			+	+	+	+
10.2. Переподчинение внутри подразделения*				+		
10.3. Перераспределение функций между структурными единицами				+	+	
11. Переподчинение структурного подразделения*	+					
12. Создание нового подразделения (цеха, отдела)*	+		+	+	+	+
13.1. Ликвидация действующего подразделения с функциями и увольнением его работников	+		+	+	+	+
13.2. Ликвидация действующего подразделения с передачей функций без численности (с увольнением его работников)	+		+	+	+	+
13.3. Ликвидация действующего подразделения с передачей его функций и численности	+		+	+	+	+

* Возможно изменение заработной платы.

При использовании предлагаемого метода в части инструментальной поддержки тактического реинжиниринга организации на основе *IDEF0*-моделей выполняются следующие действия:

- 1) определить цели проведения тактического реинжиниринга;
- 2) провести обследование деятельности предприятия;
- 3) построить текущую модель предприятия – модель «как есть»;
- 4) выбрать заготовленную копию текущей модели для рассматриваемого варианта корректировки проекта ОС;
- 5) составить перечень изменений, необходимых для реинжиниринга организации в соответствии с разрабатываемым вариантом;
- 6) определить набор диаграмм, подлежащих корректировке;
- 7) определить изменения ОС в форме операций над моделью;
- 8) составить перечень операций, обеспечивающих выполнение необходимых изменений;
- 9) последовательно выполнить операции из составленного набора;
- 10) зафиксировать полученный вариант ОС, например для его оценки;
- 11) для моделирования других вариантов перейти к выполнению шага 1;
- 12) выбрать наилучший вариант реинжиниринга, единообразно оценив полученные целевые модели бизнес-процесса;
- 13) актуализировать текущую модель в соответствии с отобранной целевой моделью;
- 14) заново сгенерировать изменившиеся структурообразующие документы организации в соответствии с обновленной моделью.

При построении функциональной модели БП промышленного предприятия (в общем случае – организации) необходимо выполнить значительный объем работ, поскольку полная модель подобной сложной системы может включать тысячи функциональных блоков и отношений, поэтому требует для создания значительных трудовых затрат.

С использованием развитых инструментальных возможностей методологии *IDEF0* процесс корректировки проекта ОС выполняется в 2 – 3 раза быстрее, чем при ручном проектировании, причем производительность определяется как быстродействием компьютера, так и временем отклика специалиста-аналитика, поскольку процесс моделирования организации интерактивен.

Для анализа функциональных моделей, рассматриваемых в диссертации, применительно к условиям базового предприятия предлагается использование оценок уровня развития функций управления, в основу которых положены следующие критерии: комплексность, прогнозируемость и измеримость.

Масштабность измерения функций управления может быть охарактеризована, например коэффициентом отклонения действующей структуры аппарата управления по функции от типовой структуры:

$$K_{\text{СТ}} = E / n_{\text{Н}},$$

где E – число отклонений фактической структуры от типовой; $n_{\text{Н}}$ – число структурных подразделений по функции, предусмотренных типовой структурой.

Число межфункциональных связей рассчитывается следующим образом:

$$Д = \sum_{i=1}^a d_i + \sum_{j=1}^b d_j,$$

где d_i – число связей i -го вида в течение рассматриваемого периода времени; a и b – число видов взаимодействий по прямым и обратным связям соответственно; d_j – число связей j -го вида в течение рассматриваемого периода времени.

Средняя частота межфункциональных связей – показатель, характеризующий плотность связей по функции, может быть представлен в виде

$$R = D/(a + b),$$

где D – число межфункциональных связей за рассматриваемый период; a и b – число видов прямых и обратных связей соответственно.

Таким образом, развиты средства анализа *IDEF0*-моделей и разработаны алгоритмы их модификации, которые легли в основу созданного метода проведения тактического реинжиниринга бизнес-процессов макропредприятия в части инструментальной поддержки аналитика. Метод позволяет сократить трудовые, временные и вследствие этого финансовые затраты на тактический реинжиниринг бизнеса и поддерживать актуальными структурообразующие документы организации, что приводит к повышению ее управляемости и снижению уровня риска в решениях, принимаемых руководством при реорганизации.

В главе 3 проведен анализ взаимосвязи БП и разного рода ресурсов предприятия, поскольку для эффективного выполнения в соответствии с календарным планом и регламентом выполнения работ необходимо обеспечить БП ресурсами. Проведен анализ ресурсов предприятия и осуществлена их формализация с использованием теории множеств.

Согласно идеологии *BPM* БП моделируется как последовательность бизнес-операций (БО), приводящая к получению определенного результата для бизнеса. Далее приведен небольшой фрагмент разработанной с использованием теории множеств формальной модели для описания ПрО (полное описание модели включает десятки множеств и подмножеств и операторов над ними), разработанной с целью создания алгоритмов обеспечения БП предприятия ресурсами и управления ими.

Формально каждый БП можно записать в виде кортежа

$$BP_i = \langle BP_i^A, U_i, FL_i, WG^{BP_i}, BF^{BP_i}, IR_{in}^{BP_i}, IR_{out}^{BP_i} \rangle,$$

где U_i – множество субпроцессов; FL_i – множество потоков (данных / управления), связывающих субпроцессы; WG^{BP_i} – множество рабочих групп, участвующих в выполнении i -го БП, BF^{BP_i} – множество БФ, на которые декомпозируется i -й БП, $IR_{in}^{BP_i}$ – множество входных ресурсов i -го БП; $IR_{out}^{BP_i}$ – множество выходных ресурсов i -го БП; $BP_i^A = \langle A^{BP_i}, G^{BP_i}, V^{BP_i} \rangle$ – кортеж атрибутов процесса, причем A^{BP_i} – множество атрибутов, идентифицирующих i -й БП; G^{BP_i} – множество целей; V^{BP_i} – множество индикаторов, соответствующих целям i -го БП.

Для выполнения БП предприятия формируют рабочие группы, каждая из которых состоит из множества W^{WG_i} рабочих центров (РЦ). РЦ представляет собой объединенных в группы сотрудников с техническими средствами (ТС), например в виде автоматизированных рабочих мест (АРМ):

$$W_i = \langle W_i^A, M^{W_i}, R^{W_i}, BO^{W_i} \rangle,$$

где M^{W_i} – множество единиц технических средств (ТС) i -го РЦ, R^{W_i} – множество сотрудников, закрепленных за i -м РЦ; BO^{W_i} – множество БО, которые могут быть выполнены на i -м РЦ; $W_i^A = (W_{i1}^A, W_{i2}^A, W_{i3}^A, \dots)$ – множество атрибутов (код РЦ, его наименование, код подразделения, которому принадлежит РЦ, ...) i -го РЦ.

Множество BF^{BP_i} БФ i -го БП можно представить в виде

$$BF = \{BF_j \mid j = \overline{1, J^{BF}}\},$$

где J^{BF} – число БФ i -го БП; $BF_j = \langle BF_j^A, W^{BF_j}, BO^{BF_j}, IR_{in}^{BF_j}, IR_{out}^{BF_j} \rangle$ – кортеж, представляющий j -ю БФ, причем BF_j^A – атрибуты j -й БФ; $W^{BF_j} \in W^{WG_i}$ – РЦ, задействованные в выполнении j -й БФ; $IR_{in}^{BF_j}$ – входные ресурсы, необходимые для выполнения j -й БФ; $IR_{out}^{BF_j}$ – выходные ресурсы j -й БФ; BO^{BF_j} – множество БО, которые должны быть выполнены в рамках j -й БФ, определяемой так:

$$BO = \{BO_l \mid l = \overline{1, L^{BO}}\},$$

где L^{BO} – число БО j -й БФ; $BO_l = \langle BO_l^A, W^{BO_l}, IR_{in}^{BO_l}, IR_{out}^{BO_l} \rangle$ – кортеж множеств, представляющий l -ю БО, причем BO_l^A – атрибуты (код, наименование, нормативное время выполнения и начальное время) l -й БО; W^{BO_l} – РЦ, выполняющий l -ю БО; $IR_{in}^{BO_l}$ – входные ресурсы, необходимые для выполнения l -й БО; $IR_{out}^{BO_l}$ – выходные ресурсы l -й БО.

Модель, фрагмент которой приведен выше, использована в качестве основы для разработки метода формирования потребности БП в ресурсах, суть которого состоит в следующем. Предварительно на предприятии составляется календарный график выполнения БП с указанием времени начала и завершения каждой операции БП. Для этого формируется множество необходимых для выполнения БП ресурсов, определяемых таким образом:

$$IR_n = \langle IR_n^A, BO^{IR_n}, W^{IR_n}, T_{give}^{IR_n} \rangle,$$

где IR_n^A – кортеж его атрибутов, BO^{IR_n} – БО, для которой ресурс является входным; W^{IR_n} – рабочий центр, которому требуется ресурс IR_n , $T_{give}^{IR_n}$ – время, к которому необходимо предоставить ресурс рабочему центру W^{IR_n} .

На основе полученной модели по аналогии с производственным процессом изготовления продукции разработан алгоритм формирования ресурса для обеспечения БП.

Этот алгоритм универсален, поскольку может быть использован для планирования потребности в ресурсах различных типов. Так, например, информационные ресурсы, которые используются в основной деятельности, в рамках предприятия могут быть разделены на три группы: IR^{in} – ресурсы, которые для БП являются входными ресурсами из внешней среды и в процессе работы не изменяются, а их владельцами являются другие организации (например, стандарты, нормативные справочники и др.), IR^{out} – выходные ресурсы, которые больше не участвуют в основной деятельности (ОД) предприятия (например, налоговые декларации, документация, содержащая статистические данные и др.), $IR^{in/out}$ – ресурсы, которые являются выходными ресурсами одних БП и входными для других БП.

Формирование IR^{out} можно представить по аналогии с изготовлением производственного изделия, состоящего из нескольких комплектующих, в виде маршрутно-сборочной схемы. При этом один и тот же ресурс $IR^i(j)$ может участвовать в формировании ресурсов на разных уровнях вхождения (на разных этапах подготовки IR^{out}). Пример карты формирования ИР – «Отчета по проекту «Диагностика системы управления предприятия»» – приведен на рис. 3.

Все $IR^i(j)$ представлены в виде прямоугольников, между ними показаны связи, отражающие входимость одних ИР в другие. Цифры в верхнем индексе каждого ИР указывают его порядковый номер в спецификации, в скобках – уровень входимости j ИР в IR^{out} .

Потребности БП предприятия в разного рода ресурсах представляются в таблице процессов / данных. В дополнение к ней для организации управления ресурсами используются регламенты длительности БП, это позволяет планировать графики формирования ресурсов и предоставления ресурсов БП.

В диссертации также разработан алгоритм, результатом выполнения которого является календарный график обеспечения БП требуемыми ресурсами. Его особенностью является то, что он применим для работы с ресурсами различных типов, используемых как в технологических процессах, так и в бизнес-процессах предприятий. Алгоритм, в частности, включает функцию расчета времени предоставления ресурсов БО. При планировании графика обеспечения БП ресурсами определяется время предоставления ресурса $T_{give}^{IR_n}$, которое зависит от времени начала БО $T_{begin}^{BO_l}$, указываемого в производственных календарных планах предприятия, а также от времени, необходимого на передачу ресурса сотруднику T_i (рис. 4).

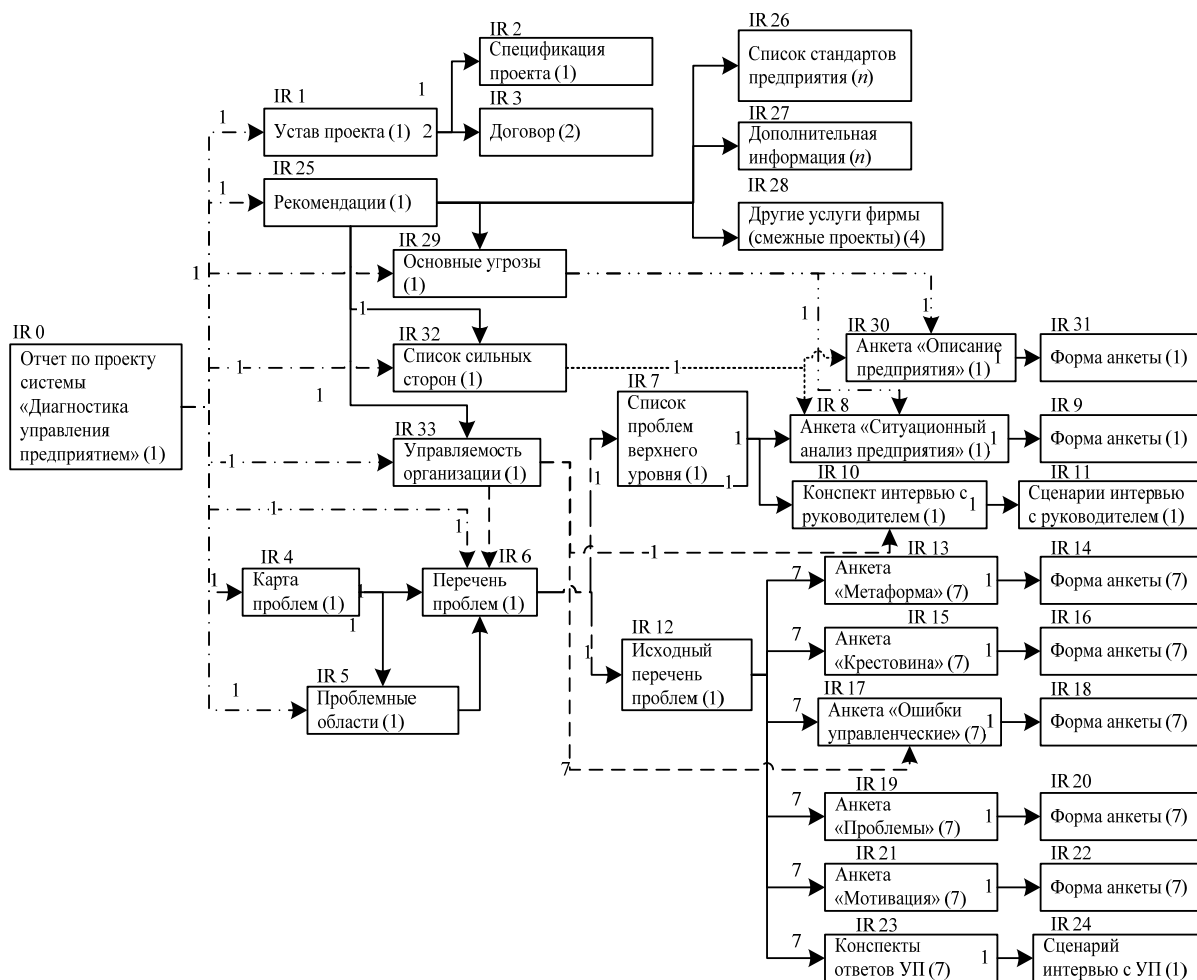


Рис. 3. Пример карты формирования ИР

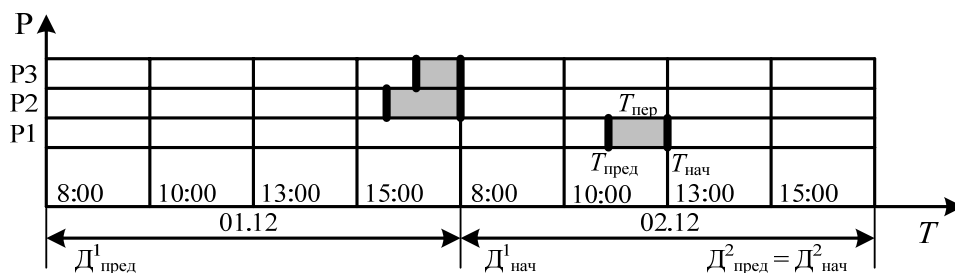


Рис. 4. Иллюстрация метода определения момента предоставления ресурса

На графике используются обозначения: $D_{\text{пред}}^1$ и $D_{\text{пред}}^2$ – даты предоставления ресурсов для БО₁ и БО₂ соответственно; $D_{\text{нач}}^1$ – дата начала БО₁, $D_{\text{нач}}^2$ – дата начала БО₂, $T_{\text{пред}}$ – время предоставления ресурса для БО₂, $T_{\text{пер}}$ – время передачи ресурса, $T_{\text{нач}}$ – время начала БО₂. Например, ресурс Р1 необходим на этапе, который начинается в 13⁰⁰ ч. 2-го декабря. Чтобы установить дату и время предоставления Р1, необходимо определить T_i , которое зависит от вида ресурса (электронный, бумажный) и способа передачи (ЛВС, Интернет, факс, почта и др.). После определения T_i определяем время $T_{\text{give}}^{IR_n}$ предоставления ресурса БО.

Из алгоритма обеспечения БП ресурсами известно время предоставления $IR_n - T_{\text{give}}^{IR_n}$. IR_n может быть не сформирован. Тогда необходимо выполнить разработанный алгоритм планирования потребностей в ресурсах и для каждого ресурса, участвующего в формировании IR_n , определить БО и РЦ, которые его формируют, для чего разработан соответствующий алгоритм. Период формирования ресурсов необходимо рассчитывать для закрепления за БО свободного РЦ. Эти алгоритмы включены в метод обеспечения процесса управления ресурсами предприятия с целью повышения его эффективности при исполнении БП.

В данной главе также рассмотрены вопросы обработки нештатных ситуаций (НС) при обеспечении БП предприятия ресурсами. НС наступает в том случае, если значения параметров, описывающие состояние БП, выходят за допустимые пределы. Для обработки НС применен кластерный анализ.

В теоретико-множественной модели для описания состояний i -го БП введено множество V^{BP_i} индикаторов, которое определено так:

$$V^{BP_i} = \{V_j^{BP_i} \mid j = \overline{J^{BP_i}}\},$$

где J^{BP_i} – число индикаторов; $V_j^{BP_i} = \langle V_{jN}^{BP_i}; V_{jV}^{BP_i}; V_{jQ}^{BP_i} \rangle$ – множество, представляющее j -й индикатор в виде тройки (имя; значение; норматив).

Индикаторы используются для определения степени достижения цели процесса, в случае отклонений процесса от регламента они характеризуют нештатную ситуацию, выступая в качестве признаков (дискриминантных переменных) при выполнении кластерного анализа для определения класса НС. Для описания НС и процесса их обработки применена формально логическая модель представления знаний, для ее реализации в работе использован язык Пролог, особенности применения которого рассмотрены в главе 7.

В диссертации разработан алгоритм обнаружения НС по значениям индикаторов БП и их обработки на основе кластерного анализа при обеспечении БП ресурсами, который наряду с предложенным методом включен в информационно-алгоритмическое обеспечение процесса управления ресурсами предприятия. Его назначение – повысить эффективность выполнения БП за счет сокращения затрат, связанных с простым и отклонением процесса от регламента по причине отсутствия ресурсов или задержек с их предоставлением.

В главе также предложены подходы к оценке экономической эффективности использования менеджмента ресурсов при выполнении БП ОД на основе расчета штрафных функций, отражающих затраты на выполнение БП за единицу времени, и на основе анализа ритмичности выполнения плана. В частности, неритмичность равнозначна потерям прежде всего рабочего времени. Ее устранение создает предпосылки эффективного использования ресурсов. Так, потери от неритмичного выполнения рассчитываются по формуле

$$П_{\text{дн}} = \sum D_{\text{откл}} - D_{\text{общ}} \frac{\sum V_{\text{откл}}}{100},$$

где $\sum D_{\text{откл}}$ – сумма рабочих дней в декадах, в которых были зафиксированы отрицательные отклонения; $D_{\text{общ}}$ – число дней за рассматриваемый период; $\sum V_{\text{откл}}$ – сумма выполнения плана в процентах для декад, указанных в $\sum D_{\text{откл}}$.

Расчеты потерь и переменных затрат на выполнение работ по предоставлению или формированию ресурсов производятся для принятия решения о проведении дополнительных (например сверхурочных) работ для организации выполнения БП в соответствии с планом.

Глава 4 посвящена рассмотрению имитационного моделирования систем управления бизнес-процессами предприятия с помощью распределенных ИС. В ней показаны особенности описания и моделирования бизнес-процессов при создании распределенных систем управления предприятием. Рассмотрены основные характеристики распределенных информационных систем и их недостатки. Показано, что через управление гибкими БП возможны мониторинг, постоянное совершенствование и оптимизация цепей добавленной стоимости в основной деятельности предприятий. Представлен обзор систем процессного управления на предприятиях – системы *BPM* – на примере *workflow*-систем. Представлено обоснование применения концепции *BPM*, рассмотрены основные направления развития таких систем. Проведен сравнительный анализ существующих систем класса *workflow* и выявлены их основные недостатки. На основе анализа возможностей систем имитационного моделирования сформированы требования к ИМ БП предприятия. В качестве графической нотации для представления БП принята *BPMN*, в качестве языка их описания – *XPDL*, так как эти средства в определенной степени дополняют друг друга, являясь при этом стандартами в рассматриваемой области.

Поскольку большинство представленных на рынке *workflow*-систем не имеют встроенных средств имитационного моделирования бизнес-процессов дискретного типа, для устранения данного недостатка в работе применен аппарат раскрашенных сетей Петри. В связи с этим для его использования при описании потоков работ проведено развитие формальной *workflow*-модели, которую можно представить кортежем

$$W = \langle P, Trans \rangle,$$

где P – множество элементов процесса, которое разделено на непересекающиеся множества *XOR*- и *AND*-перекрестков разветвления и объединения, а также действий; $Trans \subseteq P \times P$ – отображает переходы между различными элементами процесса.

Для того чтобы избежать возможной неоднозначности в интерпретации семантики модели, а также упростить некоторые определения, избежав при этом некорректности, в работе введено ограничение на наличие дуг каждого действия: допускаются только одна входная и одна выходная дуги, причем эти дуги не обязательно должны присутствовать в модели.

Пусть $e \in P$ – элемент процесса W , тогда все входные дуги в e и все выходные дуги из e можно представить как $in(e) = \{x \in P \mid x Trans e\}$ и $out(e) = \{x \in P \mid e Trans x\}$ соответственно. *Workflow*-модель в терминах сетей Петри можно определить на основе теоретико-множественного подхода таким образом:

$$PN_W = (P_W, T_W, F_W, L_W),$$

причем P_W – множество всех возможных позиций сети; T_W – множество всех переходов; F_W – множество позиций и переходов; L_W – множество всех действий.

На основе сравнительного анализа двух видов моделей (блочных и графовых) на примере их основных представителей (*XPDL* и *BPML*) с точки зрения организации в них основных конструкций, определяющих модель потоков работ, показано, что все основные конструкции блочной модели *BPML* могут быть выражены через их прямые аналоги модели потоков работ *XPDL*. В работе предложено расширение языка *XPDL* для реализации возможности отображения на экране разработанных при помощи нотации *BPMN* моделей БП.

В данной главе из шаблонов потоков работ сформирован минимально необходимый набор блоков, достаточный для описания любого БП. Таким образом, определение *workflow* через аппарат сетей Петри построено с помощью множества блоков.

На основе анализа разновидностей сетей Петри обоснован выбор раскрашенных сетей для реализации задач, поставленных в работе, обоснована необходимость и определены функции расширения данного аппарата посредством введения дополнительных элементов для синхронизации потоков управления и поддержки временного механизма. В общем случае модель процесса, определенная в терминах *CPN*, представляется в виде связанного набора блоков. Перед включением моделей блоков в общую модель соответствующие им экземпляры параметризованных классов получают начальные значения для настройки параметров моделирования. На рис. 5 приведен комплекс основных разработанных *CPN*-моделей блоков.

Операция БП (и соответствующий ей блок) характеризуется некоторым временем выполнения, стохастичный характер которого реализован с помощью расширения аппарата раскрашенных сетей Петри, заключающегося во введении дополнительных параметров для перехода – верхней и нижней временных границ его срабатывания. Генерация случайных значений времени выполнения операций из заданного интервала возлагается на Петри-машину (алгоритм управления работой сети), реализованную в системе.

Еще одной особенностью является введение в модель операции очереди, например типа *FIFO* (*First In – First Out*). Это необходимо для извлечения из позиций фишек в определенном порядке. Для анализа временных характеристик моделируемого БП реализован сбор статистических данных о выполнении операций на каждой итерации. Другой особенностью модели операции является возможное наличие предусловий ее выполнения. Для этого реализована поддержка глобальных переменных, которые могут участвовать в условных выражениях, в частности определяя состояния некоторых объектов данных или управления. Начальный блок предназначен для создания маркеров, управляющих запусками последующих блоков, причем каждая итерация начинается с генерации одного транзакта. Возможно задание наступления моментов времени генерации фишек в виде случайной величины.

Для построения моделей БП в системе ИМ разработаны модели основных блоков на аппарате раскрашенных сетей Петри. Из них реализуются модели типовых БП предприятия в нотации *BPMN*. Из этих блоков может быть построена модель практически любого БП. Первоначально такая модель представляется в виде совокупности отдельных блоков в нотации *BPMN*. Для ИМ БП необходимо транслировать его графическое представление, сохраненное в *XPDL*-формате, в модель на основе раскрашенных сетей Петри в формате *XCPNL* (описанном в главе 7), проверив при этом правильность представленного описания БП. Обобщенная блок-схема алгоритма трансляции приведена на рис. 6.

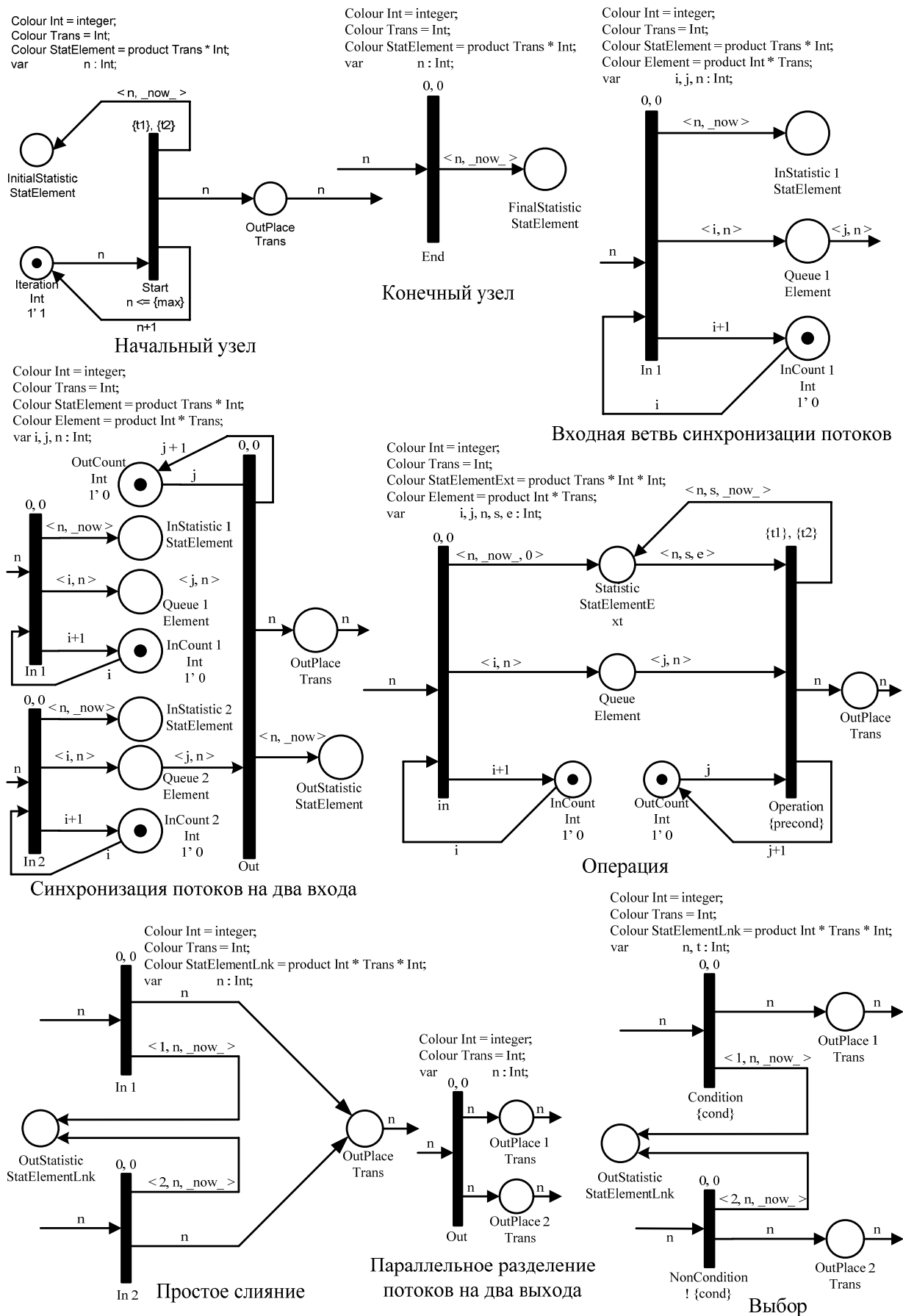


Рис. 5. Комплекс основных моделей блоков для описания бизнес-процессов на сетях Петри



Рис. 6. Обобщенная блок-схема алгоритма трансляции графического *workflow*-описания в CPN-модель

В данной главе также предложен метод преобразования БП, экспортированных из существующих систем класса *workflow* либо представленных на языке описания БП, в раскрашенные сети Петри, разработан алгоритм ИМ этих процессов.

Таким образом, метод выполнения ИМ БП на основе раскрашенных сетей Петри обобщенно состоит из следующих трех этапов.

1. Функциональное моделирование БП в графической нотации.
2. Конвертация описания БП в раскрашенную сеть Петри с использованием построенных CPN-моделей основных блоков, большинство из которых входит в перечень типовых шаблонов потоков работ.
3. Выполнение ИМ полученной сети Петри и обработка его результатов.

В главе 7 показано, что применение данного метода позволит менеджерам обеспечить более быстрое реагирование на изменение ситуации благодаря обеспечению возможности корректировки (тактического реинжиниринга) БП в более короткие сроки.

В главе 5 предложен онтологический подход к созданию интеллектуальной МАС управления бизнес-процессами предприятия (СУБП), основанной на знаниях. В рамках искусственного интеллекта термин «онтология» используется для описания объектов и явлений мира в формализованном виде, пригодном для компьютерной обработки. При этом принимается, что концепты, которые используются при моделировании БП организаций, могут быть описаны в онтологиях соответствующих предметных областей. Причем для построения МАС управления БП предприятия (МАСУБП), функционирующих на основе онтологий ПрО, в эти онтологии включена информация о поведении сущностей заданной ПрО для последующей разработки алгоритмов функционирования исполнительных модулей системы, реализуемых программными агентами на основе логического вывода.

В главе также выявлены основные уровни архитектуры МАСУБП (рис. 7). Два нижних уровня модели представляют собой уровни описания ПрО и инструменты работы с ними, при этом ПрО могут быть описаны в любой графической нотации. Например, могут применяться дескриптивные XML-языки. В работе использован язык Пролог, позволяющий осуществлять логический вывод знаний на основе логики предикатов первого порядка. Запись знаний об операциях объектов, соответствующих концептам, в форме продукционных правил:

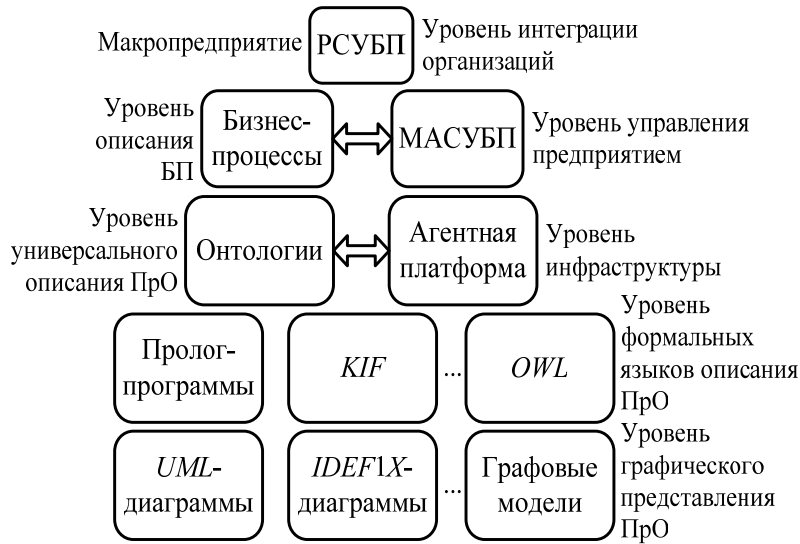


Рис. 7. Основные уровни архитектуры МАСУБП

«ЕСЛИ ..., ТО ...» определяет логическую цепь действий, реализующих поведение сущностей, описанных в онтологиях ПрО. На основе онтологий и агентной платформы формируются уровни управления БП в виде МАСУБП. БП формализуют с помощью разработанных онтологий ПрО, при этом понятия, соответствующие ресурсам и объектам, задействованным в БП, а также

механизмы выполнения бизнес-функций (БФ) предварительно описывают в онтологиях. За счет введения общих базовых онтологий ПрО различные СУБП образуют уровень интеграции предприятий – комплекс распределенных СУБП (РСУБП).

В главе также разработана формальная теоретико-множественная модель расширения онтологий ПрО для описания поведения ее сущностей при выполнении БП макропредприятий. В условиях реальных предприятий она довольно масштабна, поэтому приводится лишь ее фрагмент.

Формально каждая i -я онтология может быть представлена кортежем

$$O_i = \langle O_i^C, O_i^R, O_i^O \rangle,$$

где O_i^R – множество отношений между концептами i -й онтологии, например, «часть – целое» и т.д.; O_i^O – множество операций, связанных с объектами, которые представлены этими концептами i -й онтологии; $O_i^C = \{c_{ij} \mid j = 1, \overline{J^C}\}$ – множество концептов i -й онтологии, причем $J^C = |O_i^C|$. Кроме того, $O_i^{CA} \subseteq O_i^{CR} \subseteq O_i^C$, где O_i^{CR} – множество концептов-ресурсов i -й онтологии; O_i^{CA} – множество концептов-исполнителей процессов предприятия в i -й онтологии. Всякий объект, представленный концептом онтологии, может обладать набором операций, которые могут им выполняться.

Множество операций объектов, представленных концептами, описывается так:

$$O_i^O = \{O_{ij}^O \mid j = 1, \overline{J_i^O}\},$$

где $J_i^O = |O_i^O|$; $O_{ij}^O = \{o_{ijk} \mid k = 1, \overline{K_j^O}\}$ – множество операций объекта, соответствующего j -му концепту i -й онтологии, которое может быть \emptyset , поскольку не каждому концепту соответствует объект, обладающий набором операций, причем O_{ijk} – k -я операция объекта, соответствующего j -му концепту i -й онтологии; $K_j^O = |O_{ij}^O|$. Далее необходимо определить, каким образом БП предприятия связаны со знаниями о соответствующих им ПрО.

Формально каждый БП представляется кортежем, как показано на стр. 14, причем отдельный j -й субпроцесс нижнего уровня иерархии i -го БП имеет вид

$$U_j^i = (U_j^A, F_j^O),$$

где U_j^A – множество атрибутов j -го субпроцесса; F_j^O – множество БФ субпроцесса. Каждую БФ $f^O \in F_j^O$ можно представить так: $f^O = (F^A, p)$, где F^A – множество атрибутов БФ (наименование, тип, ...); $p \in P$ – участник-исполнитель работы; P – множество всех исполнителей БП. Тогда каждой БФ $f^O \in F^O$ можно поставить в соответствие $f^O \rightarrow o_{kml}$, где $o_{kml} \in O_k^O$ – l -я операция объекта, соответствующего m -му концепту k -й онтологии. Исполнителю БФ можно поставить в соответствие $p_i \rightarrow o_{km}^C$, где $o_{km}^C \in O_k^C$ – m -й концепт k -й онтологии.

Таким образом, при описании БП сначала описывают ПрО (концепты онтологии – объекты, например информационные ресурсы, которые используются в потоках управления и данных, а также исполнителей БФ). На основе данной модели разработан метод реализации онтологий ПрО для построения МАСУБП предприятия, который включает следующие этапы.

Моделирование БП осуществляется в нотации диаграмм видов деятельности *UML*, при этом исполнителей и онтологии ПрО отображают в виде ассоциированных с действиями объектов.

Моделирование понятий и классов онтологии предметной области осуществляется с использованием диаграмм классов *UML*. Затем полученная модель транслируется в Пролог-код согласно разработанным алгоритмам.

Описание знаний и методов онтологии предметной области. Правила и цели, отражающие логическую взаимосвязь понятий конкретной онтологии, записывают на языке Пролог. Накопленные знания лишь регламентируются разработчиком в виде динамических предикатов данных. Для описания БО используют диаграммы последовательностей *UML*.

Описание бизнес-процессов на расширенном языке XPDЛ. Большинство шаблонных конструкций диаграмм активности *UML* можно преобразовать в «правильно сформированный» текст на языке *XPDЛ*. В работе реализован алгоритм трансформации *UML*-процесса с онтологиями ПрО, исполнителями и их действиями в корректный *XPDЛ*-код для исполнения.

В главе 7 показана эффективность применения этого метода на предприятии ОАО «Завод “Автоприбор”» (г. Владимир) на примере автоматизации БП «Закупки».

Глава 6 посвящена разработке методического и информационно-алгоритмического обеспечения для реализации мониторинга исполнения БП на примере БП транспортировки газа газотранспортного предприятия (ГТП) объединения ОАО «Газпром» с использованием средств интеллектуализации. Под мониторингом подразумеваются производимые регулярно по определенной программе наблюдения для оценки состояния объекта, анализа происходящих в объекте процессов и своевременного выявления тенденций изменения объекта. Задачи мониторинга БП ГТП очень актуальны, поскольку его работа связана с огромными рисками для здоровья людей и экологии.

Система управления ГТП в составе такого макропредприятия, как корпорация «Газпром» включает несколько линейных производственных управлений (ЛПУ) магистральных газопроводов (МГ). На линейной части (ЛЧ) МГ могут иметь место различные нештатные ситуации. Утечка газа из МГ при разрыве его ЛЧ, то есть магистральной трубы, является самой опасной НС, наиболее тяжелое ее проявление – полный разрыв МГ, способный как нанести непоправимый ущерб природным ресурсам, так и при-

вести к человеческим жертвам. В этих условиях особенно важно повысить эффективность работы диспетчера ЛПУ за счет использования им интеллектуальной автоматизированной системы анализа работы МГ, своевременного выявления НС и поддержки принятия его решений. Для этого предназначены система мониторинга (СМ) и система поддержки принятия решений (СППР).

Структура модели мониторинга газотранспортной системы (ГТС) представлена на рис. 8. Система мониторинга в реальном масштабе времени получает показания давления



Рис. 8. Структура модели мониторинга ГТС

с датчиков и сравнивает их с заданными уставками, определяет направления потоков газа для каждого участка МГ. В случае отклонения показаний от уставок в СППР запускается модуль определения типа нештатной ситуации.

Если для выявленной НС необходимо определить место ее возникновения (например в случае разрыва), то запускается модуль определения места возникновения НС, а затем – модуль формирования рекомендаций диспетчеру ЛПУМГ по локализации нештатной ситуации и ее последствий в части транспорта газа (рис. 9).

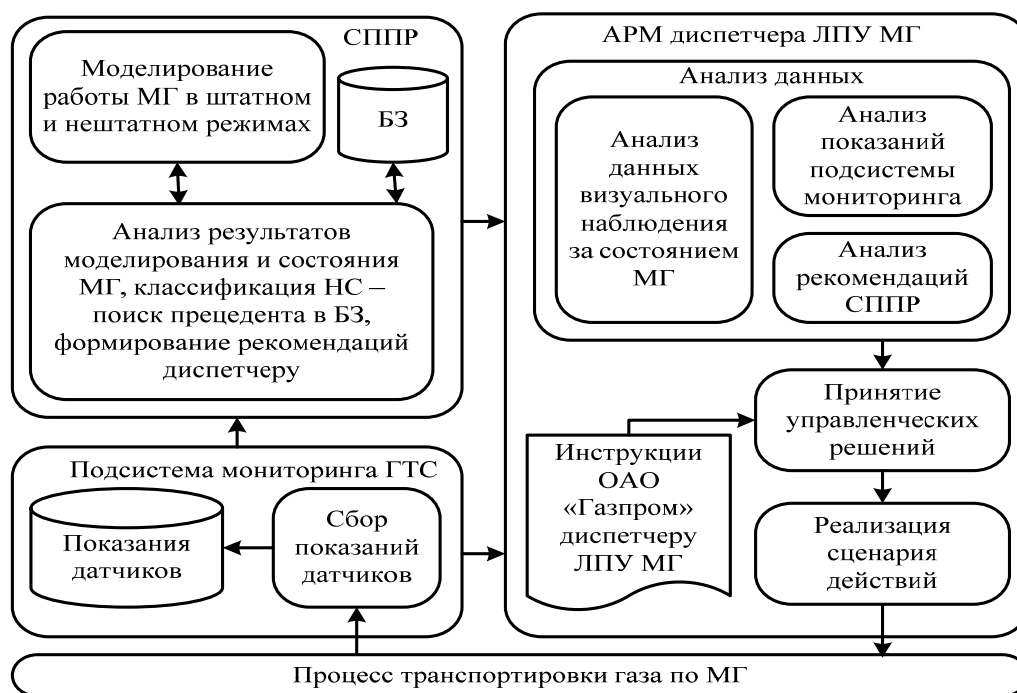


Рис. 9. СППР в процессе управления транспортировкой газа

Моделирование МГ является сложной проблемой из-за нелинейного характера уравнений в частных производных, описывающих процессы течения газа в трубе. Решение таких уравнений в реальном масштабе времени в условиях ГТП практически невозможно, поэтому актуальна задача создания упрощенных моделей, отражающих основные особенности функционирования; в главе предлагается такая математическая модель линейного участка газопровода.

Линейный участок многониточного МГ представлен в виде матрицы элементарных цилиндрических элементов:

$E = \{e | e_{ij} = \langle V_{ij}^t, Vt_{ij}^t, S^t p_{ij}, Kr_osn_{ij}^t, Kr_verh_{ij}^t, Kr_niz_{ij}^t, Niz, Verh \rangle, i = 1..n, j = 1..m\}$, где n – число труб (ниток) газопровода; m – длина линейного участка МГ в длинах элементарных участков-крестовин (например, если длину элементарного цилиндрического участка принять равной 1 км, то получим расстояние в километрах между компрессорными цехами по краям линейного участка МГ). Каждый цилиндрический участок может быть представлен кортежем свойств, среди которых Niz и $Verh$ – номера ниток, соединенных с элементом e_{ij} кранами-перемычками сверху и внизу; $Kr_osn_{ij}^t \in \{0, 1\}$ – основной кран, который пропускает или не пропускает газ из одного цилиндрического участка в другой участок на той же трубе. Если в момент времени t кран открыт, то признак равен 1, закрытому основному крану соответствует значение 0; $Kr_verh_{ij}^t \in \{0, 1\}$ и $Kr_niz_{ij}^t \in \{0, 1\}$ – кран-перемычка, который пропускает или не пропускает газ из одного цилиндрического участка в другой участок соседней трубы (с номером $Verh$ и Niz соответственно); V_{ij}^t – объем газа для элемента e_{ij} в момент времени t ; Vt_{ij}^t – объем трубы (звена) для элемента e_{ij} . Зная объемы V_{ij}^t и Vt_{ij}^t , можно рассчитать давление P_{ij}^t в момент времени t так:

$$P_{ij}^t = Pn V_{ij}^t / Vt_{ij}^t,$$

где Pn – давление газа в нормальных условиях; $S^t p_{ij} \in \{-1, 0, 1\}$ – признак состояния элемента нитки.

Суть примененного и усовершенствованного в работе алгоритма моделирования процесса транспорта газа сводится к выравниванию объемов газа между элементарными участками, соединенными открытым краном или перемычками. Сначала выравниваются объемы газа в участках, соединенных перемычками, затем – между участками каждой трубы от компрессорной станции, закачивающей газ, и до станции, газ потребляющей.

На основе усовершенствованной с учетом временного фактора формальной теоретико-множественной модели МГ, небольшой фрагмент которой приведен выше, в главе предложен алгоритм мониторинга линейной части МГ на предмет обнаружения НС.

Для распознавания НС на МГ в работе использован градиентный метод, суть которого заключается в том, чтобы отслеживать в реальном времени показания групп датчиков давления газа на МГ. В случае разрыва какой-либо нитки на графике давления газа МГ образуется впадина (воронка), которая быстро увеличивается, причем экстремум приходится именно на тот километр трубы, на котором случилась НС.

Алгоритм обнаружения места разрыва МГ можно разделить на алгоритмы обнаружения проблемной нитки МГ и места (километра) разрыва на ней. Суть первого алгоритма заключается в том, что по мере поступления данных с датчиков давления вы-

числяется скорость изменения объема газа в соответствующем каждому датчику элементарном участке газопровода. По максимуму этой скорости выбирается проблемная нитка – частное решение (на отдельном километре по датчикам на нескольких нитках). Суть второго алгоритма сводится к следующему. Чтобы найти километр с разрывом, предлагается моделировать изменение в газопроводе для различных возможных мест разрыва. Местом разрыва будет участок, в котором при моделировании значение скорости падения давления в крестовине на определенном километре будет с меньшей погрешностью отличаться от скорости падения давления, вычисленной по фактическим показаниям датчиков.

В диссертации реализован алгоритм оценки временного промежутка («временного окна») анализа показаний датчиков давления при мониторинге процесса транспортировки газа для гарантированного обнаружения наличия НС. Также разработан алгоритм оценки времени обнаружения километра с разрывом на ЛЧ МГ, которое зависит от удаленности места разрыва от датчиков давления. Чем ближе место разрыва к ближайшему датчику, тем меньше время обнаружения километра с утечкой.

После определения места-источника НС необходимо запустить алгоритм формирования сценария перехода в штатный режим. В результате будет выдан совет диспетчеру по изменению конфигурации МГ через открытие / закрытие кранов. Обобщенная блок-схема такого алгоритма приведена на рис. 10.

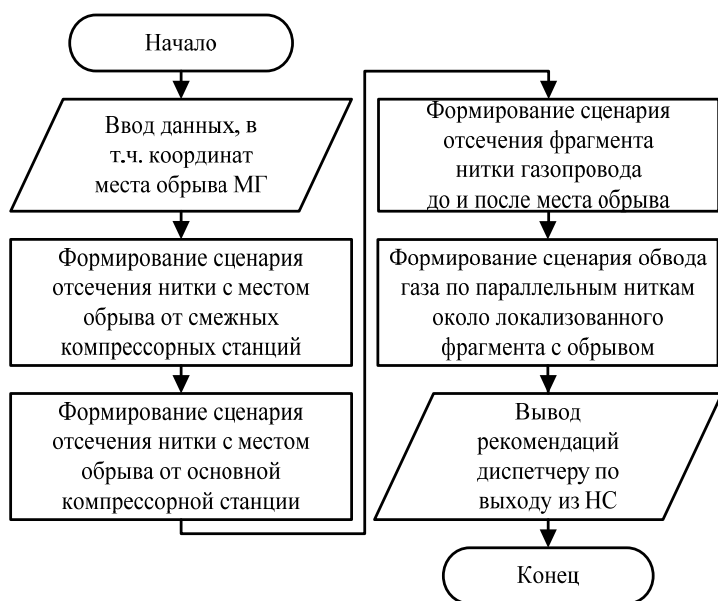


Рис. 10. Блок-схема алгоритма формирования сценария выхода из нештатной ситуации

Предложенные алгоритмы позволяют формировать сценарии – последовательности действий по закрытию и открытию кранов для восстановления штатного режима при возникновении обрывов на МГ. Их также можно применять и при возникновении другого типа нештатной ситуации в ГТС – несанкционированного закрытия крана.

В качестве интеллектуальной основы СППР предложено применение прецедентной модели представления знаний для формирования рекомендаций по локализации НС, поскольку эти ситуации

обладают типовыми признаками, случаются достаточно редко и имеют характер прецедентов. На этой основе развит алгоритм формирования сценария локализации НС, связанной с разрывом ЛЧ МГ. Эта модель достаточно эффективна, она дает приемлемые результаты, не требуя значительных вычислительных ресурсов, что особенно важно для систем реального времени. Для формального описания прецедентов как элементов базы знаний (БЗ) системы поддержки диспетчера введены следующие обозначения:

прецедент $\pi \in \Pi$, причем $\Pi = \{\pi | \pi = \langle type, configuration, solution \rangle\}$.

Дальнейшая детализация модели прецедента требует раскрытия понятий, входящих в кортеж: *type* – тип нештатной ситуации, например разрыв; *configuration* – конфигурация МГ, которую можно представить в виде матриц состояний элементов запорной арматуры

(основных кранов и кранов-перемычек); *solution* – решение, представляющее собой последовательность действий диспетчера по переходу из НС в штатный режим работы ГТС. В работе предложены алгоритмы, формирующие сценарии действий диспетчера по локализации НС, связанных с разрывом. Реализация предложенного в диссертации подхода к обучению БЗ СППР сводит задачу формирования сценария по выходу из НС к задаче поиска прецедента и выдачи диспетчеру соответствующего заготовленного заранее в БЗ совета как варианта решения проблемы. Данный подход применен и в главе 3.

Аналогичным образом на основе приведенных моделей и алгоритмов с учетом особенностей БП и специфики рисков могут строиться системы мониторинга и в других условиях управления процессами, например для управления БП производственного предприятия и др.

Таким образом, в главе 1 диссертации представлена в обобщенном виде, а в главах 2 – 6 раскрыта по реализуемым задачам методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий, которая включает следующие этапы.

1. Анализ ПрО и формирование требований к автоматизированной системе управления БП, структурно-функциональное моделирование БП предприятия и реализация тактического реинжиниринга бизнес-процессов в случае их несоответствия определенным руководством целям и требованиям – развита методология системного анализа и проектирования для обеспечения процессов тактического реинжиниринга предприятий в части инструментальной поддержки аналитика.

2. Анализ полученных моделей БП предприятия, расчет ресурсов для их выполнения и формирование регламента выполнения работ – разработано информационное обеспечение процесса управления разного рода ресурсами макропредприятий.

3. Имитационное моделирование БП для проверки варианта организации БП предприятия – разработано информационное обеспечение для имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия с целью их последующего совершенствования.

4. Реализация мультиагентного приложения для автоматизации выполнения БП – разработана технологическая инфраструктура для управления бизнес-процессами предприятий на основе мультиагентного подхода к созданию информационных систем и онтологического подхода к представлению знаний.

5. Исполнение и мониторинг БП предприятия – разработано информационно-алгоритмическое обеспечение для реализации мониторинга исполнения бизнес-процесса транспортировки газа газотранспортного предприятия.

В главе 7 представлены практические результаты диссертации в части описания разработанных инструментальных средств для реализации методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий.

В частности, в рамках реализации информационного обеспечения для имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия разработано средство для хранения *CPN*-структуры на основе *XML*, которое, по сути, является основанным на *XML* самостоятельным языком описания раскрашенных сетей Петри, обогащенных временным механизмом, получившим название *XCPNL* – *XML Color Petri Net Language*. Язык представляет собой *XML*-схему, в которой описаны все разрешенные теги языка *XCPNL*. Он разработан, поскольку среди известных языков описания сетей Петри ни один не является общепризнанным стандартом и не отвечает полностью определенным в работе требованиям. Описание сети формируется согласно правилам *XML* и схеме языка *XCPNL* и хранится в файлах с разрешением

XML. В главе представлено описание разработанного инструментального средства ИМ БП на аппарате *CPN*, работающего с языком *XCPNL*, в котором реализованы алгоритмы ИМ.

Продемонстрировано применение метода и инструментальных средств на примере БП предприятия ОАО «Завод «Автоприбор»», выполнен анализ эффективности предложенного метода на основе снижения трудоемкости при создании моделей для ИМ БП. Полученные результаты позволяют утверждать, что предложенный метод ИМ БП эффективен и может быть использован на предприятиях для повышения производительности труда аналитиков. Например, установлено, что число функциональных блоков и связей между ними при переходе от *BPMN*- к *CPN*-моделям увеличивается в среднем в 5 – 6 раз. Так, при общем количестве функциональных блоков в описании процесса в *BPMN*-нотации $N = 100$ трудозатраты на *CPN*-моделирование без использования разработанного инструментария оказались выше примерно в 9 раз.

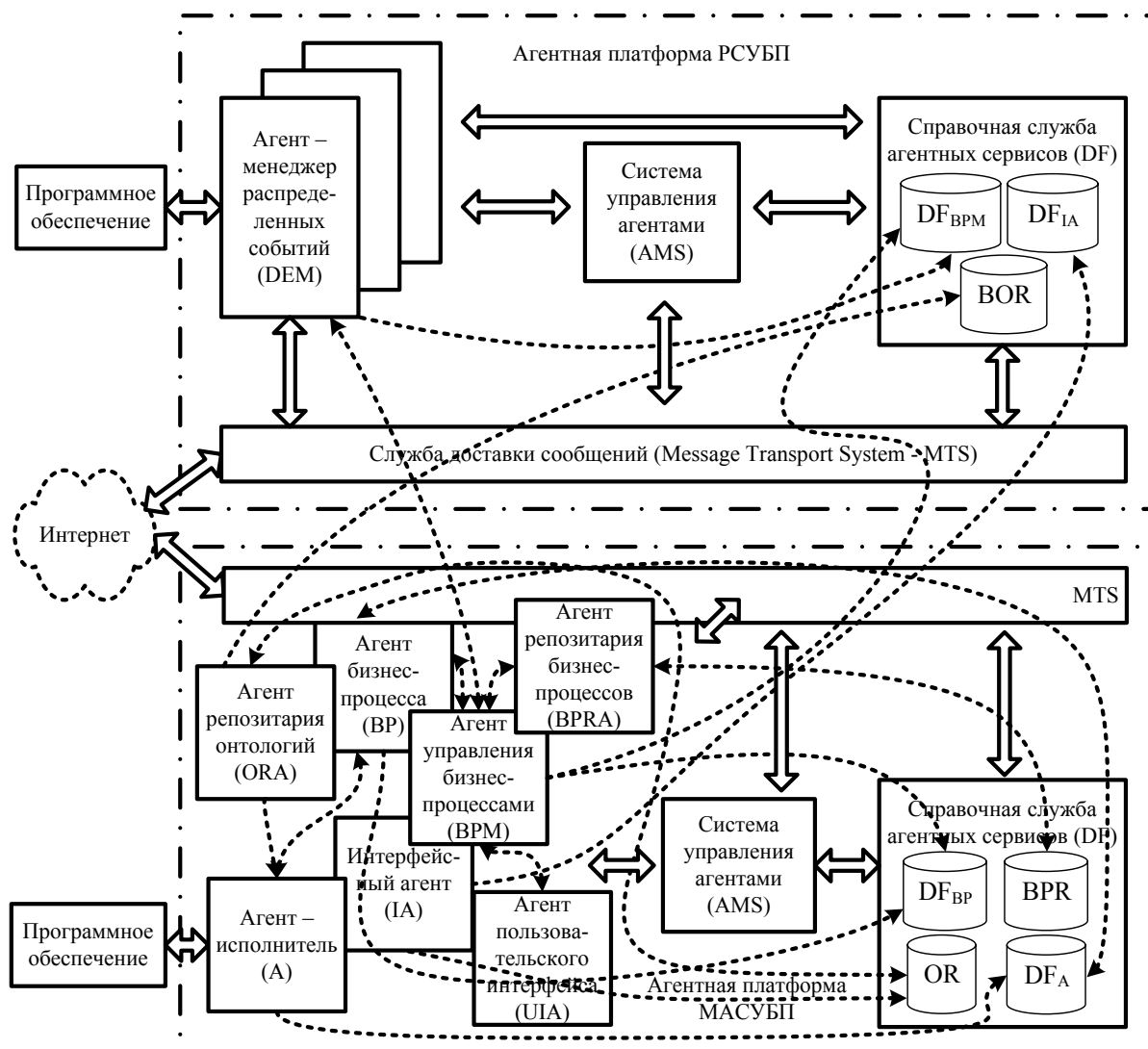
Выявлено, что общие трудозатраты при описании БП на аппарате сетей Петри в отличие от трудозатрат на *BPMN*-моделирование растут экспоненциально. На основании полученных результатов показано, что сложность описания *CPN*-модели БП по сравнению со сложностью *BPMN*-описания увеличивается прямо пропорционально в среднем в 5 – 6 раз даже без учета возрастающей трудоемкости моделирования, при этом повышается сложность восприятия модели бизнес-аналитиком.

Таким образом, применение данного метода позволит менеджерам обеспечить более быстрое реагирование на изменение ситуации благодаря обеспечению возможности корректировки (тактического реинжиниринга) БП в более короткие сроки.

Кроме того, в главе представлена архитектура программной системы для автоматизации функций макропредприятий. На уровне инфраструктуры система представляет собой МАП, которая обеспечивает возможность автономным агентам, обладающим знаниями о предметных областях и способным осуществлять логический вывод на основе имеющихся у них фактов, взаимодействовать друг с другом, решая поставленные перед ними задачи. МАП разработана согласно спецификации международной организации *FIPA* (*Foundation for Intelligent Physical Agents*). На рис. 11 показана структурная схема разработанной обобщенной централизованной архитектуры РСУБП, в которой предусмотрена возможность управления БП организаций-партнеров в составе макропредприятия.

За передачу сообщений от одной МАСУБП к другим отвечает *DEM*-агент, использующий справочную службу DF_{BPM} для поиска *BPM*-агентов, которые управляют выполнением экземпляров бизнес-процессов. Базовые онтологии хранятся в репозитории базовых онтологий *BOR*, причем любая онтология, используемая в МАСУБП, должна расширять одну из базовых онтологий. *IA*-агенты задействованы во внешних БП взаимодействующих предприятий (поставщик – покупатель). Экземпляры исполняемых БП находятся в различных потоках управления, вследствие чего для каждого из них *BPM*-агентом создается *BP*-агент, управляющий выполнением действий агентами-исполнителями – *A*-агентами. Каждый *A*-агент выполняет действия в соответствии с онтологией из репозитория онтологий. Интеграция МАС и СУБП осуществляется за счет использования *A*-агентов с тремя типами интерфейса: пользовательского; программного и интерфейса к данным.

Для разработки моделей БП и онтологий ПрО на языке *C#* платформы *Microsoft .NET* реализован инструментарий *MAS IDIMS Creator* (*Multiagent Systems For Integrated Distributed Information Systems Creator*), позволяющий строить *UML*-диаграммы и реализовывать алгоритмы их автоматического преобразования в Пролог-код и *XPDL*-описания БП.



(UIA – User Interface Agent; BPR – Business Process Repository; BP – Business Process; BPM – Business Process Manager; A – Agents; OR – Ontology Repository; BOR – Base Ontology Repository; DF_{BP} – DF (Directory Facilitator) for Business Processes; DF_A – DF for Actors; BPRA – Business Process Repository Agent; ORA – Ontology Repository Agent; DEM – Distributed Event Manager)

Рис. 11. Структурная схема PCYБП

В качестве объекта применения метода рассмотрен БП «Закупки» ОАО «Завод «Автоприбор»» (г. Владимир), при этом показана эффективность внедрения системы на этом предприятии с помощью оценки *TCO* (*Total Cost of Ownership* – совокупной стоимости владения (ССВ)) за счет снижения затрат на ее поддержку. ССВ MACYБП, в которой автоматизирован этот процесс, за пять лет эксплуатации оказалась примерно в 1,4 раза ниже по сравнению с ССВ стандартной *BPM*-системой. Следует отметить, что разница значений этого показателя только увеличивается по мере эксплуатации систем с течением времени.

В заключении представлены основные научные результаты диссертации.

В приложениях приведены модели, алгоритмы и иллюстрации, которые не вошли в основной текст диссертации, а также копии документов, подтверждающих апробацию полученных в ходе ее выполнения результатов.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе получены следующие основные научные результаты, связанные с разработкой методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий.

1. Разработан метод тактического реинжиниринга бизнес-процессов предприятия с применением развитых средств анализа и разработанных алгоритмов модификации *IDEF0*-моделей, который позволяет сократить затраты на реинжиниринг бизнеса, повысить управляемость организации и снизить уровень риска в решениях, принимаемых руководством при реорганизации за счет инструментальной информационной поддержки.

2. Создан метод планирования потребности бизнес-процессов предприятия в ресурсах, в основу которого положены формальные теоретико-множественные модели и алгоритмы, разработанные в целях обеспечения как технологических, так и БП основной деятельности предприятия разного рода ресурсами и организации выполнения работ, направленных на формирование необходимых для этого ресурсов; также предложен подход к обнаружению и обработке нештатных ситуаций в этих условиях на основе прецедентной модели представления знаний.

3. В целях обеспечения выбора руководством предприятия приемлемых сценариев выполнения БП разработан метод построения их имитационных моделей на основе аппарата раскрашенных сетей Петри с применением расширений в части реализации временного механизма и элементов стохастики; метод включает функциональное моделирование конкретного бизнес-процесса в графической нотации, трансляцию модели в раскрашенную сеть Петри на основе стандартных блоков, выполнение имитационного моделирования полученной модели и обработку его результатов.

4. Предложен метод описания онтологий предметной области для реализации БП предприятий-партнеров в составе макропредприятия на основе мультиагентного подхода и управления ими в комплексе распределенных систем управления БП, который включает моделирование БП, понятий и классов конкретной онтологии ПрО с применением различных графических нотаций, а также формирование текстовых описаний ее знаний, методов и БП.

5. Определена иерархическая архитектура *FIPA*-совместимой мультиагентной платформы для управления бизнес-процессами предприятий-партнеров, которая обобщенно включает в себя уровни для описания ПрО, управления БП на основе МАС и интеграции предприятий на основе РСУБП; описаны основные информационные потоки между ее компонентами и построен прототип мультиагентной системы для реализации бизнес-процессов предприятия на основе онтологий предметной области.

6. Предложено информационно-алгоритмическое обеспечение реализации мониторинга исполнения БП транспортировки газа газотранспортного предприятия, которое включает разработанные алгоритмы обнаружения нештатных ситуаций на линейной части магистрального газопровода на основе усовершенствованной с учетом временного фактора формальной теоретико-множественной модели магистрального газопровода, метод определения места разрыва магистрального газопровода и алгоритмы формирования сценариев локализации нештатной ситуации с использованием прецедентной модели представления знаний.

7. Разработанная методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий внедрена на промышленном предприятии ОАО «Завод «Автоприбор»» (г. Владимир).

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Книги

1. Александров, Д. В. *CASE-технологии* : учеб. пособие / Д. В. Александров, И. В. Грачев, Д. Н. Фадин ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 64 с. – ISBN 5-89368-688-8.
2. Александров, Д. В. *Консалтинг при информатизации организаций* : учеб. пособие / Д. В. Александров, Д. Н. Фадин ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 72 с. – ISBN 5-89368-687-X.
3. *Методы и модели информационного менеджмента* : учеб. пособие / Д. В. Александров [и др.] ; под ред. А. В. Кострова. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 336 с. – ISBN 978-5-279-03-06-5.
4. *Основы автоматизации организационного проектирования* : монография / Александров Д. В. [и др.] ; под общ. ред. А. В. Кострова. – Владимир : Демиург, 2002. – 111 с. – ISBN 5-9500036-1-7.
5. Александров, Д. В. *Распределенные информационные системы, основанные на знаниях* : практикум / Д. В. Александров, Н. Н. Жебрун, И. В. Грачев ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 89 с. – ISBN 978-5-89368-874-0.
6. Александров, Д. В. *Распределенные информационные системы. CASE-технологии реинжиниринга* : учеб. пособие / Д. В. Александров, А. В. Костров ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2001. – 136 с. – ISBN 5-89368-241-6.
7. Александров, Д. В. *Системное моделирование бизнеса* : учеб. пособие / Д. В. Александров ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Ред.-издат. комплекс Владим. гос. ун-та, 2004. – 300 с. – ISBN 5-89368-501-6.
8. Александров, Д. В. *Уроки информационного менеджмента* : практикум / А. В. Костров, Д. В. Александров. – М. : Финансы и статистика, 2005. – 304 с. – ISBN 5-279-02573-9.

Статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК

9. Александров, Д.В. Информационная поддержка диспетчера при обнаружении нештатных ситуаций на магистральном газопроводе / Д.В. Александров, Д.Е. Фридрих, Р.Р. Кантюков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 10. – С. 145 – 148.
10. Александров, Д.В. Информационная поддержка диспетчера при управлении магистральным газопроводом / Д.В. Александров, И.Р. Бухвалов // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4.1(30). – С. 128 – 133.
11. Александров, Д.В. Информационная поддержка природовосстановительных работ при добыче и транспортировке углеводородов / Д.В. Александров, В.К. Загвоздкин // Наукоемкие технологии. – 2008. – Т. 9. – № 6. – С. 43 – 49.
12. Александров, Д.В. Информационная поддержка управления газотранспортной системой / Д.В. Александров, И.Р. Бухвалов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2007. – № 12. – С. 82 – 87.
13. Александров, Д.В. Информационное обеспечение поддержки испытаний / Д.В. Александров, Н.Н. Давыдов // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Т. 6. – № 3. – С. 78 – 81.
14. Александров, Д.В. Интеллектуализация управления бизнес-процессами предприятий, основанная на знаниях / Д.В. Александров, Н.Н. Жебрун // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2008. – № 9. – С. 74 – 82.
15. Александров, Д.В. Подход к реализации системы поддержки принятия решений диспетчером газотранспортной системы во внештатных ситуациях / Д.В. Александров, М.А. Гусев // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2008. – № 5. – С. 66 – 75.

16. Александров, Д.В. Подход к созданию информационных систем бизнес-окружения как инструмента управления высшего менеджмента, основанный на знаниях / Д.В. Александров, М. Штессляйн // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Т. 6. – № 3. – С. 62 – 66.

17. Александров, Д.В. Программно-аппаратный комплекс моделирования работы межсистемных переключателей магистральных газопроводов / Д.В. Александров, И.Р. Бухвалов, С.И. Ермолаев // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 3.1(33). – С. 112 – 114.

18. Александров, Д.В. Процедура планирования процесса изготовления сложного производственного заказа / Д.В. Александров, А.В. Костров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 73 – 76.

19. Александров, Д.В. Формализация и развитие методологии *IDEF0* для системного моделирования организаций / Д.В. Александров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 76 – 81.

Основные публикации в региональных изданиях

20. Александров, Д.В. Архитектура многоагентной платформы для интеграции распределенных систем управления бизнес-процессами предприятий / Д.В. Александров, Н.Н. Жебрун // Системы и методы обработки и анализа информации : сб. науч. ст. / под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – С. 244 – 249. – ISBN 5-93517-310-7.

21. Александров, Д.В. Бюджетное планирование на основе системы взаимосвязанных показателей / Д.В. Александров // Экономика и экономическое образование : межвуз. сб. науч. ст. Ч. 1. Современные проблемы экономики / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2005. – С. 7 – 12.

22. Внедрение системы менеджмента качества университета с использованием программных средств *ARIS* / В.В. Морозов, В.А. Немонтов, Е.Р. Хорошева, Д.В. Александров // Смешанное и корпоративное обучение: проблемы в сфере подготовки выпускников вузов для реального сектора экономики (СКО-2009) : тр. III МНПК. – М. : РИЦ МГТУ им. М.А. Шолохова, 2009. – С. 250 – 253.

23. Александров, Д.В. Информационная система и технологии обеспечения эффективности испытаний / Д.В. Александров, А.В. Костров // Радиационная стойкость электронных систем – Стойкость-2002 : сб. науч. ст. / МИФИ. – М., 2004. – С. 133 – 134.

24. Александров, Д.В. Математическая модель линейной части магистрального газопровода / Д.В. Александров, И.Р. Бухвалов, М.А. Гусев // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-20 : сб. тр. XX Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 11 / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Ярославль : Изд-во Яросл. гос. техн. ун-та, 2007. – С. 43 – 47.

25. Александров, Д.В. Методика реинжиниринга организаций на основе *SADT*-моделей / Д.В. Александров, А.В. Костров, К.С. Реймов // Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий : сб. науч. тр. – М. : МЭСИ, 2001. – С. 103 – 107. – ISBN 5-7764-0226-3.

26. Александров, Д.В. Методика трансляции графического представления бизнес-процесса предприятия в раскрашенную сеть Петри / Д.В. Александров, Д.Н. Фадин // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. – Тамбов, 2007. – Т. 13, № 2А. – С. 439 – 444.

27. Александров, Д.В. Методология организации сетевых предприятий на основе интеграции распределенных систем управления / Д.В. Александров // Автоматизированная подготовка машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы МНТК. В 2 т. Т. 2 / Вологод. гос. техн. ун-т. – Вологда, 2005. – С. 77 – 80. – ISBN 5-87851-279-3.

28. Александров, Д.В. Онтологический подход к созданию системы управления бизнес-процессами предприятия, основанной на знаниях / Д.В. Александров, Н.Н. Жебрун // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. – Тамбов, 2007. – Т. 13, № 1А. – С. 26 – 32.
29. Александров, Д.В. Организация сетевых предприятий на основе интеграции распределенных систем управления / Д.В. Александров, А.В. Костров // Вестник Костромского гос. ун-та. Серия: Технические и естественные науки «Системный анализ. Теория и практика». – 2006. – № 1. – С. 26 – 31.
30. Александров, Д.В. Применение *SADT* для создания моделей АСУП / Д.В. Александров // Национальный симп. с междунар. участием "Аэрокосмические приборные технологии" : тез. докл. / СПГУАП. – СПб., 1999. – С. 31 – 33.
31. Александров, Д.В. Разработка прототипа экспертной системы на основе прецедентной модели представления знаний / Д.В. Александров, Р.Н. Выгорчук // Методы и устройства передачи и обработки информации : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3 / под ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – СПб. : Гидрометеиздат, 2003. – С. 256 – 267. – ISBN 5-286-01475-5.
32. Александров, Д.В. Совершенствование модели знаний как основы системы поддержки принятия решений диспетчером во внештатных ситуациях / Д.В. Александров, М.А. Гусев // Алгоритмы, методы и системы обработки данных : сб. науч. ст. – М. : ГНЦ РФ «ВНИИ геосистем», 2007. – С. 4 – 8.
33. Пат. 2249228 Российская Федерация, МПК⁷ G01 R31/28. Способ разбраковки партии интегральных запоминающих устройств по радиационной стойкости / Давыдов Н.Н., Лысихин Д.А., Костров А.В., Александров Д.В., Зинченко В.Ф., Малинин В.Г. ; заявитель и патентообладатель Владим. гос. ун-т. – № 2003134998/28 ; заявл. 02.12.2003 ; опубл. 27.03.2005, Бюл. № 9. – 9 с.
34. Александров, Д.В. Формальная модель системы бюджетов организации / Д.В. Александров, Е.А. Абрамова // Современные проблемы экономики и новые технологии исследований : межвуз. сб. науч. тр. – Владимир, 2006. – С. 9 – 13. – ISBN 5-93350-126-3.
35. Александров, Д.В. Экспертная система анализа работы магистрального газопровода, выявления нештатных ситуаций и поддержки решений диспетчером / Д.В. Александров, А.В. Костров, И.Р. Бухвалов // Вестник Костромского гос. ун-та. Серия: Технические и естественные науки «Системный анализ. Теория и практика». – 2006. – № 2. – С. 33 – 38.
36. Alexandrov, D.V. Business process modeling and reengineering / D.V. Alexandrov // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. XVI Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 7. Секция 7 / под общ. ред. В.С. Балакирева / РГАСХМ ГОУ. – Ростов н/Д, 2003. – С. 4 – 6. – ISBN 5-89071-091-5.
37. Aleksandrov, D.V. Intellectual package for gas transmission monitoring and dispatcher decision making support in extraordinary situations at gas trunk pipelines / D.V. Aleksandrov, M.A. Gusev, A.V. Kokorin, G.V. Proskurina, I.R. Bukhvalov. – Abstracts of papers presented at the IV International Conference DISCOM-2009. – М. : VNIIGAZ, 2009. – P. 56.

Общее число публикаций по теме диссертации – 82.

Подписано в печать 14.07.09.

Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 1,86. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета

600000, Владимир, ул. Горького, 87.