

На правах рукописи

УДК 004.896

Ван Кай

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕИНЖИНИРИНГА
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Новосибирск – 2013

Работа выполнена на кафедре информационных технологий ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (УрФУ).

Научный руководитель: **Аксенов Константин Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Официальные оппоненты: **Мархасин Александр Беньяминович**, доктор технических наук, профессор, зав.кафедрой телекоммуникационных сетей и вычислительных средств ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики"

Филиппович Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры систем обработки информации и управления ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана»

Ведущая организация: **ФГБУН «Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук»**

Защита состоится «30» декабря 2013 года в 11 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 219.005.03 при ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики" по адресу: 630102, Новосибирск, ул. Кирова, д.86, ауд. 625.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» по адресу: 630102, Новосибирск 102, ул. Кирова, 86.

Автореферат разослан « » ноября 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 219.005.03,
к.т.н., доцент

И.А. Бунцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные методы анализа и динамического моделирования бизнес-процессов (БП) часто сталкиваются с объектами, в которых количество элементов составляет сотни, а то и тысячи. Производственные и бизнес-процессы, организационно-технические системы (ОТС) относятся к процессам преобразования ресурсов. Для моделирования таких объектов требуются все больше вычислительных ресурсов и машинного времени. Спецификой БП и ОТС являются процессы принятия решений. Для формализации моделей лиц, принимающих решения (ЛПР), и сценариев принятия решений в данной работе предлагается использовать аппарат экспертных и мультиагентных систем. В связи с этим является актуальным выявление и использование новых принципов построения, анализа и изменения мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов (МППР) с помощью реинжиниринга бизнес-процесса (РБП) на основе анализа узких мест и процедур сверток/разверток. *Свертка* – процедура уменьшения размерности модели динамического процесса, позволяющая сократить время эксперимента и снизить затраты вычислительных ресурсов за счет выявления и сжатия неиспользуемых или неэффективно используемых элементов (цепочек) процесса. *Развертка* – процедура, увеличивающая размерность модели за счет добавления новых параллельных элементов (цепочек) процесса, решающих задачу повышения пропускной способности системы и эффективности ее функционирования.

Согласно исследованию Конновой Е.П. до недавнего времени подходы к реинжинирингу БП описывали изменения на интуитивном, слабоформализуемом уровне, однако в последние годы появился ряд формальных методик, которые основаны на использовании отдельных математических теорий и направлены на решение фиксированного класса задач (работы Калянова Г.Н. и Тельнова Ю.Ф.). Однако задачи анализа узких мест и структурного синтеза мультиагентной динамической модели бизнес-процесса на данный момент не решены. Распространенные средства моделирования БП не содержат

инструментов реинжиниринга и ориентированы на документирование моделей. Актуальность данной задачи обусловлена также разработкой проблемно-ориентированных программных средств реинжиниринга на основе ситуационных (семиотических) моделей и вовлечением – специалистов-предметников, обладающих знаниями и опытом в конкретной предметной области, но не обладающих навыками программирования.

В связи с этим актуальным является исследование существующих методов анализа и свертки/развертки динамических моделей мультиагентных процессов преобразования ресурсов, разработка метода реинжиниринга модели, процедур свертки/развертки, создание на их основе новой информационной технологии принятия решений, которая должна обеспечить возможность разработчикам самостоятельно применять процедуры свертки/развертки к модели бизнес-процесса с целью выработки эффективных решений и их применения на объекте управления. В становление метода анализа узких мест и реинжиниринга бизнес-процессов существенный вклад внесли работы Александрова Д.В., Борщёва А.В., Вавилова А.А., Вендрова А.М., Виттиха В.А., Городецкого В.И., Гольдштейна С.Л., Доросинского Л.Г., Емельянова С.В., Исидзуки М., Калянова Г.Н., Карпова Ю.Г., Карсаева О.В., Клебанова Б.И., Клейнрока Л., Клыкова Ю.И., Конновой Е.П., Мархасина А.Б., Ойхмана Е.Г., Попова Э.В., Поспелова Д.А., Прицкера А., Рубцова С.В., Скобелева П.О., Советова Б.Я., Тельнова Ю.Ф., Томашевского В., Форрестера Дж., Филипповича А.Ю., Хаммера М., Чампи Д., Чистова В.П., Швецова А.Н., Шеера А.В., Уэно Х., Яковлева С.А., Jennings N.R., Minsky M., Wooldridge M.J..

Объект исследования. Мультиагентные процессы преобразования ресурсов (бизнес-процессы, процессы строительства, управление проектами).

Предмет исследования. Методы и программные средства анализа и имитационного моделирования и принятия решений для реинжиниринга БП. Алгоритмы анализа узких мест и свертки/развертки ситуационных мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов.

Цели и задачи исследования. Основной целью диссертационной работы является разработка метода РБП, ориентированного на решение задач анализа узких мест, структурных и параметрических изменений мультиагентной динамической модели процесса, программная реализация и внедрение на предприятиях новой информационной технологии реинжиниринга и динамического моделирования бизнес-процессов, обеспечивающей высокоуровневый интерфейс при разработке моделей, решении задач, проведении экспериментов и анализе их результатов, а также ориентированной на непрограммирующего пользователя. Для реализации основной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

1. Анализ систем динамического моделирования бизнес-процессов.
2. Анализ существующих методов реинжиниринга бизнес-процесса.
3. Разработка нового метода анализа узких мест и реинжиниринга модели МППР (процедур свертки/развертки).
4. Анализ сетевых методов планирования и сравнение с новым.
5. Разработка и программная реализация новой информационной технологии реинжиниринга динамической модели МППР.
6. Применение новой информационной технологии на предприятии.

Методы исследования: теория систем массового обслуживания, операционный анализ вероятностных сетей, теория больших систем, методы системного анализа и синтеза, методы имитационного и мультиагентного моделирования, теория и методы принятия решений, методы сетевого планирования.

Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Метод анализа узких мест и реинжиниринга динамической мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов, который отличается от существующих методов следующим:

- выбором динамической мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов для формализации бизнес-процессов;

- применением операционного анализа вероятностных сетей для анализа узких мест мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов и проведения реинжиниринга (структурных и параметрических изменений) модели на основе процедур свертки/развертки. При диагностике узкого места основным критерием выступает коэффициент использования (загрузки) узла. К узлам модели МППР относятся следующие элементы: операции, правила агентов с продукционной базой знаний, действия реактивного агента;

- решением задачи уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР, путем построения модели сети массового обслуживания (СМО) на основе результатов экспериментов модели МППР с целью быстрого нахождения среднего количества работающих устройств (средств);

- применением принципов построения модели МППР аналогичным методом критического пути (СРМ), позволяющим на основе использования системы приоритетов реализовать выталкивающую стратегию при моделировании БП (что характерно для объектов строительства, проектных организаций, предприятий с серийным производством и малым запасом времени на выполнение заказов). Использование выталкивающей стратегии и трёх типов приоритетов на этапе построения имитационной модели позволяет получать результаты для анализа узких мест, возникающих на средствах, аналогичные применению метода СРМ;

- применением фреймово-семантической модели представления знаний на основе фрейм-концептов и концептуальных графов Швецова А.Н. для формирования базы знаний о предметной области реинжиниринга;

- моделью интеллектуального агента реинжиниринга, состоящей из концептуальной модели (включающей МППР и результаты экспериментов) и диаграмм поиска решения, реализующих метод реинжиниринга, состоящий из следующих этапов: 1) анализ узких мест; 2) свертка/развертка модели.

2. Компьютерная технология создания графических мультиагентных моделей бизнес-процессов и поддержки принятия решений задачи анализа узких мест и реинжиниринга, отличающейся от существующих:

- организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с системой поддержки принятия решений (вводе, корректировке данных, создании моделей и решении задач);
- визуальными средствами описания иерархических мультиагентных ситуационных процессов преобразования ресурсов;
- использованием объектного языка формализации предметной области, построенного на основе языка UML (Unified Modeling Language);
- наличием программного, интеллектуального агента реинжиниринга;
- визуальными средствами имитационного моделирования процессов и анализа результатов имитационного эксперимента.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается следующим: привлечением формальных логических теорий для доказательства результатов исследований; результатами вычислительных экспериментов демонстрирующих согласованность результатов моделей МППР и СМО с точки зрения решения задачи определения среднего количества устройств (средств модели МППР); результатами расчетов построения сетевого графа проекции имитационной модели МППР, построенной на основе выталкивающей стратегии и демонстрирующей эффективность аналогичную методу СРМ; и применением новой компьютерной технологии реинжиниринга на строительном предприятии.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Выполнен анализ существующих методов реинжиниринга и средств моделирования бизнес-процессов с точки зрения возможности анализа узких мест мультиагентного процесса, реинжиниринга и применения процедур свертки/развертки динамической модели.
2. Предложен новый метод принятия решений реинжиниринга модели МППР и алгоритмов анализа узких мест, свертки/развертки модели, построенный в результате интеграции мультиагентного ИМ, операционного анализа вероятностных сетей, метода критического пути.

3. Произведено расширение модели МППР с использованием метода и алгоритмов реинжиниринга.
4. Предложен новый алгоритм анализа и синтеза (реинжиниринга) мультиагентной модели и технические решения, которые легли в основу разработки и создания новой информационной технологии.

Научная значимость исследований заключается в развитии теории и методов принятия решений в области бизнес-процессов, построения интеллектуальных СППР, компьютерного моделирования, интегрированных экспертных систем с использованием гибридных моделей.

Практическая ценность исследований состоит в том, что разработанный метод реинжиниринга модели МППР и информационная технология позволяют:

- реализовать (в диалоговом режиме) процесс формализации модели БП;
- решать задачу реинжиниринга имитационной мультиагентной модели;
- проводить имитационные эксперименты с их последующим анализом;
- вырабатывать эффективные управленческие решения на предприятиях.

Личный вклад автора состоит в:

- анализе систем динамического моделирования бизнес-процессов;
- анализе существующих методов реинжиниринга БП и методов сетевого планирования;
- разработке метода реинжиниринга мультиагентной модели БП;
- разработке требований к системе имитационного моделирования БП и анализа узких мест мультиагентной модели;
- разработке информационного, алгоритмического и программного обеспечения анализа и синтеза (реинжиниринга) мультиагентной модели для системы динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS.

Реализация работы. Результаты работы внедрены в CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING XIANGFU.LTD), на кафедре Информационных технологий (ИТ) ФГАОУ ВПО «УрФУ».

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях «Связь-

Пром» (2009-2011, Екатеринбург), отчетных конференция молодых ученых УГТУ-УПИ (2007-2008, Екатеринбург), Chinese Control and Decision Conference (2009, 2010, 2011), всероссийских научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2011 (Санкт-Петербург), ИММОД 2013 (Казань)), Winter Simulation Conference (Берлин, 2012), научных семинарах каф. ИТ УрФУ (Екатеринбург, 2011-2013) и СибГУТИ (Новосибирск 2012-2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ из них 6 в журналах рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем основной части работы составляет 207 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 88 рисунков и 13 таблиц. Список литературы включает 153 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулирована цель работы, выделена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе обоснована необходимость автоматизации процессов управления и моделирования процессов предприятий, проведено описание задачи реинжиниринга бизнес-процесса. Рассматривается понятие БП, показано место имитационного моделирования (ИМ) в контуре управления предприятием, описана структура БП.

Применение на практике подходов РБП имеет следующие ограничения: 1) требования по высокой квалификации аналитика и его хорошей ориентации в предметной области; 2) отсутствие алгоритмов (правил) проведения РБП. Существующие подходы РБП в первую очередь затрагивают изменения организационной структуры, перераспределения обязанностей, повышения ответственности и мотивации сотрудников, но не дают ответа по влиянию данных изменений на деятельность предприятия и параметры БП, а также не

решают задачи анализа узких мест и реинжиниринга процесса; 3) невозможность синтеза решений РБП и проверки выработанных решений на реальном объекте управления; 4) отсутствие автоматизированных средств РБП.

В главе 1 для исследования социальных, экономических и ОТС, к которым относятся БП, предложено использовать подход процессов преобразования ресурсов. Данный подход представляет собой интеграцию методов имитационного, экспертного, ситуационного и мультиагентного моделирования. Приводится описание динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР, рис. 1), основанной на гибридной мультиагентной архитектуре InteRRap.

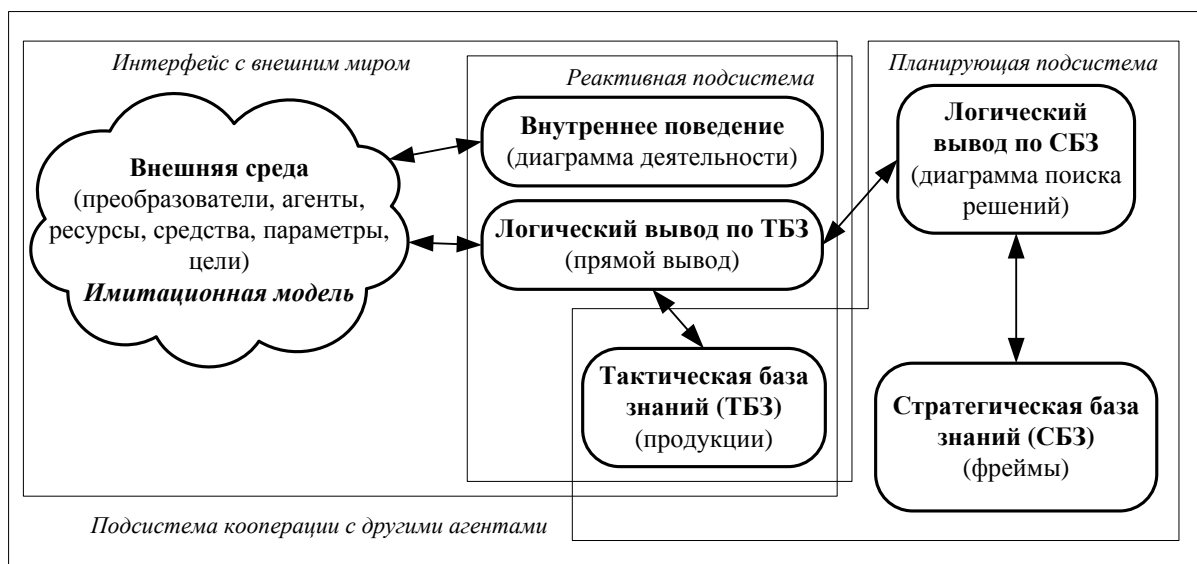


Рис. 1. Гибридная архитектура агента МППР

Множество элементов модели МППР представляет собой набор:

$$MPPR = \{ Goal, Res, Mech, Order, Op, Agent \},$$

где *Goal* – множество целей модели; *Res* – множество ресурсов; *Mech* – множество средств; *Order* – множество заявок; *Op* – множество операций модели; *Agent* – множество агентов модели, содержащих *AgentGoal* (множество целей агентов) и *AgentSolution* (база знаний).

Для решения задачи реинжиниринга динамической модели МППР в главе введены понятия процедур свертки/развертки модели. Под *сверткой* будем понимать процедуру структурного и/или параметрического синтеза модели процессов преобразования ресурсов, которая ведет к уменьшению структуры

и/или параметров модели. Процедура *развертки* модели – процедура увеличения размерности модели динамического процесса. Применение данных процедур может привести к улучшению характеристик модели БП.

Далее приводится обзор и сравнительный анализ систем имитационного моделирования (СИМ) БП (BPwin+Arena; ARIS; GPSS; Pilgrim; AnyLogic; BPsim) на соответствие следующим требованиям: 1) проектирование концептуальной модели предметной области (КМПО); 2) описание динамических процессов преобразования ресурсов: описание ресурсов, средств, преобразователей; описание целей; поддержка создания иерархической модели процесса; поддержка аппарата систем массового обслуживания (СМО) – элемент заявка (транзакт); 3) возможность построения мультиагентных моделей; 4) поддержка ИМ, экспертного, ситуационного моделирования; 5) возможность реализации процедур свертки/развертки модели (доступ к базе знаний модели; наличие средств анализа узких мест модели МППР); возможность программной реализации процедур свертки/развертки модели МППР, встроенными средствами СИМ; 6) поддержка стандарта IDEF0; 7) стоимость.

Как следует из проведенного сравнительного анализа, с точки зрения возможности реализации информационной технологии РБП (свертки/развертки модели МППР) больше всего подходят системы семейства BPsim. На основе систем Pilgrim и AnyLogic возможно построение мультиагентных СИМ БП. Функции проектирования КМПО и построения мультиагентных моделей, содержащих интеллектуальных агентов, за исключением BPsim, рассмотренные системы не поддерживают. В системе AnyLogic при создании мультиагентных моделей графических средств недостаточно, приходится использовать программный код. К достоинствам пакетов AnyLogic и Pilgrim относится использование языка высокого уровня. Ни одна из рассмотренных систем не обладает встроенными средствами анализа узких мест и свертки/развертки мультиагентной модели. Наибольшие возможности для программной реализации метода РБП модели МППР предлагает BPsim за счет поддержки технологии реализации программных помощников.

Проблема исследования и разработки моделей, методов и средств реализации процедур реинжиниринга мультиагентных ИМ в настоящее время находится в стадии развития. В настоящий момент не существует алгоритмов поиска узких мест и сверток/разверток для мультиагентных моделей БП.

Требуют дальнейшего исследования и разработки такие вопросы как:

1. Создание метода принятия решений задачи РБП модели МППР.
2. Реализация программного средства РБП, поддерживающего полный жизненный цикл разработки и отладки моделей и проведения экспериментов.

Во второй главе разработан метод принятия решений задачи анализа узких мест и реинжиниринга модели МППР (БП / ОТС). К числу основных требований, предъявляемых к данному методу, отнесены следующие:

- 1) ориентация на моделирование процессов преобразования ресурсов;
- 2) решение задачи анализа узких мест мультиагентной модели;
- 3) наличие сообществ интеллектуальных агентов, управляющих процессом;
- 4) применение ситуационного подхода;
- 5) наличие средств свертки/развертки модели МППР;
- 6) результаты анализа модели и имитационных экспериментов, а также решения о реинжиниринге должны быть понятны ЛПР (метод должен иметь подсистему объяснения и базу знаний диагностики узких мест).

В главе 2 проведена классификация агентов модели МППР. Описаны задачи анализа и синтеза модели МППР. С целью анализа модели МППР решена задача построения графа образа модели.

Решена задача представления модели МППР в виде многоканальной системы массового обслуживания. В качестве теоретической основы метода анализа узких использован операционный анализ вероятностных сетей: узкое место создается узлом, у которого коэффициент загрузки U приближается к единице; узкие места в сети определяют время пребывания в сети:

$$U_k = \frac{B_k}{T}$$

где $B_k (k = \overline{1, K})$ – общее время обслуживания требований узлом k ; T – общее время наблюдения за системой или время моделирования.

При поиске узких мест анализируются следующие параметры мультиагентной модели: 1) коэффициент использования операции U_{Op_cp} , средства U_{Mech_cp} , агента U_{Agent_cp} ; 2) среднее время заявки в очереди к операции, агенту; 3) простой операции из-за отсутствия средств P_{MechOp} , простой операции из-за отсутствия входных ресурсов P_{ResOp} .

В ходе экспериментов было установлено следующее: важно анализировать коэффициенты использования не на всем интервале моделирования, а на подинтервалах, соответствующим пикам нагрузки. Также необходимо классифицировать пики нагрузок и для каждого пика искать свои решения.

Для оценки динамики работы операции Op и агента $Agent$ также анализируется средняя очередь заявок к операции Q_{Op_cp} , и к агенту Q_{Ag_cp} . Аналогично оценке очереди проводится оценка среднего состояния ресурсов (как входных, так и выходных по отношению к определенной операции или правилу агента).

Значения выделенных выходных характеристик модели разбиваются **критическими точками** на интервалы, представленные на рис. 2, и определяемые пользователем: точки K_{Op1} – K_{Op8} для параметров выполнения операции, точки K_{Mech1} и K_{Mech2} для параметров использования средства, точки K_{Ag1} – K_{Ag3} для параметров функционирования агента.

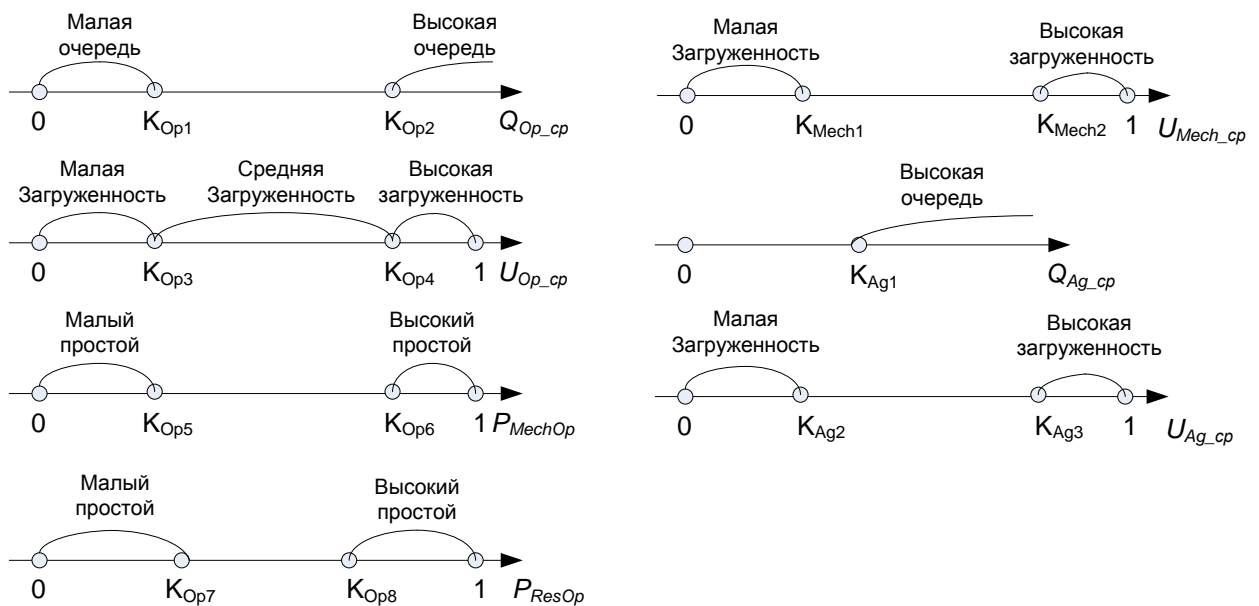


Рис. 2. Интервалы значений выходных характеристик модели.

Применение операционного анализа вероятностных сетей к мультиагентной модели позволило решить задачу уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР, путем построения модели СМО на основе результатов экспериментов модели МППР с целью быстрого решения задачи нахождения среднего количества работающих устройств (средств, согласно терминологии МППР):

$$M = k(Z + R)X_0,$$

где k – среднее количество каналов, захватываемых требованием (дополнительно введенный коэффициент для учета операций, в которых участвует несколько средств одного типа); Z – время обслуживания требования; R – время ожидания; X_0 – интенсивность входящего потока требований;

Разработан алгоритм проведения реинжиниринга модели МППР (анализа и структурного синтеза модели). Исходная модель МППР (БП / ОТС) M_0 , предназначена для анализа процессов, протекающих в системе. В результате проведения эксперимента с моделью МППР формируется статистика выполнения операций, функционирования агентов, расходования и формирования ресурсов и заявок, и использования средств в операциях. По результатам анализа экспериментов диагностируются узкие места и принимается решение о свертке/развертке модели. Критерием остановки метода реинжиниринга мультиагентной модели БП является снижение времени ожидания до допустимых значений по всем блокам модели.

Таблицы 1-2 описывают правила анализа параметров исходной модели M_0 и операторы анализа узких мест и свертки/развертки (синтеза/РБП) модели.

В главе 2 с целью построения интеллектуальной системы анализа модели бизнес-процесса разработана концептуальная модель предметной области (КМПО) МППР и задачи РБП с применением фреймовой модели представления знаний Швецова А.Н. Для реализации фреймовой машины логического вывода описание алгоритма анализа узких мест и смешанного синтеза представлено в виде графов поиска решений.

Элементарный акт реализации метода РБП будет иметь следующий вид:

$$SM \xrightarrow{Sv(i)} TM$$

где: SM – исходная модель; TM – новая (измененная) модель; $Sv(i)$ – элементарное изменение $Sv(i) \in SV$, как способ воздействия на SM .

Табл. 1. Правила синтеза модели на основе анализа параметров агента

Анализ выходных параметров модели M_0		Правила изменения модели	Операторы синтеза
Очередь заявок к агенту	Коэффициент использования агента		
$Q_{Ag_cp} \leq K_{Ag1}$ (малая очередь)	$U_{Ag_cp} = 0$ (нулевая загруз.)	Удаление правила агента	<i>DeleteAgentRule</i>
$Q_{Ag_cp} \geq K_{Agp2}$ (высокая очередь)	$U_{Ag_cp} \neq 0$ (ненулевая загруз.)	Добавление правила агента	<i>AddAgentRule</i>
$Q_{Ag_cp} \geq K_{Ag2}$ (высокая очередь)	$U_{Ag_cp} \leq M_1$ (низкая загрузка)	Нужны параметрические изменения, связанные с увеличением количества входных ресурсов, средств, и ограничений по выходным ресурсам (увеличение ёмкости склада – максимального количества ресурсов).	<i>IncreaseRes</i>
<i>Ни одно из правил агента не было выполнено</i>		Удалить агента	<i>DeleteAgent</i>

Табл. 2. Правила синтеза модели на основе анализа параметров выполнения операции и использования средств

Анализ выходных параметров модели M_0					Правила изменения	Операторы синтеза
Очередь к операции	Коэффициент использования операции	Простой операции из-за средств	Простой операции из-за ресурсов*	Коэффициент использования средства		
$Q_{Op_cp} = 0$	$U_{Op_cp} = 0$	$P_{MechOp} = 0$	$P_{ResOp} = 0$	Не имеет значения	Удаление параллельной операции	<i>DeleteParallelOp</i>
Не имеет значения	Не имеет значения	Не имеет значения	Не имеет значения	$U_{Mech_cp} = 0$	Удаление средства из модели	<i>DeleteMechModel</i>
$0 < Q_{Op_cp} \leq K_{Op1}$ (малая очередь)	$0 < U_{Op_cp} \leq K_{Op3}$ (малая загруженность)	$0 < P_{MechOp} \leq K_{Op5}$ (малый простой)	Не имеет значения	$U_{Mech_cp} \leq K_{Mech1}$ (нулевая и малая загруженность)	Уменьшение количества средства в модели	<i>DecreaseMech</i>
				Не имеет значения	Удаление средства из операции	<i>DeleteMechOp</i>
		Не имеет значения	$0 < P_{ResOp} \leq K_{Op7}$ (малый простой)	Не имеет значения	Уменьшение начального количества ресурса в модели	<i>DecreaseRes</i>
$Q_{Op_cp} \geq K_{Op2}$ (высокая очередь)	$K_{Op3} < U_{Op_cp} < K_{Op4}$ (средняя загруженность)	$0 < P_{MechOp} \leq K_{Op5}$ (малый простой)	Не имеет значения	Не имеет значения	Добавление параллельной операции	<i>AddParallelOp</i>
	$U_{Op_cp} < K_{Op4}$ (нулевая, малая и средняя загруженность)	$K_{Op6} \leq P_{MechOp} \leq 1$ (высокий простой)	Не имеет значения	Не имеет значения	Добавление средства в операцию	<i>AddMechOp</i>
Не имеет значения	Не имеет значения	Не имеет значения	$K_{Mech2} \leq U_{Mech_cp} \leq 1$ (высокая загруз.)	Добавление параллельной цепочки операции	<i>AddParallelChainOp</i>	

* простой операции из-за ресурсов может также наблюдаться в связи с тем, что количество ресурсов на выходе близко к максимально-возможному количеству (явление «затоварки» (заполненности) склада»)

Проведено сравнение разработанного метода реинжиниринга с существующими: 1) подходом моделирования распределенных систем управления БП макропредприятий Д.В. Александрова; 2) подходом РБП на основе интеграции методов структурного анализа, экспертных систем и формальных грамматик Е.П. Конновой. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 3.

Табл. 3. Сравнение методов принятия решений задачи реинжиниринга

№ п/п	Параметр	Методология Александрова Д.В.	Методика Конновой Е.П.	Новый метод
1	Проектирование концептуальной модели предметной области	+	НЕТ	+
2	Язык описания бизнес-процессов			
2.1	- Описание ресурсов, средств, преобразователей	+	+	+
2.2	- Элемент заявка/транзакт	НЕТ	НЕТ	
2.3	- Описание целей системы	+	+	+
2.4	- Иерархическая модель процесса	+	+	+
3	Мультиагентная модель			
3.1	- Элемент АГЕНТ	НЕТ	НЕТ	+
3.2	- Модели поведения агентов	НЕТ	НЕТ	+
3.3	- База знаний агента	НЕТ	НЕТ	+
4	Имитационное моделирование	+	НЕТ	+
5	Экспертное моделирование	НЕТ	+	+
6	Ситуационный подход	НЕТ	НЕТ	+
7	Поддержка стандарта IDEF0	+	+	+
8.	Возможность реализации метода реинжиниринга			
8.1	- Анализ «узких мест» модели	НЕТ	НЕТ	+
8.2	- Средства реинжиниринга (синтеза) модели процесса	НЕТ	НЕТ	+

В главе 2 на примерах расчетов сетевых графиков определены следующие принципы построения имитационных моделей для предметных областей управления проектами и строительства:

- при построении ИМ проекта или портфеля проектов необходимо классифицировать все операции по трём типам приоритетов: 1) наивысший - для

операций критического пути; 2) средний - для операций, предшествующих операциям критического пути; 3) низший - для остальных операций;

- применение моделей субподряда позволяет снять узкие места на средствах;

- если предметная область допускает использование прерываний операций, то при построении модели у операций могут быть использованы относительный и абсолютный приоритет, иначе - у операций устанавливается запрет прерываний.

- применение "выталкивающей" стратегии при моделировании проектных работ (FIFO) и алгоритмов балансировки средств;

Данные принципы построения ИМ и требования предметной области, также хорошо согласуются с выводами Дэйвиса: «... правило упорядочения, в соответствии с которым первой выполняется работа с наименьшим резервом (или эквивалентное правило минимизации самого позднего времени начала), в среднем дает наилучший результат».

Результаты применения метода СРМ и МППР на примере цепочек параллельно-последовательных работ показаны на рис. 3.

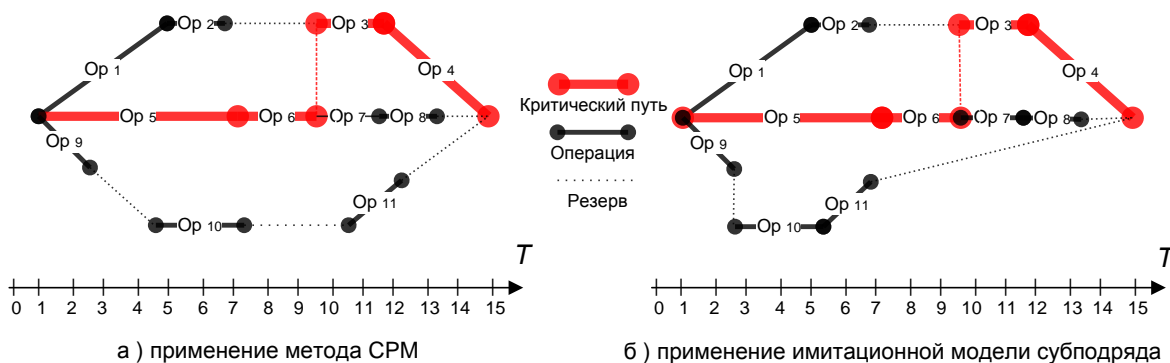


Рис. 3. Применение методов СРМ и ИМ субподряда

Важно сделать замечание о разнице понятия «ресурс» сетевой модели и модели МППР. Так, в сетевой модели под «ресурсом» понимаются трудовые ресурсы и технические средства, что терминологии МППР соответствует «средству». Однако, сетевая модель не описывает работу с «потребляемыми» ресурсами и не позволяет описать модель управления запасами ресурсов и модель поставок, что в свою очередь, оказывает существенное влияние на ход строительных работ. Новая модель МППР позволяет кроме графика

использования средств построить график потребления ресурсов для всего портфеля проекта.

Также стоит отметить существование для строительства специфических потребляемых ресурсов с очень коротким сроком полезного потребления, к которым относится бетон, обладающий высокой скоростью схватывания. С целью учета ограниченности средств (как собственных, так и субподрядных) оба подхода поддерживают решение задачи балансировки ресурсов (сглаживания функции потребления средств). Результаты сравнения методов представлены в таблице 4.

Табл. 4. Сравнение нового метода и метода критического пути

№	Критерий сравнения	СРМ	МППР
1.	Учет использования средств	+	+
2.	Учет потребления ресурсов	НЕТ	+
3.	Учет поставок ресурсов	НЕТ	+
4.	Учет времени жизни потребляемого ресурса	НЕТ	+
5.	Учет субподряда	+	+
6.	Автоматическая генерация и параметризация объектов портфеля	НЕТ	+
7.	Балансировка средств	+	+
8.	Формирование сетевого графика	+	+
9.	Формирование графика использования средств	+	+
10.	Нахождение критического пути	+	+
11.	Оценка резерва времени для каждой работы	+	+
12.	Формирование графика потребления ресурсов	НЕТ	+

Полученные теоретические результаты (метод реинжиниринга мультиагентной модели бизнес-процесса) позволяют реализовать программное обеспечение, относящееся к классу интеллектуальных систем принятия решений, которое использует операционный анализ вероятностных сетей, методы имитационного, экспертного и мультиагентного моделирования, сетевого планирования.

В третьей главе на основе вышеизложенного метода принятия решений задачи РБП и концептуальной модели МППР представлены принципы разработки и технические решения созданного программного интеллектуального агента. Создание программного агента потребовало разработки: программного, информационного, алгоритмического, математического и методического обеспечения; технологии работы с программным агентом. Агент реинжиниринга модели МППР, реализован с использованием инструментов VPsim.MSS, VPsim.SD и Microsoft SQL Server, и в комплексе с СИМ VPsim обеспечивают выполнение следующих функций: 1) создание динамической модели процесса; 2) имитационное моделирование; 3) анализ результатов экспериментов; 4) информационная поддержка принятия решений задачи реинжиниринга (анализ узких мест и свертка/развертка).

В четвертой главе с применением продуктов семейства VPsim и агента реинжиниринга БП была разработана имитационная модель строительного холдинга CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING XIANGFU.LTD). Модель строительного холдинга «Wan Bao» состоит из 128 операций, 90 ресурсов, 11 агентов (задача строительства 11 многоэтажных зданий). В данной модели разработаны и применены агенты распределения собственных и субподрядных работ.

Применение интеллектуального агента РБП и системы VPsim обеспечило проведение анализа узких мест и свертку/развертку модели мультиагентного процесса. По результатам экспериментов с моделью МППР была разработана модель СМО. Применение модели СМО и операционного анализа позволило сократить количество экспериментов с моделью МППР, направленных на определение среднего количества грузовиков.

Реинжиниринг мультиагентной модели строительного холдинга позволил уменьшить среднее время ожидания в узлах. Применение метода привело к уменьшению сроков выполнения строительства на 5,94% (или 81 день) и повышению загрузки средств по сравнению с вариантом закупки грузовиков, а

также повышению выручки на 42,4%. Эффект от внедрения состоит в увеличении выручки на 4,6 млрд. юаней.

Приложение содержит копии документов, подтверждающих внедрение результатов диссертации.

Заключение

В заключении приводятся следующие основные результаты работы:

1. Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ систем моделирования бизнес-процессов: BPwin и Arena, AnyLogic, ARIS, GPSS, Pilgrim, BPsim. Ни одна из рассмотренных систем не обладает встроенными средствами анализа узких мест и реинжиниринга мультиагентной модели БП. Наибольшие возможности для программной реализации процедур свертки/развертки модели МППР дает система BPsim за счет поддержки технологии реализации программных помощников.
2. Разработаны требования к методу принятия решений, который должен обеспечивать следующие функции: анализ узких мест; динамическое моделирование процессов преобразования ресурсов; наличие сообществ интеллектуальных агентов, управляющих процессом; применение ситуационного подхода (наличия в модели агента механизмов диагностирования ситуаций и поиска решений); наличие средств реинжиниринга модели МППР; результаты анализа модели, а также решения о реинжиниринге модели МППР должны быть понятны пользователю-ЛПР.
3. Решены задачи представления модели МППР в виде системы массового обслуживания и графа. Для решения задачи поиска узких мест мультиагентной модели БП используется операционный анализ вероятностных сетей.
4. Решена задача уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР, путем построения модели сети массового обслуживания

на основе результатов экспериментов модели МППР с целью быстрого нахождения среднего количества работающих устройств.

5. Для описания модели предметной области используется фреймовый подход Швецова А.Н. для построения КМПО. Определены основные классы КМПО задачи реинжиниринга МППР. Разработаны правила и графы поиска узких мест, реинжиниринга (свертки/развертки) модели МППР, построенные на основе диаграмм последовательностей языка UML для визуализации вывода на сети фрейм-концептов и концептуальных графов.
6. Разработан метод РБП на основе операционного анализа вероятностных сетей и мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов.
7. Проведено сравнение разработанного метода РБП с существующими: 1) подходом моделирования распределенных систем управления БП макропредприятий Александрова Д.В.; 2) подходом РБП на основе интеграции методов структурного анализа, экспертных систем и формальных грамматик Коннова Е.П.; 3) методом критического пути. Результаты сравнения показали преимущества нового метода.
8. На основе метода был разработан: интеллектуальный агент реинжиниринга бизнес-процесса (программное, информационное, алгоритмическое, методическое обеспечение).
9. Разработанная информационная технология реинжиниринга и система VPsim обладают полным перечнем функциональных возможностей, предъявляемых к проблемно-ориентированной СППР, и отличаются:
 - наличием средств визуального проектирования КМПО;
 - поддержкой функций анализа узких мест и свертки/развертки мультиагентной модели;
 - поддержкой русского языка;
 - стоимостью на порядок ниже зарубежных аналогов.
10. Разработанная информационная технология была апробирована в CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING XIANGFU.LTD) и внедрена в учебном процессе на кафедре ИТ УрФУ. Применение метода в холдинге

WANBAO привело к уменьшению сроков выполнения строительства на 5,94% (или 81 день) и повышению загрузки средств (техники) по сравнению с вариантом закупки грузовиков, а также повышению выручки на 42,4 %. Эффект от внедрения состоит в увеличении выручки на 4,6 млрд. юаней.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в журналах, входящих в список, рекомендованный ВАК:

1. Аксенов К.А., Ван Кай, Рыжкова Н.Г., Аксенова О.П. Использование мультиагентного имитационного моделирования и стохастического подхода для планирования сроков динамически формируемого портфеля проектов в строительстве // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8453> (дата обращения: 26.02.2013).
2. Аксенов К.А., Аксенова О.П., Ван Кай. Планирование портфеля проектов в строительстве на основе мультиагентного имитационного моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 6 (162) 2012. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург – С.171-174.
3. Аксенов К.А., Ван Кай, Антонова А.С., Аксенова О.П., Гончарова Н.В. Применение мультиагентной системы принятия решений в управлении строительным холдингом // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. № 5. 2012. г. Екатеринбург С.106-117.
4. Ван Кай, Аксенов К.А., Аксенова О.П., Киселёва М.В. Использование аппарата операционного анализа вероятностных сетей для определения среднего количества приборов обслуживания мультиагентной модели // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/103-6290> (дата обращения: 22.05.2012).
5. Аксёнов К.А., Ван Кай, Антонова А.С., Аксёнова О.П., Липодаева А.А. Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительным холдингом // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4 (128) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.53-61.
6. Аксенов К.А., Ван Кай Задача свертки (уменьшения размерности) имитационной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (115) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.126-133.

Статьи, доклады и тезисы:

7. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai Application of BPsim.DSS system for Decision Support in a Construction Corporation // Applied Mechanics and Materials Vols. 256-259 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.2886 . pp. 2886-2889.

8. Аксенов К.А., Ван Кай, Аксенова О.П. Разработка и применение метода анализа узких мест на основе мультиагентного имитационного моделирования // Материалы шестой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2013): сборник докладов. Казань: Академия наук РТ, 2013. Т.2. С.19-23.
9. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Wang Kai, Aksyonova O.P. Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012) December 9-12, Berlin, Germany.
10. Аксенов К.А., Аксенова О.П., Ван Кай Задачи свертки и развертки мультиагентной модели // Материалы конференции CSEDays 2012 «Теория графов и приложения» (12-15 сентября), Екатеринбург: УрФУ, 2012. С.4-16.
11. К.А. Аксенов, Ван Кай, А.С. Антонова, О.П. Аксенова, А.А. Липодаева, Е.Ф. Смолий Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительством // Материалы пятой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2011): сборник докладов. Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2011. Т. 2. С. 15-19.
12. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai. Efficient decision support for control and management processes of industrial enterprises with BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2011), 23-25 May 2011, Mianyang, China, Pages 261-265.
13. K. Aksyonov, E. Bykov, E. Smoliy, E. Sufrygina, O. Aksyonova and Wang Kai Development and Application of Decision Support System BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2010 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2010), 26-28 May 2010, Xuzhou, China, Pages 1207-1212.
14. K. Aksyonov, E. Bykov, Wang Kai, E. Smoliy and O. Aksyonova Multi-Agent Processes Simulation with BPsim.MAS — An Easy Way to Success // Proceedings of the IEEE 2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), 17-19 June 2009, Guilin, China, Pages 5661-5666.
15. Ван Кай Применение систем поддержки принятия решений и моделирования бизнес-процессами // Международная научно-практическая конференция «Связь-Пром 2010». Екатеринбург. С.160-162.
16. Ван Кай, Аксенов К.А. Развитие системы поддержки принятия решений в Китае // XIV отчетная конференция молодых ученых УГТУ-УПИ. - Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2008. Ч.1. – С.202-204.

Подписано в печать ____ 2013 г. Формат 60x84 1/16

Бумага типографская. Тираж 100экз. Заказ № _____.

РИЗОГРАФИЯ НИЧ

620002 г.Екатеринбург, Мира-19.