

На правах рукописи

КОЛОМИЕЦ

Инна Ивановна

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОВЕРКИ АДЕКВАТНОСТИ
АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Тюмень – 2009

Работа выполнена на кафедре информационных систем Института математики и компьютерных наук ГОУ ВПО Тюменский государственный университет

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Ивашко Александр Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Инютин Сергей Арнольдович
кандидат физико-математических наук,
доцент
Хохлов Алексей Григорьевич

Ведущая организация: ГОУ ВПО Уральский государственный
экономический университет,
г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 29 мая 2009 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.274.14 при Тюменском государственном университете по адресу 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15А, ауд. 410.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государственного университета.

Автореферат разослан «___» апреля 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н.Н. Бутакова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Любая организация является сложной, многогранной системой, состоящей из огромного количества бизнес-процессов. Можно выделить следующие области знаний, в которых анализу бизнес-процессов уделяется большое внимание: специфицирование бизнес-процессов при аттестации предприятия по ИСО 9000, улучшение бизнес-процесса путем его изменения или коренной перестройки, разработка информационных систем. Как правило, результатом анализа является модель бизнес-процесса. В тоже время, во многих работах под анализом бизнес-процесса, понимается оценка характеристик построенных математических и/или инфологических моделей.

В работах С.В. Маклакова, А.-В. Шеера, U. Wahli рассматривается имитационное моделирование бизнес-процессов для оценки эффективности реальной деятельности предприятия. Работы авторов Г.Н. Калянова, С. Ковалева, R. Cooper, R. Kaplan описывают применение методов функционально-стоимостного анализа для оценки стоимости и временных затрат в бизнес-процессах. Труды W. Aalst посвящены изучению возможности применения сетей Петри для выявления ошибок реализации бизнес-процессов как Workflow-систем. Можно также упомянуть других известных авторов (H.M.W. Verbeek, F. Gottschalk, B.F. van Dongen, A. Kumar, J. Rumbaugh, I. Jacobson, G. Booch), которые работают в этом направлении.

Следует отметить, что существует небольшое количество исследований, посвященных оценке адекватности моделей, полученных в результате анализа бизнес-систем. Как правило, считается, что модель однозначно отражает реальную деятельность организации. В тоже время, практически каждым аналитиком осуществляется проверка правильности построения бизнес-модели с использованием методов валидации, верификации, аудита, экспертизы и аттестации. Для проведения аудита и экспертизы моделей привлекаются специалисты предметных отраслей. Следовательно, процесс проверки корректности выполненного анализа требует больших временных и человеческих ресурсов.

Целью работы является повышение эффективности анализа организационной деятельности предприятия за счет применения валидации бизнес-моделей.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи:**

- разработка метода выявления ошибок в моделях процессов организационной деятельности предприятия;

- построение математических моделей и алгоритмов, позволяющих автоматически выявлять ошибки бизнес-моделирования;
- создание инструментальных средств бизнес-аналитика, реализующих методы выявления ошибок анализа;
- проведение квалификационного тестирования программных средств, а также вычислительных экспериментов для апробации разработанных моделей.

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались методы, основанные на моделировании систем с применением математического аппарата сетей Петри, а также с элементами теории множеств и теории графов.

Достоверность и обоснованность результатов. Подтверждается использованием известных имитационных методов, применением современных технологий разработки программных продуктов, проведением квалификационного тестирования программного комплекса и вычислительными экспериментами, подтвердившими адекватность разработанных математических моделей.

На защиту выносятся:

- метод валидации аналитических моделей организационной деятельности предприятия, основанный на проверке исполнимости концептуального представления бизнес-моделей;
- математическая модель процессов организационной деятельности предприятия, построенная на основе ординарных вложенных сетей Петри;
- алгоритмы анализа свойств сети бизнес-процессов;
- архитектура информационной системы поддержки исследования и специфицирования процессов предприятия;
- специализированный программный комплекс, реализующий инструментальные средства бизнес-аналитика, которые включают разработанные методы и алгоритмы проверки корректности аналитических моделей.

Научная новизна результатов, полученных в работе, сводится к следующим положениям:

- впервые предложен метод валидации модели организационной деятельности предприятия, который основан на проверке осуществимости выполнения концептуального представления бизнес-процесса;
- разработана математическая модель процессов деятельности организации, позволяющая имитационным путем оценить

адекватность функционирования процессов на основе применения аппарата сетей Петри;

- модифицированы алгоритмы построения дерева достижимости и определения элементов матричного уравнения, что дает возможность осуществить проверку исполнимости концептуальной модели;
- разработана архитектура информационной системы поддержки исследования бизнес-процессов, реализующая функции: формирование документов описания организационной деятельности предприятия, специфицирование процессов на их основе, валидация спецификации процессов, генерация модели процессов в различных нотациях.

Практическая значимость работы. Разработан специализированный программный комплекс, реализующий «Виртуальную среду исследования бизнес-процессов», который может использоваться в качестве инструментального средства спецификации процессов как в профессиональной деятельности бизнес-аналитика, так и при его подготовке. В учебном процессе, с помощью программного комплекса, осуществляется подготовка заданий преподавателем и их проверка, а также выполнение этих заданий студентами и оценка адекватности их решений.

Реализация и внедрение результатов работы. Программный комплекс опробован в курсе «Проектирование информационных систем» при подготовке студентов по специальности 080801.65 «Прикладная информатика (по областям)», что подтверждается соответствующими актами внедрения информационной системы исследования и анализа бизнес-процессов, выданных Тюменским государственным университетом и Тюменской государственной академией мировой экономики, управления и права. Методика применения программного комплекса представлена в учебном пособии «Проектирование информационных систем», которое рекомендовано УМО по специальности «Прикладная информатика (по областям)».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены на следующих научных конференциях: Международная научная конференция «Модернизация образования в условиях глобализации» (Россия, Тюмень, сентябрь 2005); Международная школа-конференция по приоритетным направлениям развития науки и техники с участием молодых ученых, аспирантов и студентов (Россия, Москва, декабрь 2006); Межвузовская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Безопасность информационного пространства» (Россия, Тюмень, ноябрь 2007); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Дистанционные образовательные технологии: опыт применения и

перспективы развития» (Россия, Тюмень, февраль 2008); Научно-практическая конференция молодых ученых «Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений» (Россия, Тюмень, май 2008); VI Международная научно-методическая конференция «Новые образовательные технологии в вузе» (Екатеринбург, февраль 2009).

Работа поддержана грантом на научные и экспедиционные исследования для аспирантов Тюменского государственного университета, «Математическая модель виртуальной среды исследования бизнес-процессов», 2008 г.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 18 публикациях, из которых 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и 1 статья, опубликованная в журнале из списка ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 121 лист, содержит 34 рисунка, 1 таблицу, 5 приложений. В библиографии представлено 124 наименования работ российских и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы, определены цели и задачи исследования, отмечены научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава диссертационной работы носит обзорный характер. В главе рассмотрена практика изучения, моделирования и анализа процессов организационной деятельности предприятия, предложенная такими авторами как В.В. Репин, В.Г. Елиферов, С.В. Черемных, А.Н. Калашян, Г.Н. Калянов, А.-В. Шеер и др., выявлены основные этапы анализа и их результаты. Приведены основные подходы улучшения бизнес-процессов: оптимизация, реинжиниринг, разработка информационных систем, описанные в работах В.В. Ильина, Б. Андерсена М. Робсона, Н.М. Абдикеева, Д. Харрингтона, М. Хаммера и др. Рассмотрены методы проверки моделей, получаемых в результате анализа (В.В. Липаев, Д. Шафер, Э. Брауде, ГОСТ Р ИСО 12207, ГОСТ Р ИСО 15288 и др.). Выполнен сравнительный анализ существующих инструментальных средств моделирования и анализа бизнес-процессов.

Многообразие рассмотренных диаграммных нотаций (IDEF0, IDEF3, DFD, ARIS eEPC, UML Activity Diagram и др), реализующих непересекающееся множество элементов моделей, обосновывает целесообразность создания представления процессов организационной деятельности предприятия, не связанных с синтаксическими и семантическими правилами нотаций. Показано, что построение концептуальной модели дает возможность классифицировать

ошибки, полученные на разных этапах выполнения бизнес-анализа: ошибки, связанные с пониманием процесса и ошибки, связанные с применением нотационных правил, используемых при построении диаграмм.

Проведен обзор различных математических моделей, применяемых при описании и анализе бизнес-процессов. Обосновано применение сетей Петри в качестве основного аппарата для построения модели валидации анализа бизнес-процессов.

В заключение главы формулируются основные принципы построения программного комплекса «Виртуальная среда исследования и анализа бизнес-процессов» с учетом полученных результатов исследования предметной области и существующих подходов.

Вторая глава посвящена созданию концептуального представления процессов организационной деятельности предприятия на основе исследования элементов диаграмм бизнес-процессов, построенных в различных нотациях и разработке метода валидации, математических моделей и алгоритмов, реализующих проверку их корректности.

Базовым понятием предлагаемого метода валидации является понятие исполнимого бизнес-процесса. Под исполнимым процессом организационной деятельности предприятия будем понимать процесс, в котором преобразование входных объектов в выходные осуществляется за конечное число запуска последовательности действий.

Утверждение 1. Модель процесса является исполнимой, если она удовлетворяет следующим условиям: 1) входные и выходные объекты модели и реального процесса совпадают; 2) все входные объекты процесса являются входами каких-либо действий модели; 3) все выходные объекты процесса порождаются какими-либо действиями модели; 4) каждое действие модели должно содержать как входные, так и выходные объекты; 5) все действия модели участвуют при выполнении процесса; 6) некоторые действия модели могут быть описаны конечным набором вложенных действий; 7) выполнение модели ограничено конечной последовательностью действий.

Соответствие правил исполнимости процесса может быть выявлено аналитиком перед этапом рецензирования модели, что обосновывает создание концептуального представления процесса организационной деятельности предприятия путем объединения основных синтаксических элементов, широко используемых в бизнес-анализе, нотаций.

Определение 1. Концептуальным представлением бизнес-процесса будем называть набор параметров, представленный в виде следующей теоретико-множественной модели:

$$BP = (N_{BP}, Ow, Pre, Post, P, F, D, Op, C, A), \quad (1)$$

где $N_{BP} = \{nbp_i || i| = 1\}$ – название бизнес-процесса; $Ow = \{ow_i || i| = 1\}$ – владелец; $Pre = \{pre_i || i| = 1\}$ – предусловие; $Post = \{post_i || i| = 1\}$ – постусловие; $P = \{p_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – исполнитель, $p: p = \cup p$; $F = \{f_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – поток, включающий связи временного предшествования и объектные потоки; $D = \{d_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – узел решения; $Op = \{op_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – логический оператор; $C = \{c_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – узел управления; $A = \{a_i || i| = \overline{1 \dots n}\}$ – действие, для $A = (N_A, SU, Com, count)$: A – примитивный узел; для $a: a = \cup a$, $A \subseteq B$: A – деятельность, где $N_A = \{na_i || i| = 1\}$ – название действия; $SU = \{su_i || i| = \overline{1 \dots n}\}$ – набор структурных единиц, $su: su = \cup su$; $Com = \{com_i || i| = \overline{0 \dots 1}\}$ – комментарий; $count = \{count_i || i| = \overline{0 \dots 1}\}$ – ограничение на количество выполнений действия в цикле.

Утверждение 2. Инфологическая модель, представленная с помощью нотационных правил, имеет однозначное отображение в концептуальное представление, а также, концептуальная модель может быть представлена в виде диаграммы, с соблюдением правил любой из рассмотренных нотаций.

Проверка правил исполнимости концептуального представления, в соответствии с утверждением 1 дает возможность объединить выделенные элементы в группы.

Определение 2. Модель валидации организационной деятельности предприятия будем представлять в виде:

$$BP = (F, A, L), \quad (2)$$

где $F = \{f_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – потоки бизнес-процесса, пред- и пост- условия; $A = \{a_i || i| = \overline{0 \dots n}\}$ – действия бизнес-процесса, узлы решения, логические операторы, узлы управления; L – отношение перехода, $L \rightarrow (F \times A)$.

Утверждение 3. Концептуальная модель является исполнимой тогда и только тогда, когда исполнима модель валидации организационной деятельности предприятия.

Для проверки правил исполнимости модели (2) используется математический аппарат сетей Петри.

Определение 3. Граф GBP бизнес-процесса есть двудольный ориентированный мультиграф, $GBP = (V, L)$, где $V = (u_1, u_2, \dots, u_s)$ – множество вершин, а $L = (l_1, l_2, \dots, l_r)$ – комплект направленных дуг, соединяющих потоки и действия бизнес-процесса, $l_i = (v_j, v_k)$, где $v_j, v_k \in V$. Множество V может быть разбито на два непересекающихся подмножества F и

A , таких, что $V = F \cup A$, $F \cap A = \emptyset$, и для любой направленной дуги $l_i \in L$, если $l_i = (v_j, v_k)$, тогда либо $v_j \in F$ и $v_k \in A$, либо $v_j \in A$ и $v_k \in F$.

Выделим входное и выходное множества, для чего разобьем множество дуг L на множество входных дуг $\{(f_i, a_j) | (f_i, a_j) \in L\}$ и множество выходных дуг $\{(a_j, f_i) | (a_j, f_i) \in L\}$ для всех $f_i \in F$ и $a_j \in A$. Тогда структура бизнес-процесса определяется ее потоками, действиями, входным и выходным множествами.

Определение 4. Сеть бизнес-процесса BP является четверка $BP = (F, A, I, O)$, где $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ – конечное множество потоков, $n \geq 0$; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – конечное множество действий, $m \geq 0$. Множество потоков и множество действий сети бизнес-процесса не пересекаются, $F \cap A = \emptyset$.

Поскольку I и O являются множествами, то кратность каждого потока есть либо 0, либо 1. Учитывая возможность декомпозиции действий, а также $(f_i, I(a_j)) \leq 1$ и $(f_i, O(a_j)) \leq 1$ для всех $f_i \in F$ и $a_j \in A$, сеть бизнес-процесса BP является ординарной вложенной.

Определение 5. Маркированная сеть бизнес-процесса BP представляется в виде теоретико-множественной модели $BP = (F, A, I, O, M)$, где M есть функция $M: F \rightarrow \mathbb{N}$, отображающая множество потоков F во множество неотрицательных целых чисел \mathbb{N} .

Маркировка M может быть также определена как n -вектор $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, где $n = |F|$ и каждое $m_i \in \mathbb{N}$, $i = 1, \dots, n$. Вектор M определяет для каждого потока f_i сети бизнес-процесса количество маркеров этого потока. Количество маркеров потока f_i есть m_i , $i = 1, \dots, n$. Связь между определениями маркировки как функции и как вектора очевидным образом устанавливается соотношением $M(f_i) = m_i$.

Утверждение 4. Действие $a_j \in A$ в маркированной сети бизнес-процесса $BP = (F, A, I, O, M)$ с маркировкой M разрешено, если для всех $f_i \in F$ выполняется:

$$M(f_i) \geq (f_i, I(a_j)). \quad (3)$$

В результате выполнения разрешенного действия a_j образуется новая маркировка M' , определяемая следующим соотношением:

$$M'(f_i) = M(f_i) - (f_i, I(a_j)) + (f_i, O(a_j)). \quad (4)$$

При выполнении сети бизнес-процесса получаются две последовательности: последовательность маркировок (M^0, M^1, M^2, \dots) и последовательность действий, которые были запущены $(a_{j_0}, a_{j_1}, a_{j_2}, \dots)$.

Изменение в состоянии сети бизнес-процесса, вызванное выполнением действия, определяется функцией изменения δ – функция следующего состояния. Т.к. a_j может быть запущено только в том случае, когда оно разрешено, то функция записывается:

$$\delta(M, a_j) = \begin{cases} \text{не определена, если } a_j \text{ не разрешено в маркировке } M, \\ \delta(M, a_j) = M', \text{ если } a_j \text{ разрешено в маркировке } M. \end{cases} \quad (5)$$

Утверждение 5. Функция следующего состояния $\delta: N^n \times A \rightarrow N^n$, где N^n – пространство состояний сети бизнес-процесса, обладающей n потоками, есть множество всех маркировок, для бизнес-процесса $BP = (F, A, I, O, M)$ с маркировкой M и действием $a_j \in A$.

Определим множество достижимости $R(BP, M)$ сети бизнес-процесса с маркировкой M как множество всех маркировок, достижимых из M .

Утверждение 6. Множество достижимости $R(BP, M)$ сети бизнес-процесса $BP = (F, A, I, O, M)$ с маркировкой M есть наименьшее множество маркировок, определенных следующим образом: $M \in R(BP, M)$; если $M' \in R(BP, M)$ и $M'' = \delta(M', a_j)$ для некоторого $a_j \in A$, то $M'' \in R(BP, M)$.

Рассмотрим варианты имитации сети бизнес-процесса, которые не позволяют выполнить правила утверждения 1. Так, например: действие a_j , которое никогда не может быть запущено для выполнения, ни при каких условиях запуска – мертвое действие (не выполняется хотя бы одно из правил 1-4); действие a_j является потенциально выполнимым, т. е. если существует такая $M' \in R(BP, M)$, что a_j разрешено в M' (не выполняется хотя бы одно из правил 1, 2, 5); для всякого целого n существует последовательность запусков действий, в которой действие a_j присутствует по крайней мере n раз, (не выполняется правило 7); существует бесконечная последовательность запусков, в которой действие a_j присутствует неограниченно часто (не выполняется правило 7); для всякой $M' \in R(BP, M)$ существует такая последовательность запусков σ , что действие a_j разрешено в $\delta(M', \sigma)$ (не выполняется хотя бы одно из правил 2, 6).

Исходя из этих правил, сформулированы задачи анализа для сети бизнес-процесса.

1. Задача достижимости для сети бизнес-процесса позволяет ответить на вопрос: существует ли $M' \in R(BP, M)$ для данной сети бизнес-процесса BP с маркировкой M и маркировкой M' ?
2. Задача покрываемости для сети бизнес-процесса BP с начальной маркировкой M и маркировкой M' позволяет ответить на вопрос: существует ли такая достижимая маркировка $M'' \in R(BP, M)$, что $M'' \geq M'$?

3. Задача активности для сети бизнес-процесса BP с начальной маркировкой M и маркировкой M' позволяет установить, что действие a_j называется активным, в заданной начальной маркировке, если для любой маркировки M' , достижимой из M , можно указать цепочку выполнений действий, которая приводит к выполнению действия a_j . Т.е. действие a_j сети бизнес-процесса BP называется потенциально выполнимым в маркировке M , если существует маркировка $M' \in R(BP, M)$, в которой a_j разрешено.
4. Задача ограниченности для сети бизнес-процесса определяется количеством маркеров потока f_i сети бизнес-процесса. Поток $f_i \in F$ сети бизнес-процесса $BP = (F, A, I, O, M)$ с начальной маркировкой M является k -ограниченным, если $M'(f_i) \leq k$ для всех $M' \in R(BP, M)$.

Разработан *расширенный алгоритм построения дерева достижимости* для анализа свойств ограниченности и покрываемости *сети бизнес-процесса*.

Каждая вершина дерева достижимости связывается с расширенной маркировкой, в которой число маркеров потока сети бизнес-процесса может быть либо неотрицательным целым, либо «*». Каждая вершина классифицируется или как граничная вершина, терминальная вершина, дублирующая вершина, или как внутренняя вершина. Граничными являются вершины, которые еще не обработаны алгоритмом; алгоритм превратит их в терминальные, дублирующие или внутренние вершины.

Шаг 1. Определение начальной маркировки корнем дерева. Дерево содержит единственную вершину-корень начальную маркировку M^0 сети бизнес-процесса BP и не имеет дуг. До тех пор, пока имеются граничные вершины, они обрабатываются алгоритмом.

Пусть имеется M – граничная вершина дерева, которая еще не объявлена листом, но в дереве нет исходящих из нее дуг. Возможны четыре случая:

Шаг 2. Если на пути из корня дерева в вершину M существует вершина M' такая что, $M = M'$, то вершина M – дублирующая вершина, объявляется листом дерева.

Шаг 3. Если ни одно из действий сети бизнес-процесса не может сработать при разметке M , не выполняется неравенство (3), функция следующего состояния (5) не определена, то вершина M – пассивная вершина, объявляется листом.

Шаг 4. Если на пути от корневой вершины к M существует вершина M' , то маркировка M , связанная с этой вершиной, определяется для каждого потока f_i следующим образом:

- 4.1. Если $M'(f_i) = *$, то $M(f_i) = *$, то вершина M объявляется «*-листом».

4.2. Если $count$ действия сети бизнес-процесса определен ($count$ – ограничение на количество выполнений действия в цикле), $M(f_i) \leq count$, входящие и выходящие потоки для процесса соответствуют входящим $\{f_i, I(a_j)\}$ и выходящим потокам $\{f_i, O(a_j)\}$ сети бизнес-процесса BP , тогда Шаг 5, иначе, если $M(f_i) > count$, то узел в дерево не добавляется.

4.3. Если $M' < M$ и значение $count$ не определено, то для любого потока f_i , что $M'(f_i) < M(f_i)$, значение соответствующей координаты M заменяется на «*» и вершина M объявляется «*-листом».

Шаг 5. Если ни один из вышеперечисленных случаев не имеет места, то M – внутренняя вершина дерева. Для каждого действия такого, что выполняется неравенство (3) для всех $f_i \in F$, в дерево добавляется новая вершина, вычисляемая по формуле (4) для всех $f_i \in F$ и дуга, ведущая из M в M' , помечается как a_j .

Когда все вершины дерева – терминальные, дублирующие или внутренние, алгоритм построения дерева достижимости останавливается, рассматриваются «*-листья» и запускается алгоритм поиска в глубину на графах.

Однако дерево достижимости не используется для решения задач достижимости и активности, а также для определения возможной последовательности выполнения действий бизнес-процесса. Решение этих задач ограничено существованием символа «*».

Для решения задач достижимости и активности необходимо *матричное представление сети бизнес-процесса*. Определим для $BP = (F, A, I, O, M)$ две матрицы инцидентности W^- и W^+ , представляющие входное и выходное множества. Каждая матрица имеет m строк (по одной на действие, узел решения, узел управления и логический оператор бизнес-процесса) и n столбцов (по одному на поток, пред- и постусловие бизнес-процесса).

Функция следующего состояния (5) для последовательности действий $\sigma = a_{j_1}, a_{j_2}, \dots, a_{j_k}$ запишется как $\delta(M, \sigma) = \delta(M, a_{j_1}, a_{j_2}, \dots, a_{j_k}) = M + f(\sigma)W$, где $f(\sigma)$ – вектор запусков последовательности σ ; $W = W^+ - W^-$ – составная матрица изменений.

Предположим, что маркировка M' достижима из маркировки M . Тогда существует последовательность (возможно, пустая) запусков действий бизнес-процесса σ , которая приводит из M к M' . Это означает, что $f(\sigma)$ является неотрицательным целым решением следующего матричного уравнения для \bar{X} :

$$M' = M + \bar{X} \cdot W. \quad (6)$$

Если M' достижима из M тогда уравнение (6) имеет решение в неотрицательных целых числах; если уравнение (6) не имеет решения, тогда M' недостижима из M .

В третьей главе рассматриваются принципы построения архитектуры «Виртуальной среды исследования бизнес-процессов» и ее практическая реализация в виде программного комплекса; описана система правил построения модели процессов организационной деятельности предприятия на основе концептуального представления бизнес-процессов.

Программный комплекс представлен набором специализированных компонент – контуров, позволяющих решить определенный круг задач. Связь архитектурных компонентов комплекса устанавливается посредством унифицированных интерфейсов. Полноценную работу контура обеспечивает набор составляющих модулей (рис. 1).



Рис. 1. Схема взаимодействия контуров программного комплекса

Контур формирования бизнес-процессов обеспечивает фреймворк, организующий единое информационное пространство, инкапсулирующее данные предметных областей и составляющих их бизнес-процессов. Каркасное представление контура базируется на выделении из некоторого бизнес-контента набора предметных областей и их декомпозиции в упорядоченное множество видов деятельности.

Контур анализа является наиболее важной частью программного комплекса. Функционирование контура в контексте комплекса осуществляет валидацию бизнес-моделей, обеспечивая не только получение однозначного ответа о корректности выполнения процесса, но и формирование развернутого отчета, указывающего места возникновения ошибок и рекомендации по их исправлению. Положенные в основу контура анализа математические модели дают возможность использования эффективных алгоритмов для выявления синтаксических и семантических неточностей изучения бизнес-деятельностей.

Контур изучения бизнес-процессов позволяет организовать исследование бизнес-деятельностей от формализованного представления предметной области до построения детальной концептуальной модели бизнес-процесса. Интеграция контура изучения с другими функциональными контурами программного комплекса дает возможность существенно снизить трудозатраты аналитика и минимизировать время, затрачиваемое на проверку результатов исследования.

Контур вывода позволяет преобразовать концептуальное представление бизнес-процесса в доступное для пользователя описание соответствующей диаграммной нотации.

В четвертой главе рассматривается структура системы и категории пользователей; проведено квалификационное тестирование функциональных компонентов программного комплекса; приведены результаты апробации и статистика работы информационной системы.

В качестве целевой аудитории для решения задачи эксперимента выбраны 42 студента специальности «Прикладная информатика в экономике» Тюменского государственного университета. Для обеспечения исследовательской деятельности студентов сформирован набор из 15 различных предметных областей, включающих 3-5 бизнес-процессов. Каждому студенту назначена 1 предметная область и по 2 бизнес-процесса из сформированного пула заданий, всего 84 бизнес-процесса. Для оценки результатов эксперимента, случайным образом выбирались по 15 бизнес-процессов.

Наполнение программного комплекса сформированными предметными областями и бизнес-процессами организует бизнес-контент для исследования, представленный в виде репозитория. Формирование пула заданий осуществляется посредством выбора предметной области для изучения и нескольких бизнес-процессов, данной предметной области. Для каждого студента назначается конкретное задание из набора.

Первым этапом исследовательской деятельности студента является ознакомление с бизнес-процессами, предложенными для описания. Второй этап представляет собой изучение бизнес-документов предметной области и

наполнение структуры бизнес-процессов соответствующими описательными элементами – формирование концептуального представления бизнес-процесса. Третьим этапом формирования описания бизнес-процессов является разработка последовательности выполнения действий в процессе, определяющая контекст его функционирования. В результате работы студент получает описание концептуального представления бизнес-процесса согласно элементам теоретико-множественной модели (1).

Завершающим этапом исследования является проведение анализа полученного бизнес-процесса, осуществляемого на основе методов и алгоритмов проверки адекватности аналитических моделей организационной деятельности предприятия. Результатом анализа является отчет, содержащий ошибки, выявленные при валидации моделей и рекомендации по исправлению допущенных ошибок, а также оценка корректности построения моделей бизнес-процессов.

Результаты вычислительного эксперимента сверялись с результатами независимой проверки, выполненной экспертом, для каждой построенной модели. Установлено, что с уровнем значимости 0,95 достоверно утверждение, при котором программный комплекс, реализующий математическую модель валидации процессов организационной деятельности предприятия, выявляет ошибки, связанные с логикой выполнения бизнес-процесса, с вероятностью не менее 90%.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

1. Впервые предложена теоретико-множественная модель концептуального представления процесса, полученная объединением элементов широко используемых нотаций моделирования бизнес-процессов. Разработан метод валидации анализа организационной деятельности предприятия, который осуществляет выявление ошибок исполнимости полученной модели.
2. Создана математическая модель процессов деятельности организации, реализующая предложенный метод валидации. Модель построена на основе ординарной вложенной сети Петри, что позволяет оценить адекватность функционирования бизнес-процессов на основе проверки свойств сети.
3. Модифицирован алгоритм построения дерева достижимости, с помощью которого выполняется проверка свойств ограниченности и покрываемости сети бизнес-процесса. Построено матричное уравнение сети бизнес-процесса, которое позволяет осуществить проверку свойств активности и достижимости сети.

4. Определен механизм прямого и обратного отображения концептуальной модели процесса в нотационные представления, широко применяемые в анализе бизнес-процессов. Создана система правил преобразования концептуального представления в модель процессов организационной деятельности предприятия, реализующая возможность выполнения валидации, как концептуальной модели, так и моделей представленных в различных нотациях.
5. Разработан специализированный программный комплекс, который позволяет: размещать первичные документы предметной области в единой среде исследования; структурировать описание процессов; осуществлять валидацию полученных спецификаций; формировать отчетную документацию, включающую результаты анализа моделей бизнес-процессов, а также генерировать представления бизнес-процесса в различных нотациях. Качество функционирования программного комплекса подтверждено его квалификационным тестированием.
6. Доказана адекватность разработанных математических моделей и метода валидации, на основе численных экспериментов получена высокая вероятность выявления ошибок (0,9), связанных с исполнимостью модели бизнес-процесса.
7. Практика использования программного комплекса в учебных проектах показала эффективность его применения при исследовании процессов организационной деятельности предприятия за счет сокращения времени инспектирования выполненного анализа. Программный комплекс опробован и внедрен в учебный процесс. Методика применения программного комплекса одобрена УМО по специальности 080801.65 «Прикладная информатика по областям» в составе учебного пособия «Проектирование информационных систем».

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *А.Г. Ивашко, Р.Н. Хамидулин, И.И. Коломиец.* Проектирование программного комплекса поддержки анализа бизнес-процессов в рамках Rational Unified Process. // Модернизация образования в условиях глобализации: Круглый стол «Образование через науку и инновации», 14-15 сентября 2005 г. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2005. – 41-43с.
2. *М.В. Григорьев, И.И. Коломиец.* Специализированный учебный программный комплекс исследования и командного проектирования бизнес-

- процессов. // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-и частях. – Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2006. Часть. 1 – 137-138 с.
3. *М.В. Григорьев, И.И. Коломиец.* Виртуальная среда исследования бизнес-процессов. // Международная школа-конференция по приоритетным направлениям развития науки и техники с участием молодых ученых, аспирантов и студентов. Тезисы докладов. – Москва, 2006. – 22-24 с.
 4. *И.И. Коломиец, А.Г. Ивашко, М.В. Григорьев.* Виртуальная среда исследования и проектирования бизнес-процессов. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза. Изд-во АНОО «Приволжский Дом знаний», 2006. – 14-16 с.
 5. *А.Г. Ивашко, М.В. Григорьев, И.И. Коломиец.* Проектирование информационных систем: Учебно-методическое пособие. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2007. – 328 с.
 6. *И.И. Коломиец, А.Г. Ивашко.* Теоретико-множественная модель описания бизнес-процесса. // Безопасность информационного пространства VI: сборник трудов межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 22-23 ноября 2007 г. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2007. – 167-169 с.
 7. *И.И. Коломиец, А.Г. Ивашко.* Формализованный подход к описанию бизнес-процесса. // Информационные технологии и телекоммуникации в экономике, управлении и социальной сфере: материалы II межрегиональной научно-практической конференции. 15 ноября – 15 декабря 2007 г. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2008. – 118-120 с.
 8. *А.Г. Ивашко, И.И. Коломиец.* Возможность применения аппарата сетей Петри для валидации анализа бизнес-процессов. // Вестник ТюмГУ – №6. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2008.– 159-165 с.
 9. *И.И. Коломиец.* Валидация анализа бизнес-процессов. // Математическое и информационное моделирование. Сборник научных трудов. Вып. 10. – Тюмень. Изд-во «Вектор Бук», 2008. – 125-135 с.
 10. *И.И. Коломиец.* Применение свойств сети Петри при анализе бизнес-процессов. // Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений: сборник научных трудов. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2008. – 58-60 с.
 11. *И.И. Коломиец, М.В. Крутикова.* Описание алгоритма поиска бесконечных последовательностей действий в бизнес-процессе. // Интеллектуальные технологии в образовании, экономике и управлении – 2008: Сборник

- материалов V Международной научно-практической конференции. – Воронеж. Изд-во ГУП ВПО «Воронежская областная типография – издательство им. Е.А. Болховитинова», 2008. – 28-32 с.
12. *И.И. Коломиец, М.В. Крутикова, Е.В. Салютин*. Оценка эффективности функционирования бизнес-процессов. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сборник статей VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза. Изд-во АНОО «Приволжский Дом знаний», 2008. – 227-230 с.
13. *И.И. Коломиец, М.В. Крутикова, Ю.В. Бондаренко*. Информационная среда анализа бизнес-процессов. // Новые образовательные технологии в вузе: сборник материалов шестой международной научно-методической конференции, 2 – 5 февраля 2009 года. В 2-х частях. Часть 2. – Екатеринбург. Изд-во ГОУ ВПО «УГТУ – УПИ», 2009. – 193-198 с.
14. *И.И. Коломиец, М.В. Крутикова*. Метод анализа бизнес-процесса с применением сети Петри, основанный на матричном представлении. // Информационные технологии и телекоммуникации в экономике, управлении и социальной сфере: материалы III межрегиональной научно-практической конференции. 1 ноября – 15 декабря 2008 г. – Тюмень. Изд-во ТюмГУ, 2009. [Электронный ресурс] URL: <http://conference.utmn.ru/?reports=show&rid=146>
15. *И.И. Коломиец, А.Г. Ивашко, М.В. Григорьев, Р.Н. Хамидулин*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2006613029. Специализированный учебный программный комплекс «Виртуальная среда исследования бизнес-процессов» от 30.08.2006.
16. *И.И. Коломиец, Ю.В. Бондаренко*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008613946 «Формирование бизнес-процессов предметной области» (СВР) от 19.08.2008.
17. *И.И. Коломиец, Е.А. Нифонтова*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008613947 «Репозиторий предметных областей» (RSA) от 19.08.2008.
18. *И.И. Коломиец, Г.С. Жаравин*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009610851 «Модуль визуализации концептуального представления бизнес-процесса» от 06.02.2009.