

На правах рукописи



МИТРОШИН Сергей Геннадьевич

**МНОГОПОДХОДНЫЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ**

Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» на кафедре «Прикладная информатика».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Пикулин Василий Васильевич.

Официальные оппоненты: **Макарычев Петр Петрович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», заведующий кафедрой
«Математическое обеспечение и применение ЭВМ»;
Данилов Александр Максимович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,
заведующий кафедрой «Математика и математическое моделирование».

Ведущая организация – ОАО «Научно-производственное предприятие «Рубин», г. Пенза.

Защита состоится 21 мая 2015 г., в 13 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 на базе ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» и на сайте www.penzgtu.ru.

Автореферат разослан 31 марта 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чулков Валерий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В области управления компаниями, ориентированными на оказание проектных, сервисных и консультационных услуг, ключевой задачей является построение оптимальных организационных структур, так как основными субъектами, которые обеспечивают получение доходов и требуют затрат, являются именно специалисты компании. Компания заинтересована в наличии оптимального количества специалистов, приносящих доход участием в различных проектах.

Отсутствие необходимого инструментария и методологии анализа и планирования приводит к возникновению следующих бизнес-проблем:

- неоптимальность оргструктуры (по количеству и составу) – дублирование функций, раздутый штат, нехватка квалифицированных кадров на сложных участках («бутылочное горлышко»), что приводит к излишним затратам времени и средств, снижению эффективности и качества работ;

- неоптимальность оргструктуры (по структуре) – большое количество уровней иерархии, вовлечение топ-менеджмента в операционную деятельность, недостаточный контроль, смешение уровней управления, превышение размера штата подчиненных над его управленческими возможностями;

- жесткость оргструктуры – невозможность подстраиваться под изменяющуюся бизнес-среду, новые проекты, следствием чего могут оказаться упущенные возможности и выгоды;

- набор персонала в условиях повышенной текучести кадров и, как следствие, невозможность привлечения необходимого количества специалистов требуемой квалификации к выполнению проектных работ, срыв сроков, превышение бюджета, увеличение убытков.

С учетом указанных проблем актуальной является задача использования информации о деятельности компании для разработки моделей, позволяющих выполнять поиск и прогнозирование оптимального состава организационных структур компании.

Комплексное решение названных задач не укладывается в рамки единственной информационной модели и может потребовать объединения таких информационных средств, как системы управления базами данных, системы управления проектами, системы математического и компьютерного имитационного моделирования, экспертные системы и т.д. Таким образом, дальнейшие исследования в области разработки моделей информационных процессов и структур интегрированных систем управления проектами, состоящих из независимых модулей-сервисов, которые взаимодействуют в единой информационной среде, решая различные задачи: накопление и первичный анализ данных, статистический анализ и прогнозирование, моделирование и синтез организационных структур, являются актуальными.

Научные подходы автора, нашедшие выражение в настоящем исследовании, сформировались в основном на базе научных работ Альберта М., Аристова С.А., Борщева А.В., Бугайченко Д.Ю., Буркова В.Н., Бусленко Н.П.,

Каталевского Д.Ю., Коргина Н.А., Кошечкина С.А., Лычкиной Н.Н., Мескона М., Мильнера Б.З., Мишина С.П., Новикова Д.А., Попкова Т.В., Скобелева П.О., Снеткова Н.Н., Соловьева И.П., Швецова А.Н.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка математических и многоподходных имитационных моделей информационных процессов и структур для оптимизации организационных ресурсов информационно-технологической компании.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи**.

1. Определение состава параметров и характеристик информационных процессов, законов распределения количества заявок и интервалов времени между заявками клиентов на основе статистических данных, характеризующих производственные процессы информационно-технологической компании, выполняющей функции разработки и сопровождения программных проектов.

2. Разработка моделей процессов обслуживания клиентов информационно-технологической компании в форме многоканальных систем массового обслуживания с диспетчеризацией заявок и в форме сетей массового обслуживания.

3. Разработка многоподходных имитационных моделей для анализа характеристик процессов обслуживания заявок, связанных с сопровождением информационной системы, включая исследование адекватности разработанных моделей.

4. Разработка информационной системы поддержки принятия решений по управлению организационными ресурсами информационно-технологической компании, включающей многоподходные имитационные модели и позволяющей использовать оперативные и статистические данные для оценки и прогнозирования показателей качества деятельности компании.

Объект исследования – процессы управления организационными ресурсами информационно-технологических компаний, занимающихся проектированием, разработкой, внедрением и сопровождением автоматизированных информационных систем, предоставлением консалтинговых услуг.

Предмет исследования – математические и объектно-ориентированные информационные модели эффективного управления организационными ресурсами информационно-технологических компаний, алгоритмы построения оптимальных организационных структур, методики разработки адекватных многоподходных имитационных моделей объекта.

Методы исследований: методы системного анализа, имитационного моделирования, теории вероятностей и математической статистики, теории управления и теории множеств, методы проектирования баз данных и систем управления, методы структурного и объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна работы. Новыми являются следующие научные результаты.

1. Структурные информационно-функциональные модели, учитывающие информационные параметры и характеристики производственных процессов информационно-технологической компании, включающих этапы разработки, внедрения и сопровождения программных проектов, а также полученные статистические оценки характеристик процессов обслуживания.

2. Модели непоследовательных и сложных переходов в процессах информационного обслуживания в форме систем массового обслуживания с диспетчеризацией заявок и сетей массового обслуживания, позволяющие оценивать значения характеристик процессов обслуживания в информационно-технологической компании.

3. Многоподходные имитационные модели для анализа характеристик процессов обслуживания заявок по сопровождению программных проектов, учитывающие информационное взаимодействие исполнителей производственных задач и обеспечивающие оптимизацию деятельности информационно-технологической компании.

4. Система поддержки принятия решений в процессе управления организационными ресурсами компании на основе многоподходной имитационной модели, позволяющая использовать оперативные и статистические данные для оценивания и прогнозирования показателей производственной деятельности информационно-технологической компании.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что предложена методика формализации процедур анализа процесса деятельности информационно-технологической компании и параметрической оптимизации организационных ресурсов.

Практическая значимость работы.

На основе разработанных многоподходных имитационных моделей деятельности обеспечивается возможность оптимизации структуры и параметров организационного обеспечения информационно-технологической компании.

Разработанная модель процесса управления организационным обеспечением информационно-технологической компании с использованием автоматизированной системы, включающей модули многоподходных имитационных моделей, позволяет предприятию рационально выстраивать бизнес-процессы и повышать эффективность использования существующих ресурсов, оперативно реагировать на изменения в динамично развивающейся среде с целью оптимизации деятельности по финансовым показателям.

Область исследования. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики (технические науки) по областям исследований пп.1, 2, 16.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Структурная информационно-функциональная модель производственных процессов информационно-технологической компании, отражающая разработку, внедрение и сопровождение программных проектов с учётом параметров и характеристик информационных процессов.

2. Модели непоследовательных и сложных переходов в производственных процессах в форме систем массового обслуживания с диспетчеризацией и сетей массового обслуживания, позволяющие оценивать характеристики процессов обслуживания.

3. Многоподходные имитационные модели, включающие дискретно-событийные и агентные компоненты, для анализа характеристик процессов обслуживания заявок по сопровождению программных проектов и предназначенные для оптимизации деятельности информационно-технологической компании.

4. Модель системы поддержки принятия решений для процесса управления организационными ресурсами, включающая многоподходную имитационную модель, использующую оперативные и статистические данные для оценивания и прогнозирования показателей производственной деятельности информационно-технологической компании.

Достоверность результатов работы подтверждается методологической обоснованностью исходных позиций исследования, корректным использованием методов математической статистики и моделей систем массового обслуживания, результатами верификации и проверки адекватности имитационных моделей, апробацией полученных результатов на международных научно-технических конференциях.

Реализация и внедрение результатов работы. Программные средства, включающие компоненты имитационных моделей и базу данных проектов и моделей, внедрены в производственную деятельность компании «ЭЛСОФТ» (г. Пенза), а также в учебный процесс Пензенского государственного технологического университета.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы представлялись и докладывались на международных конференциях: «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, 2009), «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании» (Пенза, 2009), «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (Пенза, 2009, 2010), «Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании» (Пенза, 2011, 2013, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, включая 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 свидетельства о государственной регистрации баз данных.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад соискателя состоит в следующем: [1] – представлены мультиагентная имитационная модель, результаты моделирования и оптимизации процессов обслуживания потока заказов; [2] – представлены диаграмма классов, диаграмма состояний и алгоритмы передачи заявок агентами для имитационной модели деятельности информационно-технологической компании (ИТК); [3] – разработана модель системы управления организационными ресурсами ИТК с использованием имитационного моделирования; [8] – представлена формализованная процедура моделирования деятельности компании для планирования персонала; [9] – разработана модель функционального состава автоматизированной системы управления организационными ресурсами; [10] – разработана модель теории массового обслуживания для анализа деятельности ИТК. Лично автором разработаны модели данных для регистрации параметров и характеристик производственных процессов и имитационного моделирования деятельности ИТК [11, 12].

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основной части и заключения, изложенных на 172 страницах (включая 89 рисунков, 50 таблиц), перечня принятых сокращений, списка литературы из 97 наименований и четырех приложений на 10 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая ценность полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведены результаты анализа информационных процессов в деятельности ИТК, математических и имитационных моделей, которые применяются в аналогичных исследованиях, публикаций по данной тематике. В настоящей работе термин «информационно-технологическая компания» означает предприятие, которое занимается: созданием автоматизированных экономических информационных систем (АЭИС); сопровождением АЭИС в период эксплуатации; консультационным обслуживанием по вопросам эксплуатации имеющихся АЭИС и/или отдельных компонентов информационного и программного обеспечения.

В данной работе принята модель взаимодействия ИТК и клиентов, в которой:

- клиент передаёт компании – претенденту на обслуживание предварительно сформулированные требования к результату обслуживания; компания может принять предварительные условия или отказать в обслуживании из-за невозможности выполнения требований;

- компания должна предоставить предварительные условия выполнения заявки: дата начала работы, технологическая платформа реализации АЭИС, условия оплаты и сдачи работ, требования к составу рабочей группы и предварительный план проекта; процесс обслуживания может начаться только после согласования условий обслуживания по срокам, стоимости, требованиям к результатам и др.;

- в процессе обслуживания может использоваться объект обслуживания: программный модуль, база данных, АЭИС в целом и др.; при занятости специалистов заявка на обслуживание может находиться в очереди; в процессе обслуживания возможно изменение состава исполнителей (передача работ от одной группы исполнителей другой группе); заявка может требовать выполнения различных разделяемых операций, в том числе различными исполнителями. Декомпозиция процессов обслуживания в работе представлена в форме четырёхуровневых иерархических диаграмм бизнес-функций. Процесс обслуживания заканчивается передачей документов и объекта, прошедшего процедуру обслуживания. Клиент должен оценить качество обслуживания и, при отсутствии претензий, оплатить выполненные работы в соответствии с договором на обслуживание. При наличии претензий процесс обслуживания должен быть выполнен в необходимой части с приоритетом.

При выполнении анализа производственных процессов ИТК разработаны структурные информационно-функциональные модели в форме: диаграмм потоков данных, функциональных диаграмм, диаграммы деятельности, диаграмм рабочих потоков, иерархических диаграмм бизнес-функций, которые являются основой для формализации и последующей разработки вариативных математических и многоподходных имитационных моделей.

Для оценивания значений показателей, характеризующих процесс обслуживания клиентов в ИТК, выполнен анализ клиентской базы по данным, полученным из автоматизированной системы управления взаимоотношениями с клиентами. Выполнена проверка гипотез о законах распределения показателей: о нормальном распределении количества новых клиентов за месяц, о логарифмически нормальном распределении объема работ по заявке с использованием критерия согласия Пирсона (рисунок 1), оценены значения количества новых клиентов за месяц, продолжительности обслуживания заявок (объема работ), среднего интервала времени между поступлением заявок, средней выручки компании за месяц и др.



Рисунок 1 – Гистограмма распределения продолжительности обслуживания

Процесс функционирования и результаты деятельности ИТК зависят от содержания и характеристик потока заявок клиентов и потоков данных от контрагентов: стадия жизненного цикла АЭИС, требования к продолжительности работ, содержание производственной задачи, для решения которой должны быть созданы средства автоматизации, сложность (трудоемкость) процесса обслуживания, степень оригинальности проекта, требуемая квалификация специалистов и др. «Тип проекта» в данной предметной области обозначает создание новой системы (проект внедрения) или выполнение работ, связанных с сопровождением процесса эксплуатации существующей автоматизированной системы (проект сопровождения). Содержание автоматизируемой производственной задачи определяет требуемые компетенции специалистов, трудоемкость и характер работ.

В соответствии с производственными полномочиями в ИТК распределение задач может выполняться: менеджером по работе с клиентами, менеджером проекта, функциональным руководителем, исполнителями. При распределении задач между исполнителями учитывается степень загруженности специалиста (суммарная трудоемкость задач, находящихся в очереди на обслуживание). В процессе обслуживания используются разные модели вариантов получения, распределения и перераспределения заявок: получение и распределение заявок «центром» (диспетчером, менеджером); перераспределение заявок через «центр» («по вертикали»); перераспределение заявок на уровне исполнителей («по горизонтали»), при этом в «центр» направляется информация о перераспределении работ «по горизонтали»; комбинированная схема перераспределения (разрешены обмены «по вертикали» и «по горизонтали»); смешанная схема получения заявок (через центр и непосредственно через исполнителей).

Поскольку, в общем случае, специалисты компании могут выполнять работы по обслуживанию заявок обоих типов, то обобщенная структурная модель системы обслуживания содержит (рисунок 2): два вида входов заявок – общий поток «Заявки» (заявки-проекты внедрения и новые заявки сопровождения) и поток «Заявки сопровождения»; блок диспетчеризации (D), который выполняет распределение общего потока заявок на поток «Заявки-проекты» и поток «Заявки сопровождения»; блок исполнителей проектов (K_p) и блок исполнителей заявок сопровождения (K_c), к которым направляются указанные выше внутренние потоки; исходящие потоки трёх видов: «Результаты обслуживания» (по заявкам сопровождения), «Промежуточные результаты проектов», которые передаются заказчику и используются в качестве входных данных для последующих стадий проектов (исходящий поток разветвляется), «Внедрённые проекты» (результаты создания АЭИС – собственно система, проектная и эксплуатационная документация).

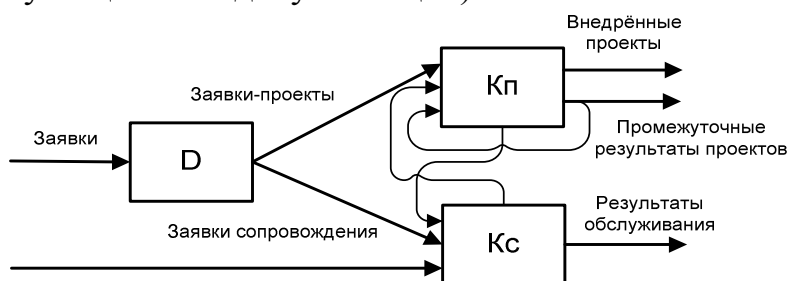


Рисунок 2 – Общая схема процессов обслуживания заявок в ИТК

Сделан вывод, что на процессы диспетчеризации и обработки заявок непосредственное влияние оказывают факторы внутренней среды фирмы: существующие организационные ресурсы, организационная структура, распределение функций между сотрудниками, распределение задач проекта по исполнителям. Под организационными ресурсами в контексте данной работы подразумеваются кадровые, трудовые ресурсы предприятия – специалисты и менеджеры различной специализации. Критерием эффективности используемых организационных ресурсов является максимизация прибыли предприятия за указанный период времени (один из вариантов целевой функции задачи оптимизации организационных ресурсов). Однако необходимо учитывать, что каждый сотрудник как элемент экономической системы имеет свои локальные цели – получение максимальной премии, заработной платы.

Выполненная в работе формализация процесса деятельности исследуемого объекта включает определение состава параметров и показателей, при этом параметры разделены на внешние или входящие ($P_{вх}$), характеризующие входные информационные потоки, и внутренние ($P_{вн}$), характеризующие структуру и соответствующие параметры объекта. Здесь состав входных параметров – это множество $P_{вх} = \{\Psi, Q, J, \Omega, \nu\}$, где Ψ – множество типов проектов; Q – множество обслуживаемых компанией проектов (систем, производственных объектов, клиентов); J – множество производственных задач по проектам; J_i – i -е подмножество однотипных задач. Тип производственной задачи определяется её назначением и содержанием, соответствующим определённой профессии:

программист, сервис-инженер и т.п.; для решения задач каждого типа должны привлекаться специалисты соответствующей профессии; принято, что подмножества J_i не пересекаются:

$$J = \bigcup_{i=1}^n J_i; \quad \bigcap_{i=1}^n J_i = \emptyset,$$

где n – количество типов производственных задач (если рассматриваются однотипные производственные задачи, то $n = 1$); R_{ij} – уровень сложности j -й производственной задачи i -го типа; однотипные задачи могут группироваться по уровню сложности, например, если j -я и k -я задачи i -го типа имеют один и тот же уровень сложности, то они относятся к одной группе. Ω – множество вероятностных характеристик входных потоков: $\Omega = \{f, M, \Lambda, \sigma\}$, где f – множество функций распределения случайных величин (интервалы времени между заявками, количество заявок за определённый интервал времени); M – математическое ожидание случайной величины; Λ – множество показателей интенсивности потоков заявок: $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|Q|}\}$, в частном случае $|\Lambda| = 1$; $\lambda_{q,ij}$ – интенсивность поступления по q -му проекту заявок i -го типа j -го уровня сложности ($R_{q,ij}$); σ – среднее квадратическое отклонение; $v_{q,ij}$ – объем работ (в часах) по заявке i -го типа j -го уровня сложности q -го проекта ($R_{q,ij}$).

Внутренние параметры в данной работе определяют вероятностные характеристики процессов обслуживания, состав исполнителей процесса обслуживания, их компетенции, уровень квалификации, а также информационные связи между ними: $P_{\text{вн}} = \{\varphi, W, K, J, U, C, \Theta\}$, где φ – множество функций распределения продолжительности процесса обслуживания различными исполнителями, в частном случае $|\varphi| = 1$; W – множество профессий сотрудников, выполняющих производственные функции; специалист i -й профессии обеспечивает решение множества $J(W_i)$ типов производственных задач, при этом должно выполняться условие $J = \bigcup_{i=1}^m J(W_i)$; в частном случае $|W| = 1$; $N_{\text{исп}}$ – количество исполнителей

(сотрудников, занятых обслуживанием клиентов): $N_{\text{исп}} = \sum_{i=1}^{|W|} k_i$, где k_i – количество

исполнителей i -й профессии; K_i – множество уровней квалификации (должностей или специализаций) сотрудников i -й профессии; K_{ij} – j -й уровень квалификации i -й профессии; от уровня профессиональной квалификации также напрямую зависят производительность труда и качество выполняемых работ.

Для каждой профессии $w \in W$ установлено множество уровней квалификации специалистов K_w , $|K_w| \geq 1$, и каждому уровню квалификации $k \in K_w$ соответствует определенное количество сотрудников N_k (плановое или фактическое), что формально можно записать следующим образом:

$$\forall v \in V \exists f : w \rightarrow K_w \mid \forall k \in K_w \exists N_k \mid k \leftrightarrow N_k \ \& \ N_k \in [0, 1, 2, \dots],$$

J_{ij} – подмножество производственных задач i -го типа j -го уровня сложности, которые может выполнять специалист K_{ij} -й квалификации; между K_{ij} и J_{ij} может быть установлено взаимно однозначное соответствие ($K_{ij} \leftrightarrow J_{ij}$) или многозначное соответствие $K_{ij} \rightarrow \{J_{i,1}, \dots, J_{i,j-1}, J_{ij}\}$, если специалист i -й профессии j -го уровня квалификации может выполнять работы i -го типа от первого до j -го уровня сложности включительно; $U_{s,ij}(T)$ – объем работ (в часах), который может быть выполнен специалистом i -й профессии j -го уровня квалификации в течение заданного интервала времени T ; C_{ij} – цена услуг специалиста i -й профессии j -го уровня квалификации, привлеченного для выполнения работ (руб./час); если для S -го специалиста устанавливается индивидуальная расценка работ, то для обозначения этого факта следует использовать дополнительный индекс, тогда следует обозначать цену как $C_{s,ij}$ (руб./час); Θ – множество структурных характеристик: количество мест в очереди для ожидания обслуживания, количество «одновременно» обслуживаемых заявок, матрица связей исполнителей, способ взаимосвязи очередей с каналами, приоритеты обслуживания.

Исследуемый процесс характеризуется следующими показателями: $K_3(T)$ – количество заявок, обслуженных за интервал времени T ; μ_3 – среднее количество заявок, обслуживаемых за единицу времени; $K_{3,0}(T)$ – количество заявок, получивших отказ в обслуживании за интервал времени T ; $\mu_{3,0}$ – среднее количество заявок, получивших отказ в обслуживании за единицу времени; $m(T)$ – количество сотрудников, занятых обслуживанием за интервал времени T ; $\overline{t_{3,оч}}$ – средняя продолжительность пребывания заявки в очереди на обслуживание; $P(T) = D(T) - R(T)$ – величина прибыли компании за период времени T , где $D(T) = \sum_q \sum_i \sum_j l_{q,ij} v_{q,ij} C_{q,ij}$ – величина доходов компании за период времени T ; $D_{cp,T} = D(T)/T$ – средний доход в единицу времени; $l_{q,ij}$ – количество заявок i -го типа j -го уровня сложности, выполненных по q -му проекту; $R(T) = \sum_i \sum_j g_{ij} H_{ij}$ – величина расходов (затрат на обслуживание клиентов) компании за период времени T , где $g_{ij,k}$ – количество сотрудников i -й профессии j -го уровня квалификации, выполнявших обслуживание заявок; H_{ij} – норматив расходов на одного сотрудника i -й профессии j -го уровня квалификации.

Случайными величинами в данной модели являются: интенсивность поступления заявок $\lambda_{q,ij}$, уровень сложности $R_{q,ij}$, объем работ по заявке $v_{q,ij}$, объем работ, который может быть выполнен специалистом в течение заданного интервала времени, $U_s(T)$ в часах.

Оптимизируемым параметром является количество специалистов i -й профессии и j -го квалификационного уровня $g_{ij}(T)$, привлекаемых на заданное время T .

Количество заявок j -го типа за время T зависит от количества сопровождаемых компанией проектов и интенсивности поступления заявок на обслуживание по каждому проекту: $k_j(T) = \sum_{q_j} M_q T_q$, где q_j – количество проектов j -го типа; M_q – средняя интенсивность поступления заявок по q -му проекту; T_q – продолжительность сопровождения q -го проекта.

В обобщённой постановке задача формулируется следующим образом: компании необходимо обеспечить обслуживание поступающих заявок с максимизацией прибыли $P(T)$ в течение заданного интервала времени T при обеспечении требуемого уровня качества работ (минимизация неоплачиваемых клиентами работ по рекламациям).

Значение целевой функции должно определяться при следующих ограничениях:

$$\sum_{q(k)} \sum_{i(k)} \sum_{j(k)} l_{q,ij,k} v_{q,ij,k} \leq \sum_{i(k)} \sum_{j(k)} g_{ij,k} U_{ij}(T).$$

Выполнен анализ свойств математических и имитационных моделей, а также средств имитационного моделирования, результаты которого позволили определить модели для исследования процессов обслуживания в ИТК.

В зависимости от целей и задач анализа процессов обслуживания в ИТК могут использоваться различные модели систем массового обслуживания (СМО) и сетей массового обслуживания (СеМО), в частности: многоканальные СМО с диспетчеризацией и очередями у обслуживающих каналов; многоканальные СеМО с диспетчеризацией и с очередями; многоканальные СеМО с диспетчеризацией, очередями канала и централизованным перераспределением заявок и др.

Установлено, что для разработки имитационных моделей деятельности ИТК рационально применение методики многоподходного имитационного моделирования, позволяющей объединить в одной модели различные методологии моделирования (в случае ИТК – дискретно-событийное и агентное моделирование). В результате анализа средств разработки имитационных моделей для исследования выбрана система AnyLogic, имеющая ряд преимуществ перед другими аналогичными системами.

Во **второй главе** приведены результаты исследования вопросов применения моделей и методов теории массового обслуживания для анализа деятельности ИТК. Составлена классификация моделей процессов обслуживания в форме СМО и СеМО по информационным признакам, включающая варианты применения математических и имитационных моделей для анализа и оптимизации процессов обслуживания (таблица 1) и сформулированы варианты интерпретации различных моделей для анализа деятельности ИТК.

Модель деятельности ИТК в форме одноканальной СМО с очередью из m мест ($M|M|1|m$) позволяет получать оценки значений показателей эффективности процесса обслуживания, в частности, стоимостных характеристик за произвольный период времени t : объем выручки $S_d(t) = D_{об} A t$, где A – абсолютная пропускная способность СМО, $D_{об}$ – оценка значения дохода от обслуживания

одной заявки (руб./ед.), при этом можно использовать различные оценки $D_{об}$: плановые (оптимистическая $D_{об,маx}$, пессимистическая $D_{об,миn}$, средняя $D_{об,ср}$) или соответствующие предшествующим статистическим данным; упущенная выгода: $U_d(t) = p_{отк} D_{об} A t$.

Таблица 1 – Классификация моделей в зависимости от информационных признаков

Поступление (приём) заявок	Перераспределение заявок			
	отсутствует	через «центр»	по «горизонтали»	смешанная схема
1) через «центр»	СМО $F_e T n m$ $F_e N_T n m$ $F_e N_L n m$	МИМ, 1 1	МИМ, 1 n	МИМ, 1 n+1
2) через исполнителей	СМО $F_k T n m$ $F_k N_T n m$ $F_k N_L n m$	МИМ, m 1	МИМ, n n	МИМ, n n+1
3) смешанная схема	СМО $F_k T n m$ $F_k N_T n m$ $F_k N_L n m$	МИМ, n+1 1	МИМ, n+1 n	МИМ, n+1 n+1

При использовании модели в форме многоканальной (n -канальной) СМО с очередью из m мест ($M|M|n|m$) значения стоимостных характеристик процесса обслуживания с ограничением продолжительности пребывания в очереди за произвольный период времени t модели оцениваются следующим образом: объем выручки $S_d(t) = D_{об} A_{м,орг} t$; упущенная выгода: $U_d(t) = D_{об} \bar{v} r t$. В данной модели абсолютная пропускная способность определяется на основании того, что в очереди содержатся в среднем \bar{r} заявок; в единицу времени уходят $\bar{v} \bar{r}$ заявок, а приходят λ заявок; оставшиеся заявки будут обслужены.

Для использованных в работе моделей разработаны диаграммы состояний в форме графов переходов, например, граф для многоканальной СМО с диспетчеризацией (рисунок 3) содержит состояние S_1 (анализ требований поступившей заявки, все каналы свободны), которое соответствует одному из этапов процесса обслуживания, и состояние S_{n+2} , из которого выполняется отказ от обслуживания с интенсивностью v ; можно принять $v=\lambda$, и это состояние не рассматривать.

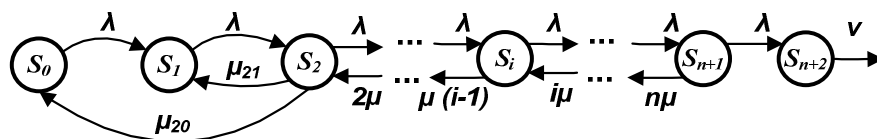


Рисунок 3 – Граф переходов для многоканальной СМО с диспетчером и общей очередью

Особенностью модели является наличие возможности возврата из состояния S_2 в состояние S_0 или S_1 ; при этом значения интенсивностей определяются как: $\mu_{20} = \mu p_{20}$; $\mu_{21} = \mu p_{21}$, где p_{20} и p_{21} – вероятности перехода из состояния S_2 в состояние S_0 и S_1 , соответственно, и $p_{20} + p_{21} = 1$. Показано, что если $p_{21} \gg p_{20}$, то $p_1 \gg p_0$, и в этом случае можно пренебречь состоянием S_0 ; тогда, при относительно малой вероятности перехода из S_2 в S_0 , получим, что можно данную модель заменить известной моделью «гибели и размножения» для вычисления оценок показателей.

В модели с централизованным распределением и перераспределением заявок могут использоваться очереди: общая (у диспетчера), у исполнителей или обе разновидности очередей (рисунок 4). При возникновении перегрузки исполнителей диспетчер может выполнить перераспределение заявок (назначение других исполнителей, если это возможно).

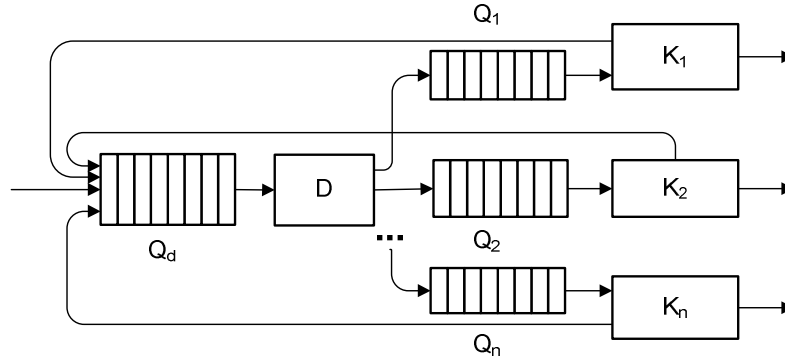


Рисунок 4 – Модель многоканальной СМО с диспетчером и центральным перераспределением заявок

СМО может иметь следующие состояния (рисунок 5): S_0 – ожидание поступления заявки, все каналы свободны; S_1 – анализ требований (содержания) поступившей заявки, все каналы свободны, назначение исполнителя и передача ему заявки; S_2 – анализ требований очередной поступившей заявки, один канал занят, $n-1$ каналов свободны, и т.д.; S_{n+1} – анализ требований очередной поступившей заявки, n каналов заняты, назначение i -го исполнителя, размещение заявки в очереди Q_i ; S_{n+2} – анализ требований очередной поступившей заявки, очереди всех n каналов заняты, размещение заявки в очереди Q_d ; S_{n+3} – анализ требований очередной поступившей заявки, n каналов заняты, очередь Q_d занята, отказ в обслуживании; S_{n+4} – все каналы заняты, анализ заявки на перераспределение (внутренняя заявка).

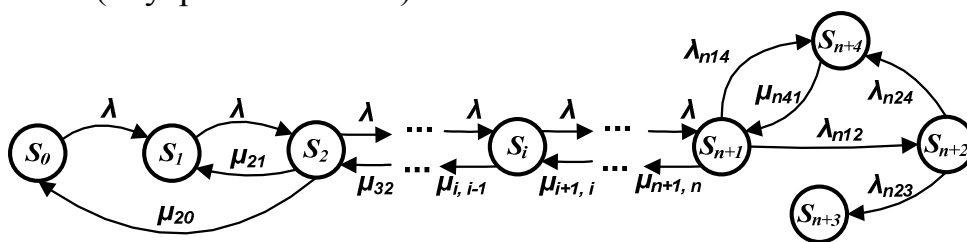


Рисунок 5 – Граф переходов для многоканальной СМО с диспетчером и центральным перераспределением заявок при занятости всех исполнителей

Когда заняты обслуживанием все n каналов, может выполняться перераспределение заявок между исполнителями, что показано на графе переходов в виде дуг между состояниями S_{n+1} , S_{n+2} и S_{n+4} (см. рисунок 5); при этом значения интенсивностей переходов можно определить следующим образом:

$$\lambda_{n12} = \lambda p_{n12}, \lambda_{n14} = \lambda p_{n14}, \lambda_{n23} = \lambda_{n12} p_{n23}, \lambda_{n24} = \lambda_{n12} p_{n24},$$

где p_{n12} , p_{n14} , p_{n23} , p_{n24} – вероятности перехода из состояния S_{n+1} в состояния S_{n+2} и S_{n+4} , из состояния S_{n+2} – в состояния S_{n+3} и S_{n+4} , соответственно; при этом $p_{12} + p_{14} = 1$; $p_{23} + p_{24} = 1$; $\mu_{n41} = \lambda_{n14} + \lambda_{n24}$.

В отличие от предыдущей модели (см. рисунок 3) в связи с наличием очередей у каналов и возможностью выполнения функции перераспределения заявок значение интенсивности выходного потока для каждого состояния будет индивидуальным ($\mu_{32}, \mu_{43}, \dots, \mu_{i+1,i}, \dots$), поэтому для получения выражений для оценки значений характеристик данной СМО можно использовать обобщённый подход на основе системы уравнений Колмогорова. Задавая значения интенсивностей переходов можно получить ряд частных решений, соответствующих стационарному режиму обслуживания.

Модели для анализа процессов обслуживания заявок-проектов должны обеспечивать возможность представления непоследовательных и сложных переходов между этапами, поэтому возможно использование сетей массового обслуживания, представляющих собой последовательно-параллельные соединения отдельных СМО.

Получены выражения для оценки значений стоимостных характеристик процесса обслуживания за произвольный период времени t на основе модели в

форме СеМО: объем выручки $S_d(t) = D_{об}t / \overline{\Theta}_c$, где $\overline{\Theta}_c = \sum_{i=1}^N \alpha_i \bar{t}_{ci}$, $\bar{t}_{ci} = \bar{k}_i / \lambda_i$ – среднее время пребывания заявки в i -й СМО, α_i – коэффициент передачи, $\lambda_i = \alpha_i \lambda_0$; упущенная выгода $U(t) = D_{об} v r t$.

В **третьей главе** выполнена разработка мультиагентных имитационных моделей для анализа характеристик процессов обслуживания заявок, связанных с сопровождением информационных систем, включая определение классов, объектов, их атрибутов, операций и алгоритмов реализации. Для рассмотренных вариантов перераспределения заявок разработаны мультиагентные имитационные модели, соответствующие различным вариантам классификации (см. таблицу 1) и включающие два вида «агентов»: «Менеджер» и «Специалист», которые взаимодействуют с клиентами и между собой. Возможности взаимодействия определяются составом функций, которые может выполнять агент. Каждый агент представляется соответствующим классом программных объектов: Manager, Specialist, взаимодействие которых представляется диаграммами кооперации (взаимодействия) в нотации UML; например, схема модели «МИМ, $m+1|m+1$ » включает классы объектов Manager и Specialist (рисунок 6) с определенными функциями (таблица 2). Разработаны алгоритмы действий агентов для всех классов объектов. Разработанная в среде AnyLogic 6 многоподходная имитационная модель включает шесть блоков – типов программных объектов, два из которых («Клиенты» и «Фирма») представляют взаимодействие на контекстном уровне: «Клиенты» периодически формируют заявки, которые обрабатывает «Фирма». Объект «Фирма» включает в себя блоки приема заявок, их распределения и обработки. Блок «Статистика» предназначен для сбора, расчета и графического представления необходимых показателей модели: выручка и потери; доходы, расходы, прибыль; длина очереди.

Таблица 2 – Функции классов модели «МИМ, $m+1|m+1$ »

Класс	Функции класса
Manager	прием заявок; перераспределение заявок
Specialist	прием заявок; перераспределение заявок; исполнение заявок

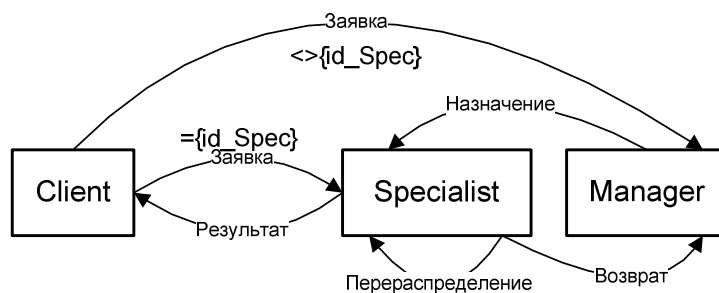


Рисунок 6 – Диаграмма взаимодействия объектов модели «МИМ, $m|m+1$ »

Контекстный уровень, в рамках которого производится взаимодействие фирмы и клиентов, реализован с помощью класса **Main**, который содержит 32 атрибута и вложенные объекты **client** и **firm**, моделирующие действия клиентов и фирмы, соответственно. Процесс обслуживания поступающих в объект класса **Firm** заявок описывается с помощью дискретно-событийного моделирования с использованием объектов библиотеки Enterprise Library (рисунок 7).

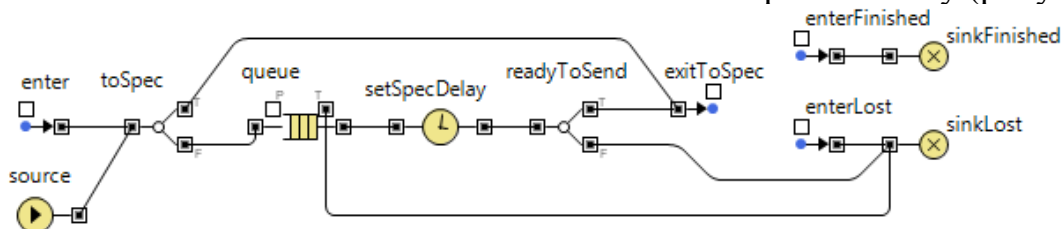


Рисунок 7 – Диаграмма класса Firm

Поведение клиентов моделируется активным объектом класса **Client** (агент) и описывается соответствующей диаграммой состояний (**statechart**). Деятельность специалистов ИТК, выполняющих обработку заявок клиентов, моделируется с помощью объектов класса **Specialist**, который имеет четыре параметра. Класс **Specialist** является агентом, что позволяет моделировать произвольное децентрализованное поведение отдельных экземпляров объектов и их взаимодействие.

Процесс обработки заявки специалистом достаточно детерминирован и моделируется с помощью инструментария дискретно-событийного моделирования и объектов библиотеки Enterprise Library (рисунок 8).

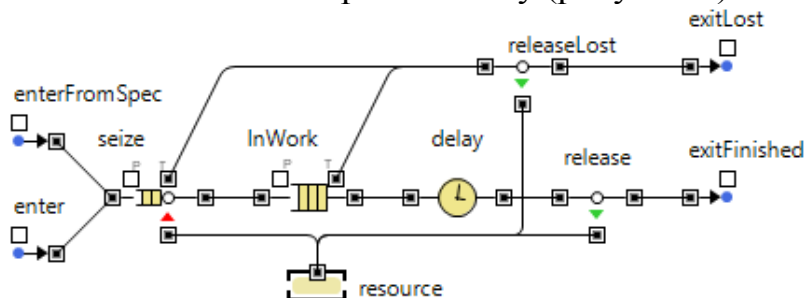


Рисунок 8 – Модель процесса обработки заявки; диаграмма класса Specialist

В имитационной модели созданы следующие виды экспериментов: простой эксперимент, парный (сравнительный) прогон, анализ чувствительности, оптимизационный эксперимент. Оптимизационный эксперимент позволяет найти значения параметров, при которых достигается экстремальное значение целевой функции, а также изучить поведение модели при заданных условиях (рисунок 9).

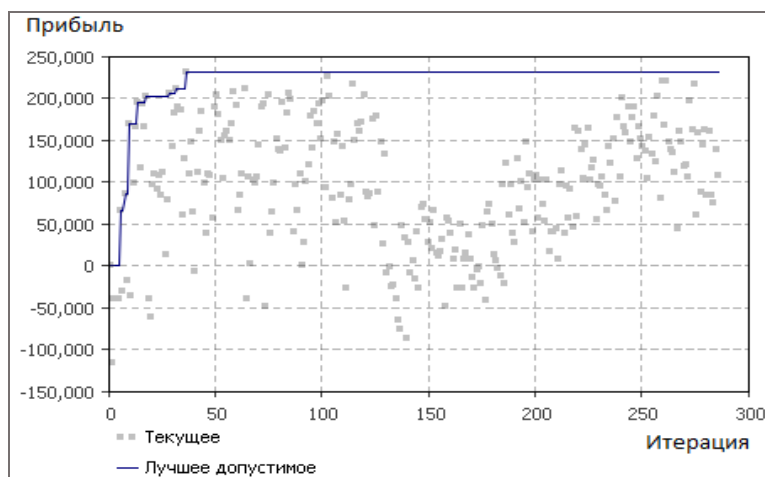


Рисунок 9 – Результаты оптимизационного эксперимента

Выполнено исследование адекватности разработанных моделей, результаты которого показали, что разработанные имитационные модели, основанные на дискретно-событийном и агентном подходах, с достаточно высокой точностью представляют деятельность ИТК.

Выполнено планирование эксперимента, включающее определение переменной отклика (выбран базовый показатель – прибыль за указанный период времени) и выделение существенных факторов: входные переменные (процент выручки, зачитываемый как доход; заработная плата менеджера; оклад специалиста; стоимость часа работ специалиста), внешние (экзогенные) переменные (интенсивность поступления заявок; объем работ по заявке; количество типов обслуживаемых систем). В результате эксперимента выявлены факторы, наиболее сильно влияющие на переменную отклика (получаемую прибыль): количество специалистов различной квалификации; количество новых специалистов; коэффициент задержки при обработке заявки; тип поступления (приема) заявок; способ распределения заявок.

Проведена серия экспериментов для анализа зависимости способа распределения заявок от доли новых сотрудников в составе специалистов и при варьировании значений двух факторов: количество новых специалистов и способ распределения заявок. Результаты эксперимента представляются в форме временного графика количества заявок в очередях у специалистов (рисунок 10).

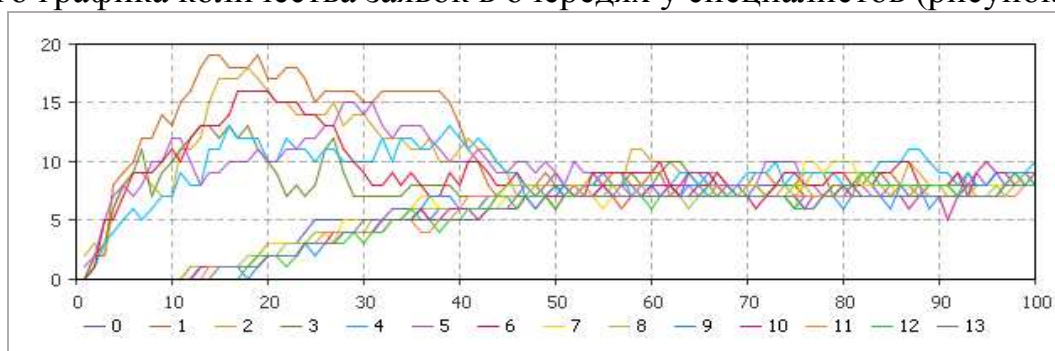


Рисунок 10 – Изменение длины очереди к специалистам

Таким образом, разработанные адекватные многоподходные имитационные модели для анализа характеристик процессов обслуживания заявок в ИТК

позволили выполнить ряд экспериментальных имитационных исследований организационных структур и получить информацию о возможности их оптимизации и прогнозирования показателей деятельности.

В четвертой главе выполнен анализ применения многоподходных имитационных моделей в системе поддержки принятия решений (СППР) для управления организационными ресурсами. Компонентная модель СППР содержит базу данных, базу моделей и программную систему, которая состоит из трех подсистем: системы управления базой данных (СУБД), системы управления базой моделей (СУБМ) и системы управления пользовательским интерфейсом. Разработан вариант СППР для управления организационными ресурсами, которая взаимодействует с внешними системами с использованием различных форматов представления данных (txt, csv, xml, dbf и др.): системой управления проектами MS Project, из которой могут быть получены подготовленные планы, списки задач, ресурсов, исполнителей, в эту систему могут быть выгружены назначения задач исполнителям, распределение ресурсов; автоматизированной информационной системой управления предприятием, в которой накапливаются данные по взаимодействиям с клиентами, позволяющие получать статистические характеристики информационных процессов, из системы могут быть получены данные о клиентах (тип системы, количество АРМ и т.п.), исполнителях (актуальный кадровый состав организации, отпуска), в систему могут быть выгружены планы продаж, списки потенциальных клиентов, плановая загрузка и потребности в ресурсах; системой статистического анализа данных и прогнозирования. Центральной частью программного комплекса являются таблицы базы данных и база моделей (репозиторий). База данных «Проекты и эксперименты» хранит информацию о выполняемых проектах и проводимых экспериментах с моделью, в ней хранятся результаты выполнения экспериментов, на основе сравнения которых производится выбор альтернатив и принятие решений. Разработанные модели данных зарегистрированы в Государственном реестре баз данных.

База данных «Данные для экспериментов» содержит исходные данные для моделирования, которые поступают из различных источников данных: автоматизированной системы управления предприятием (на базе 1С:УПП) и системы управления проектами (MS Project); при этом оператор может выполнять ввод и редактирование данных. Репозиторий моделей представляет собой структурированное файловое хранилище, реализующее доступ к перечню используемых в программном комплексе имитационных моделей. Разработка и модификация моделей производится в системе AnyLogic.

В диссертации разработан сценарий использования автоматизированной системы управления организационными ресурсами (АСУОР) в форме диаграммы деятельности в нотации UML (рисунок 11).

Разработка адекватной модели деятельности компании, средств ее анализа и формирования на ее основе оптимальных организационных структур обеспечивает повышение эффективности процессов управления персоналом, дает возможность решать следующие задачи: определение необходимого количест-

ва и квалификации персонала, планирование набора персонала, планирование обучения и подготовки специалистов. Потенциальными пользователями АСУОР являются: топ-менеджмент и руководители различных уровней, бизнес-аналитики, сотрудники плановых отделов, сотрудники кадровой службы, участники бизнес-процессов. Модель применения включает следующие основные пользовательские функции: управление файлами (проектами), редактирование сведений о ресурсах, калибровка модели, расчет показателей эффективности, сравнение наборов параметров, оценка влияния параметров на показатели эффективности, определение оптимальных параметров.

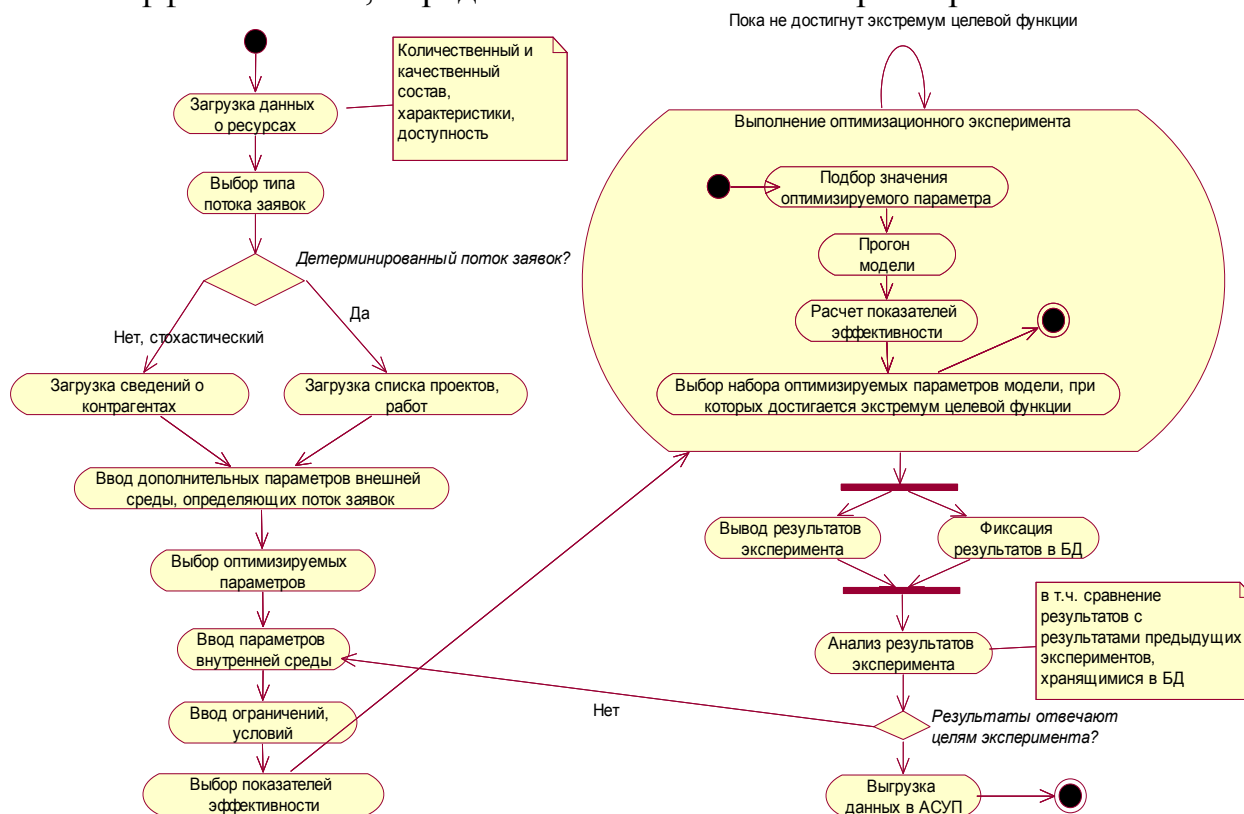


Рисунок 11 – Диаграмма деятельности АСУОР

Функция «Проведение эксперимента» позволяет пользователю выполнить указанные выше эксперименты с использованием многоподходной имитационной модели. Для реализации АСУОР разработаны объектно-ориентированные модели предметной области и реляционные модели данных, объединённые в пакеты по назначению информации: файлы проекта (совокупность данных со сведениями о текущем рабочем проекте пользователя), ресурсы (сведения о ресурсах организации, их составе, характеристиках, доступности), проекты контрагентов (информация об объектах внешней среды – контрагентах предприятия, выполняемых проектах и работах по этим проектам), моделирование (сведения о параметрах имитационной модели, настройках экспериментов с имитационной моделью, их результатах). Интерфейс программного обеспечения «Монитор» имеет иерархическую структуру, на верхнем уровне которой находятся функции: управление файлами проекта, настройка параметров, дерево экспериментов.

Заключение содержит формулировки полученных научных и практических результатов.

В **приложениях** приведены статистические данные, модели данных для накопления информации о производственных процессах, выполнения имитационного моделирования и оптимизации организационных ресурсов, а также акты внедрения результатов исследований.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В результате проведённых исследований получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Определен состав параметров и характеристики показателей для моделей информационных процессов информационно-технологической компании, состав процессов обслуживания, организационных ресурсов и законов распределения количества заявок и интервалов времени между заявками клиентов.

2. Разработаны варианты структурных моделей многоканальных систем массового обслуживания с диспетчеризацией заявок для представления процессов обслуживания различных видов заявок.

3. Разработаны структурные модели для формализации непоследовательных и сложных переходов между этапами процессов обслуживания в форме сетей массового обслуживания, представляющих собой последовательно-параллельные соединения отдельных систем массового обслуживания, соответствующие им графы переходов и математические модели, позволяющие оценивать значения характеристик процессов обслуживания.

4. Обосновано применение многоподходных имитационных моделей в процессах управления организационными ресурсами информационно-технологической компании для повышения эффективности производственной деятельности.

5. Разработаны многоподходные имитационные модели для анализа характеристик процессов обслуживания заявок, связанных с сопровождением информационных систем, включая определение классов, объектов, их атрибутов, операций и алгоритмов реализации.

6. Выполнено исследование адекватности разработанных моделей, результаты которого показали, что разработанные имитационные модели, основанные на дискретно-событийном и агентном подходах, с достаточно высокой точностью представляют деятельность информационно-технологической компании.

7. Разработана модель системы поддержки принятия решений для процесса управления организационными ресурсами информационно-технологической компании, включающая многоподходные имитационные модели и позволяющая использовать оперативные и статистические данные для оценивания и прогнозирования показателей качества деятельности компании.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Митрошин, С.Г. Многоподходное имитационное моделирование для оптимизации состава специалистов консалтинговой компании / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин // Программные продукты и системы. – 2012. – № 1. – С. 142–145.
2. Митрошин, С.Г. Анализ условий использования многоподходного имитационного моделирования для оптимизации состава специалистов IT-компании / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин, С.В. Ханислямова // Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В.Г. Белинского. – 2012. – № 30. – С. 295–301.
3. Митрошин, С.Г. Модель системы управления организационными ресурсами IT-компании с использованием имитационного моделирования / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – Вып. 05 (09). – С. 176–180.

Публикации в других изданиях

4. Митрошин, С.Г. Бизнес-моделирование в условиях малого и среднего бизнеса / С.Г. Митрошин // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы девятой международной научно-методической конференции. – Воронеж, 2009. – С. 531–535.
5. Митрошин, С.Г. Анализ возможностей применения программных средств интеллектуального анализа данных в бизнесе / С.Г. Митрошин // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: Сборник статей XXIII международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2009. – С. 80–84.
6. Митрошин, С.Г. Формирование моделей бизнес-процессов на основе результатов имитационного моделирования / С.Г. Митрошин // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сборник статей IX международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2009. – С. 322–324.
7. Митрошин, С.Г. Сравнительный анализ методов оценки риска / С.Г. Митрошин // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сборник статей X международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. – С. 208–210.
8. Митрошин, С.Г. Планирование персонала на основе моделирования деятельности консалтинговой компании / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: Сборник статей международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2011. – С. 49–52.
9. Митрошин, С.Г. UML-модель функционального состава автоматизированной системы управления организационными ресурсами / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин, Д.В. Смирнов // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: Сборник статей III международной научно-

практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2013. – Вып. 1. – С. 23–27.

10. Митрошин, С.Г. Применение моделей теории массового обслуживания для анализа деятельности ИТ-компаний / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: Сборник статей IV международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 78–83.

Зарегистрированные базы данных

11. Митрошин, С.Г. Параметры имитационных моделей деятельности ИТ-компаний / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин, Д.В. Смирнов // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620476 от 04.04.2013 г.

12. Митрошин, С.Г. Характеристики проектов ИТ-компаний / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин, Д.В. Смирнов // Свидетельство о государственной регистрации базы данных для ЭВМ № 2013620478 от 04.04.2013 г.

МИТРОШИН Сергей Геннадьевич

**МНОГОПОДХОДНЫЕ ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ**

Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Редактор Л.Ю. Горюнова
Корректор А.Ю. Тощева
Компьютерная верстка Т.А. Антиповой

Сдано в производство 17.03.15. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Суг.
Уч.-изд л. 1,35. Усл. печ. л. 1,34. Заказ № 2560. Тираж 100

Пензенский государственный технологический университет
440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1^а/11

