

На правах рукописи

ПЕТРЕЧЕНКО ВАСИЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ
НА ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Специальность 08.00.13 - Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

МОСКВА
2011

Работа выполнена на кафедре экономической информатики экономического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: доктор экономических наук,
профессор Лугачев Михаил Иванович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор экономических наук,
профессор Тамбовцев Виталий Леонидович

кандидат экономических наук,
доцент Замков Олег Олегович

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: Высшая школа бизнеса
Государственного университета управления

Защита состоится 14 апреля 2011 г. в 17:00 на заседании объединенного диссертационного совета Д 501.001.35 при МГУ имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 46, корпус 3, экономический факультет, аудитория 455.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке МГУ, отдел 2 учебного корпуса, 119899, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, 2-ой учебный корпус, 1 этаж.

Автореферат разослан 10 марта 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат экономических наук, доцент

Е.А. Туманова

I. Общая характеристика работы

Актуальность исследования

За прошедшие два десятилетия информационные технологии (ИТ) нашли широкое применение в бизнесе. Рост расходов корпораций на внедрение и поддержку ИТ обусловил потребность в экономических и управленческих моделях, позволяющих повысить эффективность службы информационных систем (СИС) – подразделения, отвечающего за использование ИТ на предприятии. Важнейшим достижением в этой области стал переход к сервисной парадигме, в центре которой находятся процессы поддержки ИТ-сервисов – услуг, предоставляемых с использованием информационных технологий и направленных на поддержку бизнес-процессов компании.

Внедрение современных моделей управления ИТ-службой ставит задачу регулярной балансировки цены и качества предоставляемых сервисов. Оставляя бизнес-заказчику возможность самостоятельно оценивать положительное влияние ИТ-сервисов на деятельность компании, ИТ-служба должна точно прогнозировать необходимый объём ресурсов и бюджет поддержки. Чтобы делать подобные расчёты эффективно и быстро, руководство службы должно быть способно рассчитывать собственные расходы в зависимости от требований к скорости и качеству обслуживания пользователей, что обуславливает высокую практическую востребованность разработки такой модели.

Несмотря на большое количество появившихся за последние десять лет экономических подходов к прогнозированию затрат на поддержку ИТ-сервисов, сохраняется актуальность теоретических исследований в данном направлении. Существующие модели игнорируют случайную природу процессов поддержки ИТ-сервисов, что, в частности, не позволяет корректно учитывать влияние качества обслуживания на эксплуатационные расходы службы информационных систем и может приводить к появлению ошибок при составлении бюджета. Другим открытым вопросом пока остаётся планирование резервов ресурсов, которые требуются для обеспечения заданного уровня обслуживания.

Между тем, практика работы телекоммуникационной отрасли показывает, что использование теории массового обслуживания (ТМО) позволяет значительно улучшить прогнозные оценки при планировании ресурсов поддержки и инвестиций в информационные технологии. Поэтому интеграция основных подходов массового обслуживания в современные экономико-математические модели службы информационных систем является актуальной теоретической задачей.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является прогнозирование эксплуатационных расходов предприятия на информационные технологии в зависимости от количественных и качественных характеристик ИТ-сервисов и с учётом вероятностной природы процессов поддержки.

Для достижения цели работы были поставлены и решены следующие задачи:

- Проанализировать современные модели управления информационными технологиями и выбрать из них наиболее подходящую для оценки эксплуатационных расходов службы информационных систем по параметрам распространённости и детализации.
- Классифицировать существующие подходы к прогнозированию затрат на информационные технологии и обосновать выбор базовой экономической модели, позволяющей связать требования к ИТ-сервисам с ресурсами процессов поддержки.
- Выявить связи между целевыми характеристиками обслуживания, параметрами операций процессов предоставления и поддержки ИТ-сервисов, необходимым уровнем ресурсов и эксплуатационными затратами ИТ-службы.
- Проанализировать процессы поддержки, операции которых инициируются случайными событиями, с целью выявления механизмов влияния качества обслуживания на объём резервов ресурсов в подобных процессах.
- Сформулировать в терминах выбранной экономической модели задачу расчёта необходимого уровня ресурсов, используемых в процессах поддержки, которые носят вероятностный характер, а также выделить модели массового обслуживания и имитационного моделирования, которые могут применяться для расчёта требуемого количества таких ресурсов;
- Определить гипотезы, тестирование которых необходимо для применения на практике теории массового обслуживания и методов имитационного моделирования, а также указать источники статистики, которая используется для проверки этих гипотез.
- Разработать экономико-математическую модель ИТ-сервисов с учётом необходимости поддержания резервов ресурсов для процессов, имеющих вероятностную природу;
- Выработать методику применения предложенной модели для прогнозирования эксплуатационных расходов службы информационных систем.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования выступает служба информационных систем крупного предприятия (ИТ-служба), целью деятельности которой является предоставление ИТ-сервисов бизнес-заказчику. Под ИТ-сервисом понимается необходимая для выполнения производственных или вспомогательных операций услуга, предоставляемая с помощью информационных технологий. Предмет исследования заключается в анализе связей между характеристиками ИТ-сервисов, параметрами процессов поддержки, необходимым уровнем ресурсов и эксплуатационными расходами службы информационных систем.

Теоретическая и методологическая основа

Теоретическую основу исследования составляют известные работы российских и зарубежных ученых в области экономики информационных технологий, включая работы Э. Бриньолфсона, П. Вэриана, Н. Карра, М.И. Лугачева, К.Г. Скрипкина, П. Страссманна и П. Тёрни. Среди российских публикаций по экономике ИТ-сервисов и моделям управления ИТ можно выделить работы К.И. Ананьина, Р.В. Журавлёва, Л.В. Канторовича, Г.Б. Клейнера, В.Л. Макарова, Б.З. Мильнера и В.Л. Тамбовцева,

Концептуальную основу диссертации составляют модели Библиотеки инфраструктуры информационных технологий (*ITIL – Information Technology Infrastructure Library*). Базовой управленческой моделью является Модель процессов предоставления и поддержки ИТ-сервисов (*ITSM v3 – Information Technology Service Model version 3*), изложенная в третьей редакции ITIL в 2007 году. Работа базируется на ресурсной модели П. Тёрни, а также на модели совокупной стоимости владения ИТ-сервисом К.Г. Скрипкина.

Используемый в работе математический инструментарий охватывается теорией вероятностей, теорией массового обслуживания, линейной алгеброй, а также методами математической статистики по тестированию гипотез и методами имитационного моделирования, включая метод Монте-Карло.

При апробации методики использовались данные отдела эксплуатации инженерных систем Центрального банка России. В ходе проекта была разработана оригинальная программная модель планирования эксплуатационных расходов на базе *Microsoft Excel* и *Visual Basic for Applications*. Имитационное моделирование примеров проводилось в *Extend 6*. Тестирование гипотез осуществлялось в пакете *Statistica 7*. Для решения аналитических задач использовался *MathCAD 12*.

Научная новизна исследования

Научную новизну работы составляют следующие результаты:

1. Показано на основании теории организационных структур Минцберга, что для описания деятельности службы информационных систем наиболее пригодными являются процессные модели предоставления и поддержки ИТ-сервисов. Обосновано использование модели ITSM v3 в качестве базовой управленческой модели, как наиболее распространённой, независимой и открытой модели этого класса.

2. Предложена классификация существующих подходов к прогнозированию затрат на информационные технологии, на основании которой выбрана ресурсная модель ИТ-сервиса в качестве базовой экономической модели, соответствующей поставленной цели исследования. Показано, что существующие модели затрат игнорируют случайную природу процессов поддержки, имеют линейную структуру и исключают из рассмотрения категорию резервов, что может приводить к появлению системной ошибки при планировании.

3. Разработана модификация ресурсной модели для процессов, имеющих случайную природу, принципиальными отличиями которой являются прогностическая направленность и введение категории резервов. Выявлен нелинейный характер связей между характеристиками ИТ-сервисов, операциями поддержки и необходимым объёмом ресурсов для процессов, операции которых инициируются случайными событиями. Обосновано введение векторных функций, связывающих конечные услуги, виды деятельности и ресурсы в модели учёта затрат по видам деятельности. Предложена модификация ресурсной модели на случай нелинейных функций связи между основными параметрами.

4. Показана вероятностная природа пяти процессов эксплуатации сервисов и управления изменениями в модели ITSM v3, операции которых инициируются случайными событиями. Выделены ресурсы данных процессов, требующие резервирования для обеспечения заданного уровня обслуживания. Обоснована необходимость привлечения моделей ТМО и методов имитационного моделирования ранее не применявшихся для определения необходимого уровня запасов ресурсов.

5. Поставлена и решена задача нахождения распределения вероятностей в простейшей модели обслуживания с очередью для времени с момента поступления до момента выхода заявки из системы. Предложенная постановка более адекватна потребностям конечных пользователей в некоторых перечисленных ситуациях, чем классическая формула А.К. Эрланга.

6. Сформулированы гипотезы, требующие тестирования для корректного применения рассмотренных моделей массового обслуживания в процессе построения ресурсной модели ИТ-сервиса. Определены границы применимости этих моделей для прогнозирования эксплуатационных затрат службы информационных систем. Приведены источники статистики для оценки параметров моделей на практике.

7. Разработана экономико-математическая ресурсная модель ИТ-сервиса с учетом резервов, позволяющая планировать необходимый уровень ресурсов СИС и рассчитывать себестоимость обслуживания в зависимости от требований бизнеса. Отличительными чертами предложенной модели является включение в рассмотрение параметров качества обслуживания пользователей и планирование резервов ресурсов.

8. Выработана методика моделирования себестоимости ИТ-сервисов с учетом требований заказчиков к их качеству и объёму. Предложенная методика применена для оценки себестоимости сервисов в зависимости от числа поддерживаемых систем и требований к уровню обслуживания в одном из подразделений Центрального банка России.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертации заключается в развитии существующих экономических моделей прогнозирования расходов на информационные технологии за счёт применения математического аппарата теории массового обслуживания. Разработанная модель себестоимости ИТ-сервиса включает в рассмотрение планирование резервов ресурсов, связанное со случайной природой процессов поддержки ИТ-сервисов. Она позволяет устанавливать связь между качественными параметрами ИТ-сервисов (время восстановления, доля закрытых в допустимое время инцидентов) и затратами на их предоставление и поддержку.

Практическая значимость работы заключается в том, что ресурсная модель ИТ-сервиса с учетом резервов может применяться для более точного прогнозирования расходов на ИТ-сервисы при резких изменениях количественных характеристик обслуживания. Предложенная программная реализация и методика моделирования могут использоваться при планировании ресурсов СИС, что, с одной стороны, обеспечивает требуемый уровень обслуживания, а с другой – минимизирует расходы.

Апробация работы

Результаты работы были представлены на научном семинаре кафедры экономической информатики экономического факультета МГУ (ноябрь 2008 г.) Основные положения работы обсуждались в рамках Второй международной

конференции «Инновационное развитие экономики России: ресурсное обеспечение» (Москва, МГУ, апрель 2009 г.) Полученные результаты и разработанная ресурсная модель ИТ-сервисов использовались при преподавании курса экономической информатики на экономическом факультете МГУ и в магистратуре IBS в МФТИ.

Методика построения ресурсной модели с учетом резервов и программная реализация этой модели применялись в проекте расчета стоимости сервисов управления инженерной инфраструктурой Центрального банка России.

Публикации

Основные положения диссертации изложены в трех опубликованных работах общим объёмом 1,5 п.л. (1,5 п.л. лично), в том числе в журнале, входящем в перечень ВАК 0,5 п.л. (0,5 п.л. лично).

Логика и структура работы

Работа состоит из введения, четырёх глав и заключения, изложенных на 174 страницах, включая графики, рисунки, таблицы и библиографию. Логика исследования определила следующую структуру работы:

Введение

Глава 1. Современные подходы к управлению информационными технологиями

- 1.1. Актуальность контроля расходов на информационные системы
- 1.2. Задача управления информационными технологиями
- 1.3. Процессные модели управления информационными технологиями
- 1.4. Модели планирования затрат на информационные технологии
- 1.5. Выводы

Глава 2. Ресурсная модель ИТ-сервиса с учетом резервов

- 2.1. Математическая формализация ресурсной модели
- 2.2. Нелинейная ресурсная модель
- 2.2. Процессы модели ITSM, имеющие вероятностную природу
- 2.3. Выводы

Глава 3. Анализ случайных процессов поддержки

- 3.1. Формализация основной задачи теории массового обслуживания
- 3.2. Аналитическое решение задачи теории массового обслуживания
- 3.3. Имитационное моделирование методом Монте-Карло
- 3.4. Анализ исходных данных
- 3.5. Выводы

Глава 4. Практическое использование модели

- 4.1. Апробация ресурсной модели
- 4.2. Методика проведения моделирования
- 4.3. Выводы

Заключение

Библиография

II. Основное содержание работы

Глава 1. Управленческие и экономические модели ИТ-сервисов

В главе обсуждается использование современных подходов к задаче прогнозирования затрат на информационные технологии. В результате проведённого анализа делается выбор в пользу модели ITSM v3 (управленческая концепция) и ресурсной модели ИТ-сервиса (экономическая концепция).

Задача управления информационными технологиями

Прогнозирование эксплуатационных расходов СИС требует привлечения управленческой модели, которая детально и достаточно точно описывает особенности предметной области. Чтобы выбрать адекватную объекту исследования модель, нужно проанализировать механизмы управления, присущие деятельности ИТ-службы. Для этого был применён аналитический инструментарий теории организационных конфигураций Г. Минцберга, который выделяет пять основных механизмов координации субъектов экономической деятельности: взаимное согласование действий, прямой контроль, контроль на основе инструкций, контроль на основе профессиональной репутации и договорённость о конечных результатах.

Для взаимодействия между службой информационных систем и остальной организацией характерен механизм договорённости о результатах деятельности. Конечным итогом работы СИС являются ИТ-сервисы, предоставляемые пользователям. Понятие ИТ-сервиса включает в себя не только всю необходимую ИТ-инфраструктуру, но и работающие процессы поддержки, а также требуемый для этого персонал. Бизнес-заказчик и служба информационных систем совместно определяют объём потребления ИТ-сервисов и бюджет на их предоставление и поддержку.

В деятельности самой службы информационных систем преобладающим механизмом координации является контроль на основании должностных инструкций. Для эффективной координации работы обычно используются регламенты выполнения операций по предоставлению и поддержке ИТ-сервисов. Поскольку в использование и поддержку информационных технологий вовлечены сотрудники разных подразделений, операции объединяются в сквозные процессы, описывающие формальные правила начала и завершения каждого действия.

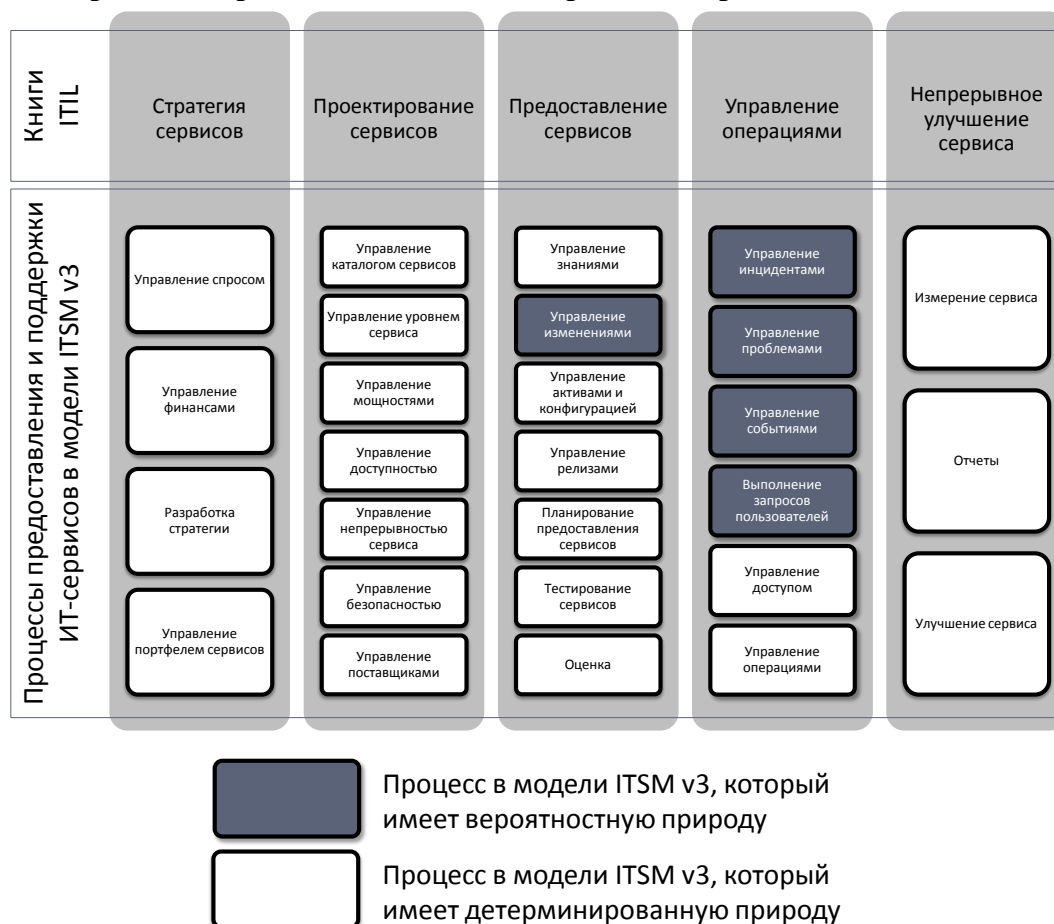
Применённый в работе к внешней и внутренней сторонам деятельности СИС аппарат теории организационных конфигураций выявил две ключевые особенности в моделировании расходов ИТ-службы: необходимость применения клиенто-ориентированного подхода и использование регламентов внутренних процессов. В

результате был сделан вывод о целесообразности применения процессных моделей управления сервисами для прогнозирования эксплуатационных расходов службы информационных систем.

Модель управления ИТ-сервисами

Концептуальную основу исследования составили изложенные в библиотеке ITIL модели, систематизирующие опыт в области управления ИТ. С одной стороны, именно в библиотеке ITIL была описана одна из первых квазирыночных моделей взаимодействия между службой информационных систем и бизнесом на основе предоставления ИТ-сервисов. С другой стороны, библиотека ITIL четко структурирована по процессам предоставления и поддержки ИТ-сервисов, то есть наилучшим образом подходит для описания процессной деятельности СИС. С учетом распространённости этой модели, в том числе в качестве базовой для различных коммерческих решений, именно ITIL была положена в основание настоящей работы.

Рис. 1. Процессы предоставления и поддержки ИТ-сервисов в модели ITSM v3



Источник: *no Service Lifecycle – Introduction ITIL (2007), составлено автором*

Центральное место в книгах ITIL занимает модель внутренних бизнес-процессов ИТ-службы ITSM. Эта модель описывает процессы управления, проектирования,

предоставления, эксплуатации и улучшения ИТ-сервисов (Рис. 1). Процессы ITSM документированы в терминах операций, метрик, ролей и других параметров, что позволяет построить на их базе детальную экономическую модель ИТ-сервиса. В настоящее время применяется третья версия модели, изложенная в изданиях 2007 года.

Экономические модели расходов на ИТ

Вслед за развитием процессных моделей управления, экономические модели, прогнозирующие расходы на ИТ, прошли определённый эволюционный путь, проанализированный в работе и обобщённый в Табл. 1. Во-первых, если в конце 80-х годов исследовались модели прогнозирования расходов, связанных с эксплуатацией определённой информационной системы, то в 90-е годы фокус сместился на оценку затрат на предоставление и поддержку ИТ-сервисов.

Таблица 1. Экономические модели расходов на информационные технологии

Название модели	Автор, издание и год публикации	Основные концепции моделей				
		Объектом являются ИТ-сервисы	Небюджетлируемые расходы учитываются	Анализируются виды деятельности	Анализируются будущие расходы	Учитываются параметры качества
Совокупная стоимость владения (CCV) информационной системой	Gartner Group, 1987	нет	да	нет	да	нет
Учет прямых издержек службы информационных систем	The Stationery Office, ITIL Service Delivery, 2001	да	нет	нет	нет	нет
Совокупная стоимость владения ИТ-сервисом на основе учета затрат по видам деятельности	К.Г. Скрипкин, Экономическая эффективность информационных систем, 2002	да	да	да	нет	нет
Модель управления спросом на ИТ-сервисы по видам деятельности	The Stationery Office, ITIL Service Strategy, 2007	да	нет	да	да	нет
Ресурсная модель ИТ-сервиса с учетом вероятностной природы процессов поддержки	Петреченко В.А., Связь цены и качества ИТ-услуг, 2006	да	нет	да	да	да

Источник: составлено автором

Во-вторых, модели расходов на информационные технологии описывают бюджетлируемые затраты, к которым относятся расходы на программное и аппаратное

обеспечение, сети передачи данных и периферийные устройства, заработная плата персонала СИС, услуги внешних подрядчиков, расходы на обучение, затраты на размещение СИС, транспортные расходы и так далее. В моделях оценки совокупной стоимости владения дополнительно выделяют небюджетируемые издержки, к которым относятся потери от простоев, затраты на само- и взаимоподдержку пользователей. Оценка таких расходов имеет определённое значение при принятии управленческих решений, но для задачи прогнозирования расходов СИС эти данные не используются.

Третьим фактором различия моделей расходов на ИТ является использование метода учета затрат по видам деятельности, разработанного в конце 80-х годов в работах Р. Купера и Р.С. Каплана. Современные экономические модели ИТ-сервиса базируются именно на этом методе, что позволяет анализировать расходы не только в разрезе конкретных сервисов, но и в разрезе операций их предоставления и поддержки.

Ограничения существующих моделей

Для целей прогнозирования эксплуатационных расходов СИС наиболее развитыми являются модели учёта затрат по видам деятельности, однако даже им присущ ряд недостатков. Во-первых, эти модели изложены применительно к ex post анализу себестоимости. Одной из отличительных особенностей разрабатываемого в диссертации подхода является ориентация на будущие расходы компании. Для оценки себестоимости в зависимости от объёма спроса обычно используется ресурсная модификация модели учета затрат по видам деятельности. Применительно к эксплуатационным расходам на ИТ-сервисы, сначала рассчитывается объём типовых операций СИС, потом оценивается требуемый объём ресурсов, а затем на основании прогнозов цен определяется нормативная себестоимость сервисов.

Другим выявленным недостатком существующих экономических моделей ИТ-сервиса является игнорирование стохастической природы процессов поддержки. В случае детерминированного времени начала и завершения производственных операций ресурсная модель позволяет достаточно точно прогнозировать изменение затрат при изменении выпуска. Однако, для некоторых процессов поддержки ИТ-сервисов (управление инцидентами, управление запросами пользователей) операции инициируются случайными событиями, а длительность выполнения этих операций является случайной величиной.

Для процессов, обладающих случайной природой, загрузка ресурсов близкая к 100% приводит к появлению очередей и снижению качества сервисов. В диссертации

показано, что для обеспечения требуемых условий обслуживания важно планировать ресурсы СИС с учетом резервов. Для этого автором поставлена задача интеграции моделей теории массового обслуживания в существующие экономические модели расходов на ИТ.

Глава 2. Ресурсная модель ИТ-сервиса с учётом резервов

Во второй главе для преодоления ограничений существующих подходов разрабатывается ресурсная модель, позволяющая использовать нелинейные функции вместо понятия фактора затрат. В результате анализа обосновывается тезис о необходимости привлечения теории массового обслуживания и имитационного моделирования при расчёте уровня резервов ресурсов.

Формализация ресурсной модели

Поскольку существующие работы по ресурсной модели лишь вербально описывают процедуру анализа, была проведена формализация постановки задачи в матричной форме, позволяющая выразить искомые затраты в зависимости от производственного плана, и пригодная для моделирования в табличном редакторе.

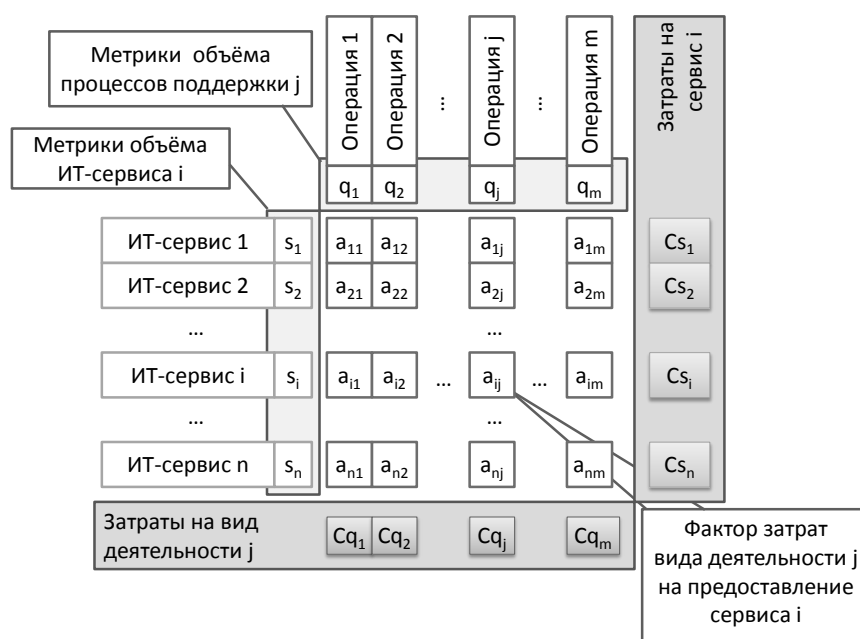
В классической модели учета затрат по видам деятельности фигурируют три основных категории: объекты затрат, виды деятельности и ресурсы. Построение модели включает два этапа: на первом этапе моделируется связь между объектами затрат и видами деятельности, а на втором – между видами деятельности и ресурсами. Ресурсное планирование на основе модели учета затрат по видам деятельности также осуществляется в два этапа: сначала, отталкиваясь от производственного плана, определяется спрос на ресурсы, а затем – рассчитывается нормативная себестоимость выпуска.

Объекты затрат в модели – это продукция или услуги, которые являются результатом деятельности компании или подразделения. В случае ресурсного планирования деятельности службы информационных систем объектом затрат выступает ИТ-сервис. Каждый объект затрат характеризуется количественными натуральными показателями $s_i, s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^d$ (метриками сервисов), один из которых s_i должен отражать объём выпуска, а остальные – качественные параметры выпуска. Для ИТ-сервиса метрикой объёма может выступать число пользователей, число транзакций, число распечатанных страниц и другие показатели. Метрики объёма образуют вектор выпуска $s = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n)$.

В качестве видов деятельности в ресурсной модели используются операции бизнес-процессов, осуществляемых в ходе создания объектов затрат. Для службы информационных систем эти бизнес-процессы описываются моделью ITSM, либо другой внедрённой на предприятии процессной моделью. В отличие от модели учета затрат по видам деятельности, предложенной К.Г. Скрипкиным, в настоящей работе используется не Эталонная модель управления ИТ-сервисами компании Hewlett-Packard (HP ITSM RM – Hewlett-Packard IT Service Management Reference Model), а более новая и не привязанная к коммерческим решениям модель ITSM v3.

Для практического использования модели процессы предоставления и поддержки ИТ-сервисов декомпозируются до уровня однородных операций. Каждый тип операции характеризуется количественными натуральными показателями $q_j, q_j^1, q_j^2 \dots, q_j^e$ (метриками процессов), один из которых q_j отражает число выполненных операций. Примером такого показателя может быть число инцидентов, число обращений в службу поддержки, число изменений и т.д. Метрики объёма всех процессов образуют вектор операций $q = (q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_m)$.

Рис. 2. Ресурсная модель ИТ-сервиса: связь сервисов и видов деятельности



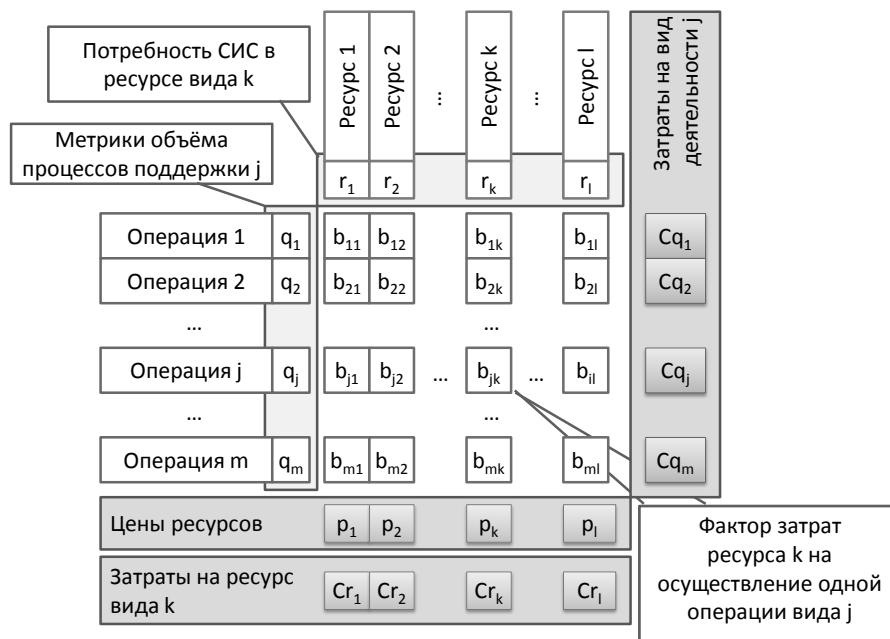
В отличие от классической модели, оперирующей исключительно метриками объёма, в предложенной автором постановке процессы поддержки могут характеризоваться не только скалярной величиной s_i и другими количественными показателями, составляющими вектор параметров S_i . К ним относятся: время

восстановления сервиса после инцидента, доля инцидентов, разрешённых в процессе общения с диспетчером по телефону, процент инцидентов, разрешённых до обращения пользователей в службу поддержки, приоритеты обслуживания пользователей и т.д.

Связь между метриками ИТ-сервисов и метриками операций поддержки осуществляется с помощью матрицы факторов затрат видов деятельности $A = [a_{ij}]_{n \times m}$ – количественных показателей, отражающих среднее число операций вида j для производства единицы ИТ-сервиса i (Рис. 2). Например, если на одного пользователя приходится 6 обращений в службу поддержки, то фактор затрат операции по приёму обращений для сервиса равен 6. Зная плановый выпуск s и факторы затрат A , можно определить q_j – число операций каждого типа в плановом периоде:

$$q_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot s_i \quad \text{или в матричной форме} \quad q = sA \quad (1)$$

Рис. 3. Ресурсная модель ИТ-сервиса: связь видов деятельности и ресурсов



Вторым этапом построения модели является установление связи между метриками процессов и объёмом ресурсов службы информационных систем $r = (r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_l)$, в перечень которых входит персонал службы поддержки, программное и аппаратное обеспечение, запасные части, услуги подрядчиков и т.д. (Рис. 3). Связь между операциями и ресурсами осуществляется с помощью матрицы факторов затрат ресурсов $B = [b_{jk}]_{m \times l}$ – количественных натуральных показателей, характеризующих затраты ресурса k на осуществление одной операции j . Требуемый объём ресурсов r вида k выражается следующей формулой:

$$r_k = \sum_{j=1}^m b_{jk} \cdot q_j = \sum_{j=1}^m b_{jk} \cdot \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot s_i \quad \text{или матричном виде } r = qB = sAB \quad (2)$$

Определив спрос на ресурсы и зная вектор цен $p = (p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_l)$, становится возможным рассчитать C – общий бюджет СИС:

$$C = \sum_{i=1}^n s_i \sum_{j=1}^m a_{ij} \sum_{k=1}^l b_{jk} \cdot p_k \quad \text{или } C = sABp^T \quad (3)$$

Затраты Cq_j на осуществление операций вида деятельности j составят:

$$Cq_j = \sum_{k=1}^l b_{jk} p_k \cdot \sum_{i=1}^n s_i a_{ij} \quad \text{или } Cq_j = \text{diag}(sA) \cdot Bp^T \quad (4)$$

Затраты Cs_j на предоставление ИТ-сервиса вида i составляют:

$$Cs_j = s_i \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot \sum_{k=1}^l b_{jk} p_k \quad \text{или } Cs_i = \text{diag}(s) \cdot ABp^T \quad (5)$$

Для применения ресурсной модели необходимо оценить матрицы факторов затрат A и B . Это можно сделать через установление нормативов, экспертную оценку, либо путём панельного анализа эмпирических данных. На практике эти матрицы сильно разрежены, что существенно упрощает задачу.

Проблема планирования резервов

Ресурсная модель позволяет рассчитывать спрос на ресурсы для детерминированных производственных операций. Вместе с тем, для ряда процессов поддержки ИТ-сервисов: управления запросами, управления инцидентами, управления изменениями, – характерна случайная природа. Для таких процессов необходимо поддержание определённого резерва ресурсов, чтобы обеспечить требуемый уровень обслуживания.

Для интеграции теории массового обслуживания в экономическую модель затрат на ИТ-сервисы эта ресурсная модель была обобщена на случай произвольных функциональных связей между объектами затрат, видами деятельности и ресурсами.

Нелинейная ресурсная модель

В диссертации предложена обобщённая ресурсная модель на случай нелинейных связей. Пусть задан вектор выпуска $s = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n)$. Тогда число операций различных процессов может быть выражено m -мерной вектор-функцией: $q(s) = (q_1(s), q_2(s), \dots, q_j(s), \dots, q_m(s))$. Спрос на ресурсы также выражается l -мерной вектор-функцией: $r(q) = (r_1(q), r_2(q), \dots, r_k(q), \dots, r_l(q))$. Зная вектор цен на ресурсы p и функции $q(s)$ и $r(q)$ можно найти общие затраты:

$$C = r(q(s)) \cdot p^T \quad (6)$$

Чтобы распределить общие затраты по процессам, требуется оценить вклад операций каждого процесса в потребление ресурса. Для этого необходимо построить матрицу относительных затрат ресурсов $G = [g_{jk}]_{m \times l}$ – где g_{jk} – доля вида

деятельности j в потреблении ресурса k . Поскольку каждый элемент матрицы G представляет собой долю затрат, матрица должна удовлетворять условию:

$$\sum_{j=1}^m g_{jk} = 1, \quad g_{jk} \geq 0, \quad \forall k = 1, 2, \dots, l. \quad (7)$$

В зависимости от вида функции $r(q)$, можно выделить характерные методы построения элементов матрицы G :

$$1. \text{ Линейный: } r_k = \sum_{j=1}^m q_j \cdot b_{jk}, \quad g_{jk} = \frac{b_{jk}}{\sum_{d=1}^m b_{dk}} \quad (8)$$

$$2. \text{ Функциональный: } r_k = b_k(\sum_{j=1}^m q_j), \quad g_{jk} = \frac{q_j}{\sum_{d=1}^m q_d} \quad (9)$$

$$3. \text{ Аддитивный: } r_k = \sum_{j=1}^m b_k(q_j), \quad g_{jk} = \frac{b_k(q_j)}{\sum_{d=1}^m b_k(q_d)} \quad (10)$$

$$4. \text{ Равномерный: } r_k = b_k(m), \quad g_{jk} = 1/m \quad (11)$$

$$5. \text{ Произвольный: } g_{jk} \text{ может зависеть от различных переменных.}$$

Построив матрицу G , можно вычислить затраты на операции вида j :

$$Cq_j = \sum_{k=1}^l g_{jk} \cdot r_k(q(s)) \cdot p_k \quad (12)$$

Аналогично строится матрица относительных затрат видов деятельности $F = [f_{ij}]_{n \times m}$ – где f_{ij} – доля сервиса i в потреблении вида деятельности j . Зная F , можно найти себестоимость сервиса i :

$$Cs_i = \sum_{j=1}^m f_{ij} \cdot \sum_{k=1}^l g_{jk} \cdot r_k(q(s)) \cdot p_k \quad (13)$$

Предложенная в диссертации нелинейная ресурсная модель была реализована в среде *Microsoft Excel* с применением *Visual Basic for Applications* для расчета некоторых функций. Модель может быть представлена в виде двух таблиц, одна из которых связывает объекты затрат и виды деятельности, а другая – виды деятельности и ресурсы. Матрицы G и F строились с применением линейного или функционального методов. В результате модель позволила связать объём потребления ИТ-сервисов с их конечной себестоимостью.

В качестве процессов модели ITSM v3, которые имеют вероятностную природу, были выделены процессы управления инцидентами, управления проблемами, управления изменениями, управления событиями и управления запросами пользователей (Рис. 1). Отличительной особенностью данных процессов является то, что некоторые их операции инициируются случайными событиями, что требует создания резерва ресурсов для поддержания заданного уровня обслуживания. Операции этих процессов проанализированы с точки зрения влияния требований к уровню поддержки на необходимый уровень ресурсов в терминах предложенной модели. В результате выделены зависимости между переменными ресурсной модели,

которые должны анализироваться с привлечением теории массового обслуживания и имитационного моделирования.

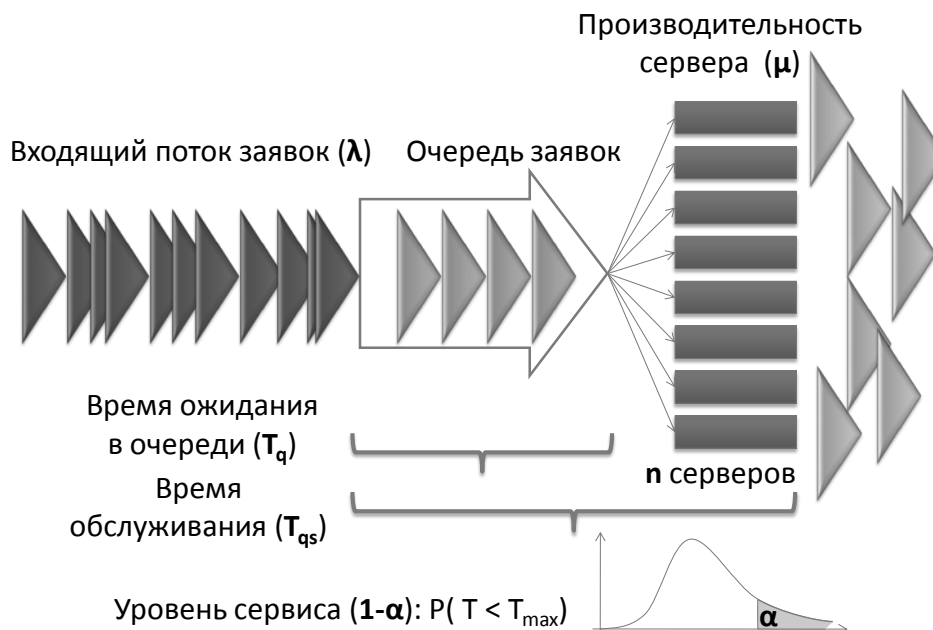
Глава 3. Применение моделей теории массового обслуживания для планирования резервов ресурсов

В третьей главе проводится анализ подходов теории массового обслуживания и имитационного моделирования для целей интеграции их в ресурсную модель и расчёта необходимого объёма резервов. Предложена методика использования моделей ТМО для различных процессов поддержки ИТ-сервисов, а также приведены источники статистики, необходимые для применения этих моделей на практике.

Основная задача теории массового обслуживания

Наиболее простая система массового обслуживания состоит из входящего потока заявок, очереди и нескольких серверов (Рис. 4). Под заявкой понимается объект, поступающий в систему и требующий время на его обработку. Сервером считается специалист, канал связи или другой ресурс, занимаемый заявкой и блокируемый на время обработки.

Рис. 4. Схема системы массового обслуживания



Планирование необходимого уровня ресурсов для производственных процессов, имеющих стохастическую природу, сводится к поиску зависимости между пятью основными характеристиками системы:

1. Интенсивность входящего потока заявок λ – среднее число заявок, поступающих в единицу времени;

2. Производительность сервера μ – величина обратная среднему времени нахождения заявки в сервере;

3. Число серверов n . Для задачи планирования ресурсов процессов этот параметр является искомым;

4. Время ожидания заявки в очереди T_q . Поскольку время ожидания является случайной величиной, вводят сразу две характеристики:

- а. Максимально допустимое время ожидания $T_{q \max}$;
- б. Уровень обслуживания: доля заявок $1-\alpha$, для которых время ожидания в очереди не превышает $T_{q \max}$.

Зная распределение вероятности для величины T_q , становится возможным определить α для заданного $T_{q \max}$.

Практическое решение задачи теории массового обслуживания возможно как минимум одним из трёх способов:

- **Аналитическое решение.** Для простейших систем обслуживания в 20-е годы XX века были найдены аналитические решения, позволяющие выразить $T_q(t)$ через λ , μ и n . Несмотря на жесткие предпосылки относительно процессов поступления заявок и их обслуживания, эти модели широко применяются для планирования ресурсов.

- **Имитационное моделирование.** На практике встречаются ситуации, для которых трудно найти аналитическое решение: приоритеты заявок, последовательная эскалация инцидентов и т.д. В таком случае, на основании информации о λ и n методами имитационного моделирования строится гистограмма $T_q(t)$ по которой оценивается достаточность n для обеспечения уровня обслуживания $1-\alpha$.

- **Эконометрический анализ.** Для больших n возможно оценить $T_q(t)$ по имеющейся статистике.

Оценка времени полного времени обслуживания

Рассмотрено применение модели Эрланга С для моделирования простейших систем ТМО с очередью.

$$P\{t < T_{q \max}\} = EC(\lambda/\mu, n) \cdot e^{-(\mu \cdot n - \lambda)t}, \text{ где} \quad (14)$$

$$EC(\lambda/\mu, n) = \frac{\frac{(\lambda/\mu)^n}{n! \cdot (1 - \lambda/n\mu)}}{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{(\lambda/\mu)^j}{j!} + \frac{(\lambda/\mu)^n}{n! \cdot (1 - \lambda/n\mu)}} \quad (15)$$

Поскольку предпосылки простейшей модели являются жесткими, в работе установлены условия, при которых для расчёта необходимого уровня ресурсов могут использоваться другие модели ТМО: формула Эрланга В, модель Энгсета, модель Поллячека-Хинчина. Эти подходы включены в методику построения ресурсной модели ИТ-сервиса с учетом резервов в зависимости от исходных предпосылок.

На практике качество обслуживания определяется не временем ожидания в очереди, а временем, за которое заявка покидает систему, поскольку с точки зрения пользователя важно не время начала работы над заявкой, а время восстановления ИТ-сервиса. Общее время T_{qs} , в течение которого заявка пребывает в системе, состоит из времени ожидания в очереди T_q и времени обслуживания T_s : $T_{qs} = T_q + T_s$.

В диссертации поставлена и решена аналитически задача нахождения распределения вероятности для $T_{qs}(t)$. Для простейшей системы обслуживания функция плотности распределения имеет следующий вид:

$$P\{t < T_{qs\ max}\} = EC(\lambda/\mu, n) \cdot \mu \frac{\mu \cdot n - \lambda}{\mu \cdot n - \lambda - \mu} [e^{-\mu t} - e^{-(\mu \cdot n - \lambda)t}] + (1 - EC(\lambda/\mu, n)) \cdot \mu e^{-\mu t}, \quad (16)$$

Эмпирическая проверка полученной формулы осуществлялась на модельных примерах, полученных с помощью имитационного моделирования. Если заказчик фиксирует время гарантированного восстановления ИТ-сервиса, то предложенное решение позволяет количественно оценить требуемые ресурсы. В таком случае необходимо использовать данный подход вместо более распространённой формулы Эрланга С.

Исходные данные для применения аналитических моделей

Корректное использование моделей ТМО и имитационного моделирования возможно при соблюдении строгих предпосылок относительно характера входящего потока и процесса обслуживания. В работе выделены источники статистики, требуемой для моделирования ИТ-сервисов с применением теории массового обслуживания.

Собранную статистику необходимо анализировать с точки зрения вида и параметров распределения. Для тестирования гипотез о характере распределения рассмотрено применение критерия χ^2 Пирсона и критерия Колмогорова-Смирнова. Для оценки параметров распределения использовался метод моментов и метод максимального правдоподобия. Указанные исходные данные и методы тестирования статистических гипотез интегрированы в ресурсную модель с учетом резервов, приведённую в четвёртой главе.

Глава 4. Практическое использование модели

В четвёртой главе приводится методика построения и программная реализация ресурсной модели ИТ-сервиса с учётом резервов, которая прошла апробацию на реальном проекте. В первом разделе главы предлагается детальный проект моделирования с учётом поставленных целей и требующейся статистики. Во втором разделе приводится построенная на практике модель с описанием исходных данных, использованных функций ТМО и общей схемы проведённых расчётов.

Методика построения ресурсной модели с учётом резервов

На основании полученных теоретических результатов в диссертации предложена методика прогнозирования эксплуатационных расходов СИС на базе ресурсной модели ИТ-сервиса с учетом резервов. Моделирование затрат осуществляется в 12 шагов:

1. Определить цели построения ресурсной модели ИТ-сервиса с учетом резервов. В соответствии с поставленными целями должны быть очерчены границы моделирования и определён уровень детализации.

2. Собрать статистическую информацию и прогнозы, включая требования к ИТ-сервисам, данные процессов поддержки, расходы прошлых периодов, прогноз спроса на ИТ-сервисы и цен на ресурсы.

3. Составить каталог декомпозированных ИТ-сервисов, однозначно связываемых с операциями СИС.

4. Составить перечень операций поддержки ИТ-сервисов. Для этого перечислены процессы модели ITSM, операции которых существенным образом влияют на себестоимость поддержки ИТ-сервисов. Из данных процессов необходимо выбрать те, которые осуществляются в моделируемой службе информационных систем.

5. Определить список ресурсов, потребляемых службой информационных систем для предоставления и поддержки ИТ-сервисов с учетом требуемого уровня детализации.

6. На основании предложенной автором программной реализации построить в табличном редакторе ресурсную модель. Определить вид и характер связей между требованиями к ИТ-сервисам, метриками процессов модели ITSM и ресурсами СИС.

7. Выделить из перечисленных в п. 4 те операции поддержки, которые носят случайных характер и требуют резервирования ресурсов.

8. На основании приведённых в методике указаний протестировать гипотезы о виде и параметрах распределения случайных величин, включая время между

появлением заявок в системе обслуживания (*Inter Arrival Time* - IAT) и время выполнения операций (T_s).

9. Согласно методике и результатам п. 8 выбрать подходящие модели ТМО для моделирования случайных процессов.

- а. В том случае, если модель имеет аналитическое решение, функционально связать требования к ресурсам с требуемым качеством ИТ-сервисов.
- б. В случае если модель не имеет аналитического решения, провести имитационное моделирование процесса для получения модельной гистограммы функции распределения для времени ожидания заявки в очереди (T_q) или времени обслуживания (T_{qs}). На её основе связать необходимый объём ресурсов с требованиями к качеству ИТ-сервисов.

10. Для построенных функций (п. 9) и оцененных факторов затрат ресурсов и видов деятельности (п. 2, 6) определить требуемый объём ресурсов СИС в зависимости от требований к ИТ-сервисам.

11. На основании прогнозов цен на ресурсы рассчитать себестоимость выполнения операций процессов модели ITSM.

12. Рассчитать затраты на поддержку ИТ-сервисов заданного качества в абсолютных и относительных выражениях.

Предложенная в диссертации методика была применена на практике в проекте прогнозирования затрат на поддержку инфраструктуры Центрального банка России. В ходе моделирования была разработана программная реализация ресурсной модели с использованием *Microsoft Excel* и *Visual Basic for Applications*. Применение модели позволило рассчитать себестоимость различных вариантов поддержки сервисов, что использовалось заказчиком для принятия управленческих решений в ходе согласования уровня обслуживания. Автоматизация расчётов ресурсной модели позволила значительно ускорить прогнозирование эксплуатационных затрат, что способствовало сокращению времени на рассмотрение различных вариантов поддержки.

Ресурсная модель с учётом резервов позволяет сделать прогнозирование более устойчивым к изменению объёма предоставляемых ИТ-сервисов за счёт перехода от линейной экстраполяции к более точным функциональным зависимостям. В связи с этим модель может быть рекомендована к использованию на предприятиях, испытывающих резкие изменения бюджета службы информационных систем.

III. Основные результаты и выводы

На основании проведённого исследования были получены следующие результаты и выводы:

1. Установлено, что наиболее подходящими для прогнозирования эксплуатационных расходов на информационные технологии являются процессные модели управления ИТ-сервисами. Для этого деятельность службы информационных систем была проанализирована с точки зрения теории организационных структур Г. Минцберга, что позволило выявить характерные механизмы координации для внутренней работы данного подразделения, а также для взаимодействия его с другими подразделениями предприятия.

2. Обоснован выбор ITSM v3 в качестве базовой управленческой модели деятельности ИТ-службы. Среди существующих процессных подходов к управлению ИТ-сервисами, данная концепция является наиболее распространённой, современной и независимой. Кроме этого, ITSM достаточно подробно описывает виды деятельности по предоставлению и поддержке сервисов, что определило выбор данной модели.

3. Предложена классификация существующих подходов к прогнозированию издержек на информационные технологии, что позволило выявить наиболее подходящую для решения поставленной задачи модель. В результате показано преимущество ресурсной модели, обладающей прогностической направленностью и позволяющей детально анализировать деятельность службы информационных систем.

4. Выявлено наличие систематической ошибки, присущей различным моделям прогнозирования эксплуатационных расходов на информационные технологии методом линейной экстраполяции. Данная ошибка обусловлена вероятностной природой некоторых процессов предоставления и поддержки ИТ-сервисов, что требует привлечения теории массового обслуживания для расчёта спроса на ресурсы со стороны службы информационных систем. В результате поставлена задача планирования ресурсов ИТ-службы с учётом резервов.

5. Формализована и решена в матричной форме задача расчёта необходимого уровня ресурсов методом учёта затрат по видам деятельности. Показано, что применение теории массового обслуживания приводит к возникновению нелинейных зависимостей между параметрами в ресурсной модели, что требует расширения класса функций, обычно используемых для связи объёма выпуска с метриками видов деятельности и объёмом ресурсов.

6. Предложено новое решение задачи планирования в рамках ресурсной модели на основе векторных функций. Это позволило, с одной стороны, обеспечить связь между параметрами модели на основании нелинейных зависимостей, а с другой – ввести в рассмотрение дополнительные качественные характеристики обслуживания. Понятие факторов затрат видов деятельности и факторов затрат ресурсов заменено более общей функциональной связью между объектами затрат и видами деятельности, а также между видами деятельности и ресурсами. Для отнесения издержек на конечную продукцию введены матрицы относительных затрат.

7. Найдены частные решения задачи планирования для некоторых видов функций в нелинейной ресурсной модели, которые влияют на возможности практического применения предложенных подходов. Показано, что если зависимость между всеми параметрами является прямо пропорциональной, то задача сводится к классической ресурсной модели.

8. Построена детальная ресурсная модель для некоторых процессов ITSM v3, обладающих вероятностной природой и требующих создания резерва ресурсов. Для данных видов деятельности выделены операции, влияющие на уровень резервов, а также описаны связи метрик данных операций с качественными и количественными метриками ИТ-сервисов в терминах модели на основе векторных функций.

9. Предложена методика практического построения функций, связывающих виды деятельности и ресурсы, позволяющая в зависимости от задачи и имеющейся статистики использовать аналитическое решение или имитационное моделирование. Выбраны модели теории массового обслуживания, которые могут применяться для прогнозирования необходимого уровня ресурсов службы информационных систем. Поставлена и решена задача определения необходимого уровня ресурсов в случае фиксирования заказчиком требований к полному времени нахождения заявки на обслуживание в системе.

10. Указаны на основании анализа моделей ТМО источники статистики, используемой для применения разработанного подхода на практике для расчёта уровня резервов ИТ-службы. Для этого были выделены гипотезы, требующие тестирования и определяющие применимость той или иной модели ТМО. Кроме этого были выбраны методы математической статистики, позволяющие оценить параметры этих моделей.

11. Применена нелинейная ресурсная модель для прогнозирования эксплуатационных затрат предприятия на информационные технологии. В качестве видов деятельности были выбраны операции процессов поддержки ИТ-сервисов,

формализованные в модели ITSM v3. В ходе анализа были выделены операции, которые инициируются случайными событиями. Для этих операций перечислены используемые ресурсы и определены связи параметров процессов с количественными и качественными характеристиками ИТ-сервисов.

12. Предложена методика построения ресурсной модели ИТ-сервиса с учетом резервов. При практической апробации этой методики было создано программное обеспечение на основе табличного редактора. Предложенная модель использовалась на практике для прогнозирования эксплуатационных расходов инженерного подразделения Центрального банка России в зависимости от различного уровня обслуживания.

Поскольку расходы на эксплуатацию информационных технологий достаточно высоки и составляют несколько процентов от выручки предприятий, а требования бизнеса к ИТ-сервисам продолжают повышаться, можно утверждать, что актуальность предложенной модели, связывающей качество и себестоимость ИТ-сервисов, будет возрастать.

III. Публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях из перечня реферируемых научных журналов ВАК

1. Петреченко В.А. Связь цены и качества ИТ-услуг // Вестник Московского Университета. Секция 6 Экономика. – №6., 2008. (0,5 п.л.)

Публикации в других научных изданиях

2. Петреченко В.А. Планирование затрат на ИТ-сервисы при изменении объёма их потребления и требований к уровню обслуживания // Инновационное развитие экономики России: ресурсное обеспечение: Вторая международная конференция; Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, экономический факультет; 22-24 апреля 2009 г. Сборник статей: Том 3 / Под редакцией профессора В.П. Колесова и профессора Л.А. Тутова. – М.: Экономический факультет МГУ, ТЕИС, 2009 – с. 340-349. (0,5 п.л.)
3. Петреченко В.А. Связь цены и качества ИТ-услуг // Директор информационной службы №10. – М.: 2006. (0,5 п.л.)