

На правах рукописи



Коблов Андрей Иванович

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Специальность 05.13.01 –
“Системный анализ, управление и обработка информации
(промышленность)”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск–2007

Диссертационная работа выполнена на кафедре “Прикладная математика” Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор Ширяев Владимир Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Казаринов Лев Сергеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор Шориков Андрей Федорович.

Ведущая организация – Уральский государственный университет,
г. Екатеринбург.

Защита состоится 15 ноября 2007 г., в 14 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, зал заседаний ученого совета №1 (ауд. 1001).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан 11 октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.298.03
д.т.н., профессор



А.Г. Щипицын

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена разработке и практическому применению моделей и алгоритмов, позволяющих решать задачи управления поведением предприятия сотовой связи в условиях неопределенности. Под неопределенностью понимается использование неточной и неполной априорной информации о поведении участников рынка. Рассматривается случай, когда статистическое описание неопределенностей, действующих в системе, отсутствует и вся априорная информация ограничивается заданием множеств, в пределах которых находятся неопределенные факторы.

Актуальность исследования. Актуальная задача, стоящая перед предприятием сотовой связи, – это задача эффективного реагирования на изменение условий функционирования. Возможность использования математических методов для исследования поведения системы и синтеза оптимального управления в значительной степени зависит от разработанности, сложности и обоснованности соответствующих моделей. В рамках задачи построения оптимального управления важное место занимает задача разработки математических моделей, позволяющих решать задачу в условиях дефицита информации об исследуемых динамических системах. Сложность задачи состоит в невозможности охватить все разнообразие реального объекта формальной моделью, его описывающей, поэтому одной из задач исследования является построение адекватной модели поведения предприятия сотовой связи с использованием теории математического моделирования, ориентируясь на последующее решение задачи управления в условиях неопределенности.

Задаче построения моделей поведения динамических систем посвящены работы Э.Г. Альбрехта, И.А. Баева, К.А. Багриновского, Ф. Басса, В. Вайдлиха, В. Вольтерра, М. Интрилигатора, Г.Б. Клейнера, И.Д. Колесина, А.А. Колесникова, Р. Коуза, П.С. Краснощекова, В.П. Маслова, Ю.К. Машунина, А.П. Михайлова, В.И. Новосельцева, Ю.И. Параева, А.А. Петрова, И.Г. Поспелова, А.А. Самарского, Дж. Стермана, К. Уоррена, П. Ферхюльста, Дж. Форрестера и др. Большинство моделей ориентированы на решение конкретной задачи в определенной предметной области. Таким образом, задача построения динамической модели поведения предприятия сотовой связи на рынке, ориентированной на разработку эффективных алгоритмов управления, является актуальной.

Вопросы построения эффективного управления динамическими системами в условиях неопределенности наибольшее развитие получили в работах А. Брайсона, В.В. Бека, Р. Бьюси, Ю.С. Вишнякова, А.Р. Гайдука, Ч.А. Дезоера, В.С. Жабреева, Л.А. Заде, Л.С. Казаринова, Р. Калмана, В.М. Кейна, А.А. Красовского, Н.Н. Красовского, О.В. Логиновского, Л. Льюнга, А.Р. Махлина, Ю.С. Осипова, К.Ю. Острема, В.С. Пацко, Л.Г. Раскина, Э.П. Сейджа, И.С. Уколова, В.И. Ширяева, А.Г. Щипицына, Хо Ю-Ши и др.

Об актуальности работы также свидетельствует ее поддержка грантами Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 01-01-96419), Министерства образования РФ (грант № ТОО/3.2/2647), Губернатора Челябинской области (2005 г.), Правительства Челябинской области (победитель

конкурса научных работ аспирантов и молодых ученых 2006 г. и конкурса научных студенческих проектов 2002 г.), стипендией Президента РФ (приказ Министерства образования и науки РФ №1094 от 05.10.2006 г.).

Объектом исследования является предприятие сотовой связи, функционирующее на рынке в условиях наличия неполной и неточной информации.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы управления поведением предприятия сотовой связи на рынке в условиях неопределенности.

Цель и задачи работы. Разработать модели и алгоритмы эффективного управления поведением предприятия сотовой связи в условиях неопределенности.

Для достижения цели диссертационного исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Построить модель поведения предприятия сотовой связи на рынке.
2. Идентифицировать параметры модели и линеаризовать модель.
3. Сформулировать критерий оптимальности и реализовать процедуру синтеза оптимального управления поведением предприятия в условиях неопределенности, когда априорная информация ограничивается заданием множеств, в пределах которых находятся неопределенные факторы.
4. Разработать программное обеспечение, реализующее предлагаемые алгоритмы и использовать его для решения прикладных задач управления поведением предприятия сотовой связи в условиях неопределенности.

Методы исследования. Теоретическую и методологическую базу исследования составили труды отечественных и зарубежных ученых в области теории математического моделирования, методов идентификации, теории оптимального управления, оптимизации и численных методов.

Достоверность и обоснованность. Динамические модели и алгоритмы, предложенные в работе, основаны на положениях теории математического моделирования и оптимального управления. Достоверность приведенных теоретических исследований подтверждена численным моделированием и экспериментальными исследованиями.

Научная новизна

1. Построена модель поведения предприятия сотовой связи на рынке, учитывающая влияние различных факторов (цена, качество, сеть распространения услуг, доля рынка), в условиях наличия неполной и неточной информации о поведении участников рынка. Модель ориентирована на решение задачи управления и позволяет оценивать влияние различных факторов на поведение предприятия на рынке, определять потенциальную емкость всего рынка и конкретного его участника, прогнозировать развитие рынка и моделировать различные сценарии развития и поведения предприятий сотовой связи. Предложена процедура уточнения параметров модели при поступлении новой информации, что повышает точность моделирования, прогнозирования, оценивания потенциальной емкости рынка сотовой связи и эффективность управления поведением предприятия сотовой связи в условиях наличия неточной и неполной априорной информации о поведении участников рынка и при отсутствии информации о законах изменения неопределенных факторов.

2. Разработан алгоритм построения управления поведением предприятия сотовой связи в условиях неопределенности. В качестве критерия предложен критерий оптимальности, минимизирующий отклонение от плановой траектории развития предприятия с учетом запаса.

Практическая ценность и внедрение. Созданный программный комплекс обеспечивает руководителей предприятия сотовой связи инструментарием поддержки принятия управленческих решений по разработке мероприятий в части тарифной политики и потребительских свойств услуг для выполнения плана. Предложенные модели и алгоритмы позволяют повышать эффективность информационного обеспечения и управления поведением предприятия в условиях неопределенности.

Результаты работы используются при решении практических задач в ОАО “Уралсвязьинформ”. С их помощью проводится анализ рынков сотовой связи Челябинской, Курганской, Свердловской, Тюменской областей, Пермского края, ХМАО и ЯНАО; определение потенциальной емкости рынка, определенного предприятия сотовой связи, определенной услуги; прогнозирование развития по отдельным предприятиям; выработка рекомендаций для поддержки принятия управленческих решений, о чем свидетельствует акт внедрения результатов НИР от 23 марта 2006 г. и акт об использовании результатов диссертационной работы от 02 апреля 2007 г.

Разработанные алгоритмы управления в условиях неопределенности универсальны, что подтверждено их использованием для управления беспилотными летательными аппаратами на этапе захода на посадку и посадки и в других сферах. Работы Коблова А.И. по этой тематике опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ:

- Коблов, А.И. Алгоритмы оценивания и управления беспилотным летательным аппаратом на этапе посадки / М.О. Антонов, В.И. Ширяев, К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2005. – №2. – С. 166–173;
- Коблов, А.И. Точность управления летательным аппаратом в условиях неопределенности на этапе захода на посадку / М.О. Антонов, В.И. Ширяев, К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – №7. – С. 64–69.

Результаты работы также используются в учебной работе на кафедре “Прикладная математика“ Южно-Уральского государственного университета в рамках курсов “Динамическая теория фирмы” и “Теория принятия решений и исследование операций”.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Всероссийской научно–методической конференции “Актуальные проблемы математики, механики, информатики” (Пермь, ПГУ, октябрь 2006 г.); 24-й Международной конференции Общества системной динамики (Неймеген, Нидерланды, SDC, июль 2006 г.); Международной научно–практической конференции “Научные школы и результаты в российской статистике” (Санкт–Петербург, СПбГУЭиФ, январь 2006 г.); Всероссийских симпозиумах “Стратегическое планирование и развитие предприятий” (Москва,

ЦЭМИ РАН, апрель 2003–2007 гг.); 3-м Международном форуме “OSS/BSS Telecom Forum. Поддержка бизнеса и операций в телекоммуникационных компаниях” (Москва, ЦМТ, декабрь 2006 г.); 22-й Международной конференции Общества системной динамики (Оксфорд, Великобритания, июль 2004 г.); Международной конференции “Математическое моделирование социальной и экономической динамики” (Москва, РСГУ, июнь 2004 г.); 21-й Международной конференции Общества системной динамики (Нью-Йорк, США, SDC, июль 2003 г.).

Доклады по теме диссертации были приняты на 25-й Международной конференции Общества системной динамики (Бостон, США, SDC, июль 2007 г.); Всероссийской научной конференции “Теория и практика системной динамики” (Апатиты, Кольский научный центр РАН, апрель 2007 г.); 41-м Уральском семинаре “Механика и процессы управления” (Екатеринбург, УрО РАН, 2006 г.); Международной конференции молодых ученых “Информационно–телекоммуникационные системы: состояние и перспективы развития” (Новосибирск, НГТУ, сентябрь 2006 г.); 23-й Международной конференции Общества системной динамики (Бостон, США, SDC, июль 2005 г.); Международной научно–практической конференции “Глобальные тенденции в статистике и математических методах в экономике” (СПбГУЭФ, январь 2003 г.); Всероссийской школе–конференции “Наука и технологии. Секция Проблемы экономики” (Москва, РАН, 2003 г.); 13-й Всероссийской научно–технической конференции “Экстремальная робототехника” (СПб, СПбГТУ, октябрь 2002 г.); 32-м Уральском семинаре “Механика и процессы управления” (Екатеринбург, УрО РАН, 2002 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 работ, в том числе статья в научном журнале из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук: “Мобильные системы” (2006 г.) и шестая глава учебного пособия “Управление фирмой: Моделирование, анализ и управление” (С. 255–269), авторы: В.И. Ширяев, И.А. Баев, Е.В. Ширяев. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 271 с. Материалы диссертации были использованы в 4 отчетах по НИР (2002–2005 гг.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов и результатов, списка литературы (211 наименований), 4 приложений (в т.ч. 2-х актов внедрения результатов диссертационной работы). Основной текст диссертации изложен на 136 страницах и содержит 28 иллюстраций, 4 таблицы.

Положения, выносимые на защиту

1. Модель поведения предприятия сотовой связи на рынке.
2. Алгоритм построения оптимального управления поведением предприятия сотовой связи на рынке в условиях неопределенности, минимизирующий сформулированный критерий оптимальности.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрена постановка задачи управления поведением предприятия сотовой связи в условиях неопределенности. Модель поведения предприятий сотовой связи на рынке в линейном приближении для дискретного случая описывается системой вида

$$\left. \begin{aligned} x_{k+1} &= A_k x_k + B_k u_k + \Gamma_k w_k + c_k; \\ y_{k+1} &= G_{k+1} x_{k+1} + v_{k+1}, \quad k = 0, 1, \dots, N, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x_k – n -мерный вектор состояния; u_k – m -мерный вектор управления; w_k – r -мерный вектор возмущений; y_{k+1} – l -мерный вектор измерений; v_{k+1} – вектор неопределенностей, связанных с наличием неточной информации; A_k , B_k , Γ_k и G_{k+1} – известные матрицы коэффициентов размерностью $(n \times n)$, $(n \times m)$, $(n \times r)$ и $(n \times l)$ соответственно; c_k – n -мерный известный вектор, компенсирующий отклонения поведения линейной системы от нелинейной. Предполагается, что статистическое описание возмущений, не известно и вся априорная информация исчерпывается заданием множеств значений $w_k \in W_k$ и $v_k \in V_k$, где W_k , V_k – известные выпуклые компакты.

Число пользователей услугами предприятий сотовой связи является координатами вектора состояния; в качестве управляющих воздействий на поведение предприятия на рынке избрана стоимость услуг, широта и разветвленность сети распространения и предоставления услуг; возмущения и неопределенности в системе обусловлены неточными знаниями о числе пользователей услугами предприятий сотовой связи.

Сформулирован квадратичный критерий оптимальности, используемый для решения задачи построения управления поведением предприятия:

$$I = \|M_N - x_N\|_S^2 + \sum_{k=0}^{N-1} \left(\|M_k - x_k\|_Q^2 + \|u_k\|_R^2 \right), \quad (2)$$

где $\|\cdot\|^2$ – квадратичная форма, построенная на одной из матриц S, Q, R ; $M_k \geq x_k$, $k = 0, \dots, N$ – плановая траектория изменения фазового вектора с учетом запаса, гарантирующего выполнение плана и определяемого исходя из практики планирования на предприятии; слагаемое $\|M_N - x_N\|_S^2$ характеризует точность приведения числа пользователей услугами предприятия к необходимому уровню ($x_N = M_N$) в конечный момент времени $k = N$; слагаемое $\sum_{k=0}^{N-1} \left(\|M_k - x_k\|_Q^2 \right)$

является суммарной величиной отклонения числа пользователей услугами предприятия от заданной на основании плана траектории M_k . Матрицы S, Q, R

задаются положительно определенными и без ограничения общности диагональными.

Приведен обзор состояния задачи моделирования динамических систем (уравнения экспоненциального и логистического роста, модели взаимодействия популяций), подводящий к построению модели поведения предприятий сотовой связи на рынке. Рассмотрены существующие подходы к решению задачи управления: метод динамического программирования и принцип максимума. Исследована взаимосвязь двух подходов: при выполнении условий решения по методу динамического программирования, а именно при выполнении уравнения Беллмана и граничного условия для него, выполняются и условия принципа максимума. Однако из принципа максимума не следует выполнение уравнения Беллмана.

Вторая глава посвящена формализации отношений между потребителями услуг различных предприятий и разработке на этой основе математической модели развития рынка и поведения предприятий на нем (рисунок 1).

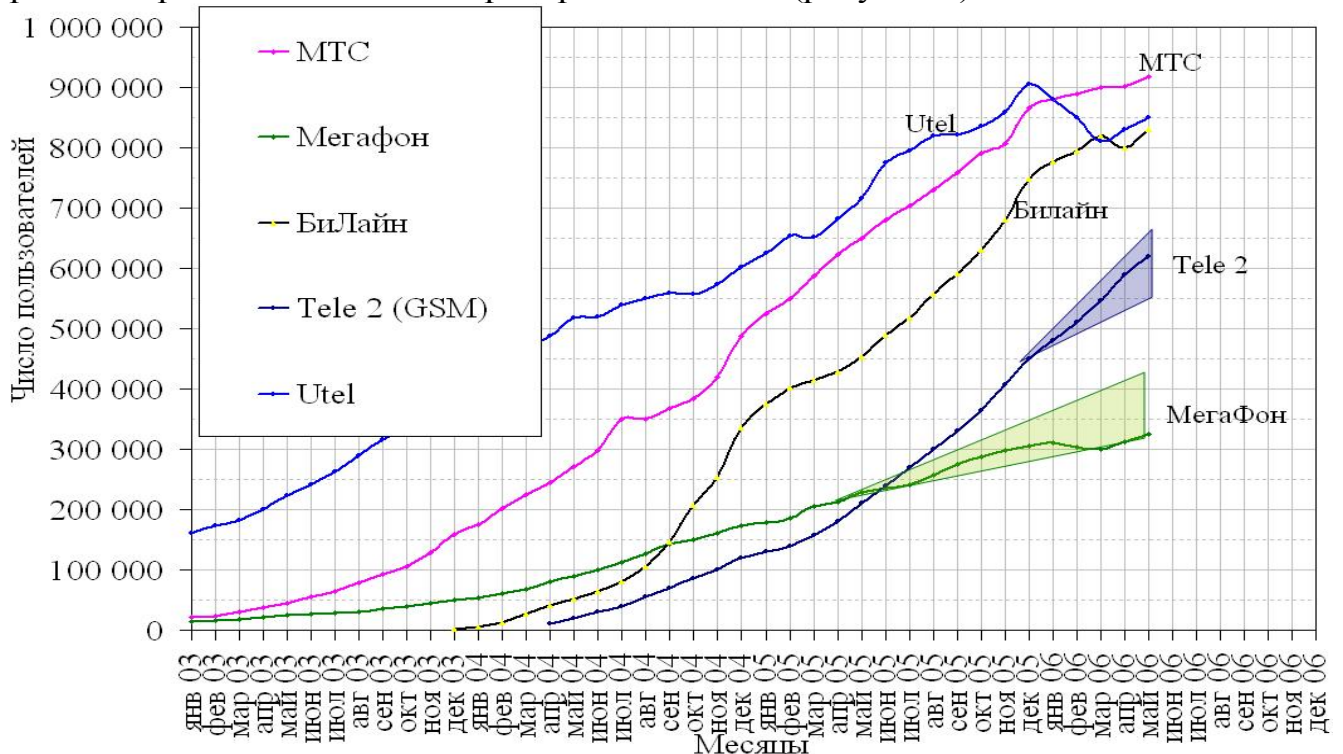


Рисунок 1 – Поведение предприятий на рынке Челябинской области

Сформулирована модель поведения предприятий через описание поведения потребителей к услугам, поставляемым несколькими участниками рынка, в виде системы нелинейных разностных уравнений, учитывающей влияние цен, доли рынка, широты зоны радиопокрытия и сети распространения услуг на число потребителей услуг предприятий сотовой связи:

$$\frac{1}{x_i} \cdot \frac{dx_i}{dt} = \varphi_i(x, s_i, p_i, w_i) \cdot \left(1 - \frac{z}{Z}\right), \quad z = \sum_{i=1}^n x_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где n – число предприятий на рынке; x_i – число потребителей i -го предприятия; φ_i – непрерывно-дифференцируемая функция (рисунок 2), характеризующая

влияние i -го предприятия на рынок (чем больше φ_i , тем быстрее увеличивается число потребителей i -го предприятия, при $\varphi_i < 0$ происходит уменьшение числа потребителей); Z – потенциальная емкость рынка; p_i – параметры модели; s_i – управление поведением предприятия; w_i – неопределенности и ошибки измерений. Параметры модели p_i определяют степень влияния на рынок соответствующих управляющих воздействий.

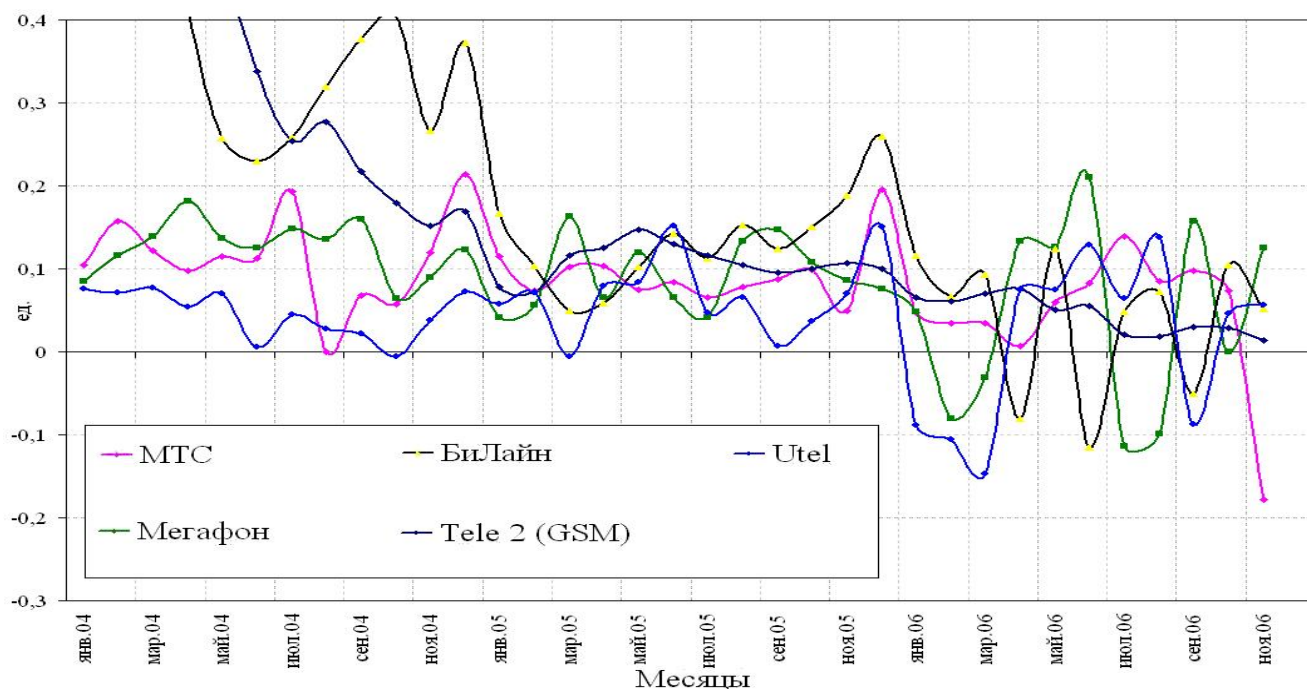


Рисунок 2 – Изменение φ_i для рынка сотовой связи Челябинской области

Для рынка сотовой связи структуру функции φ_i в (3) можно представить

$$\varphi_i(x, s_i, p_i, w_i) = \sum_{j=1}^6 p_{ij} s_{ij} + p_{i7} \frac{x_i}{z} + p_{i8} + p_{i9} w_i, \quad (4)$$

где в качестве управляющих воздействий i -го предприятия использованы следующие показатели: s_{i1} – величина абонентской платы; s_{i2} – стоимость минуты внутрисетевого вызова; s_{i3} – стоимость минуты вызова на телефоны других предприятий сотовой связи; s_{i4} – стоимость минуты вызова абонентам сети общего пользования; s_{i5} – широта сети распространения (дилерской сети); s_{i6} – широта зоны радиопокрытия. Значения управляющих воздействий s_{i1}, \dots, s_{i4} отнесены к средней стоимости соответствующей услуги по рассматриваемым предприятиям. Параметры модели $p_{ij}, j = \overline{1,6}$ определяют степень влияния на рынок соответствующих управляющих воздействий; p_{i7} учитывает влияние на рынок текущей доли рынка предприятия; p_{i8} учитывает влияние прочих факторов деятельности предприятия, влияющих на выбор потребителей (маркетинг, качество управления и пр.).

В третьей главе рассматривается задача управления поведением предприятия на рынке в условиях неопределенности. Задача решается в предположении, что

статистическое описание возмущений не известно и вся априорная информация исчерпывается заданием множеств значений $w_k \in W_k$ и $v_k \in V_k$, где W_k, V_k – известные выпуклые компакты.

Для линейной системы в случае отсутствия ограничений на управление используется метод динамического программирования. Синтез оптимального управления представляет собой решение минимаксной задачи на априорном множестве неопределенностей, связанных с исходными данными. Особенность задачи заключается в том, что управление строится по принципу обратной связи, т.е. зависит от реализовавшегося состояния системы.

Проведенный анализ управляемости линеаризованной к виду (1) модели (3) выявил, что система является управляемой. Анализ устойчивости модели, показал асимптотическую неустойчивость модели. Собственное число $\lambda_1 > 1$ на интервале с 1 по 23 и с 27 по 31 месяц, а $\lambda_2 > 1$ на интервале с 1 по 11 месяц и в 14-м, 34-м и 35-м месяце (рисунок 3). Т.о. система асимптотически неустойчива на временном интервале с 1 по 23, с 26 по 31, с 33 по 35 месяц. Более наглядно неустойчивость системы иллюстрирует рисунок 4, на котором показан график зависимости $\lambda_2 = f(\lambda_1)$. Линией на рисунке 4 обозначена «зона устойчивости».

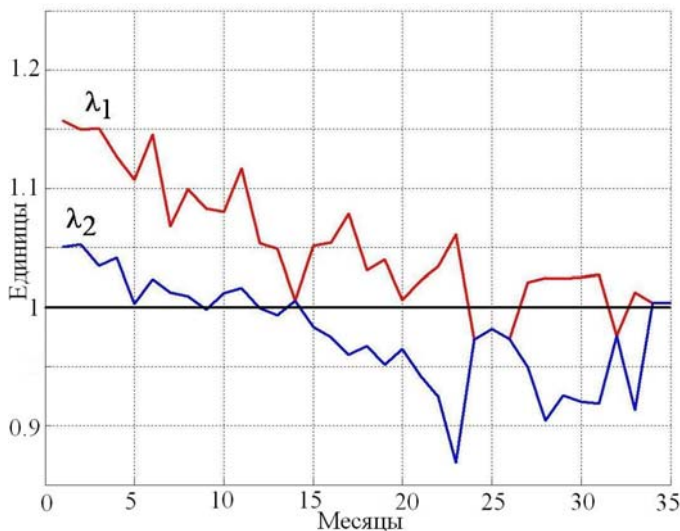


Рисунок 3 – Динамика изменения собственных чисел матрицы A_k

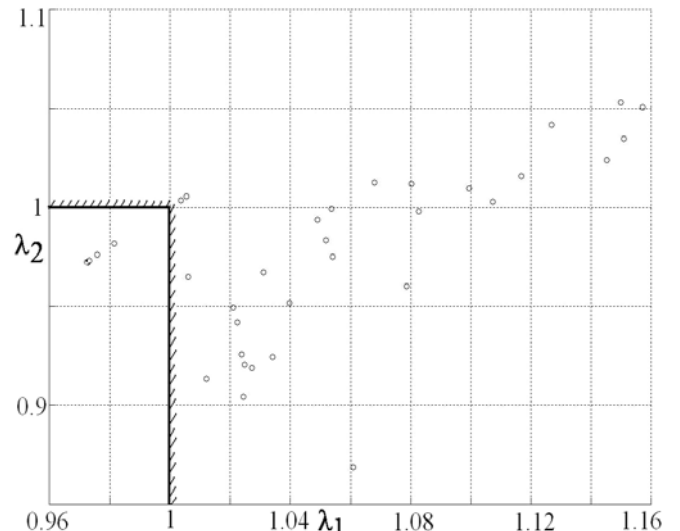


Рисунок 4 – График зависимости $\lambda_2 = f(\lambda_1)$

Поскольку мало точек попадает в «зону устойчивости», система почти всюду асимптотически неустойчива. Но при построении модели не следует основывать свои действия на допущении, будто отображаемая система обязательно будет устойчивой. Многие модели, описанные в литературе по управлению и экономике, исходят из линейности системы.

Введем функцию

$$\tilde{\Gamma}_k[y_k(\cdot), \zeta_k(\cdot)] = \min_{u_k} \dots \min_{u_{N-1}} \left\{ \|M_N - x_N\|_S^2 + \sum_{i=k}^{N-1} \left(\|M_i - x_i\|_Q^2 + \|u_i\|_R^2 \right) \right\}, \quad (5)$$

представляющую собой минимальное значение критерия (2), принимаемое между некоторым текущим значением k и финальным моментом N при заданной последовательности результатов измерений $y_k(\cdot)$ и реализаций воздействующих

факторов $\zeta_k(\cdot) \in D_k$, где $D_k = \{\zeta_k(\cdot) \mid w_i \in W_i, v_{i+1} \in V_{i+1}, i = \overline{0, k-1}\}$ – множество неопределенных факторов. Значения векторов x_k, u_k не зависят от будущих значений u_{k+1}, \dots, u_{N-1} , поэтому (5) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \tilde{\Gamma}_k[y_k(\cdot), \zeta_k(\cdot)] = & \min_{u_k} \left[\|M_k - x_k\|_Q^2 + \|u_k\|_R^2 \right] + \\ & + \min_{u_{k+1}} \dots \min_{u_{N-1}} \left[\|M_N - x_N\|_S^2 + \sum_{i=k+1}^{N-1} \left(\|M_i - x_i\|_Q^2 + \|u_i\|_R^2 \right) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Отсюда, учитывая (5), получаем

$$\tilde{\Gamma}_k[y_k(\cdot), \zeta_k(\cdot)] = \min_{u_k} \left[\|M_k - x_k\|_Q^2 + \|u_k\|_R^2 + \tilde{\Gamma}_{k+1}[x_{k+1}(\cdot)] \right]. \quad (7)$$

Из (5) имеем граничное условие в момент $k = N$ для функции (7) вида

$$\tilde{\Gamma}_N[y_N(\cdot), \zeta_N(\cdot)] = \|M_N - x_N\|_S^2. \quad (8)$$

Подставив (8) в (7) для $k = N - 1$, с учетом (1) получим

$$\begin{aligned} \tilde{\Gamma}_k[y_k(\cdot), \zeta_k(\cdot)] = & \min_{u_k} \left[(M_k - x_k)^T Q (M_k - x_k) + \right. \\ & + u_k^T R u_k + (M_{k+1} - A_k x_k + B_k u_k + \Gamma_k w_k + c_k)^T \cdot \\ & \left. \cdot S_{k+1} (M_{k+1} - A_k x_k + B_k u_k + \Gamma_k w_k + c_k) \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Функции $\tilde{\Gamma}_k(\cdot)$ зависят от результатов наблюдений опосредованно, а именно, только через оценки вектора состояния $x'_k \in \bar{X}_k$, где \bar{X}_k – информационное множество, полученное в результате работы алгоритмов фильтрации. Покажем, что имеет место

$$\tilde{\Gamma}_k[y_k(\cdot), \zeta_k(\cdot)] = \Gamma_k[x'_k \mid \zeta_k(\cdot)]. \quad (10)$$

Поскольку $\bar{X}_k = \{x'_k \mid \zeta_k(\cdot) \in D_k\}$, то функция $\Gamma_k(\cdot)$ определена на всем информационном множестве \bar{X}_k , а оптимальное управление в момент времени k зависит от последовательности измерений $y_k(\cdot)$ через информационное множество. Тогда в финальный момент времени имеем

$$\tilde{\Gamma}_N[y_N(\cdot), \zeta_N(\cdot)] = \left[(M_N - x_N)^T S (M_N - x_N) \mid \zeta_N(\cdot) \right]. \quad (11)$$

Подставляя (9) в (6) для $k = N - 1$ и вспомнив (1), получаем

$$\begin{aligned} \Gamma_k(x'_k \mid \zeta_k(\cdot)) = & \min_{u_k} \left\{ [(M_k - x'_k)^T Q (M_k - x'_k) + u_k^T R u_k + \right. \\ & + (A_k x'_k + B_k u_k + c_k + \Gamma_k w_k - M_{k+1})^T S_{k+1} \cdot \\ & \left. \cdot (A_k x'_k + B_k u_k + c_k + \Gamma_k w_k - M_{k+1})] \mid \zeta_k(\cdot) \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Поскольку вектор $\zeta_k(\cdot)$ может принимать любые значения из множества D_k , то введем еще одну вспомогательную функцию

$$F_k(x'_k, u_k, w_k) = (M_k - x'_k)^T Q (M_k - x'_k) + u_k^T R u_k + (M_{k+1} - A_k x'_k + B_k u_k + c_k + \Gamma_k w_k)^T S_{k+1} (M_{k+1} - A_k x'_k + B_k u_k + c_k + \Gamma_k w_k). \quad (13)$$

И аналогично

$$\Delta_k(x, z, u, w, \Omega) = [F_k(x, u, w) - F_k(z, u, \Omega)]^2. \quad (14)$$

Найдем такие z_k^* , Φ_k^* , что

$$\min_{z, \Phi} \max_{\substack{x \in \bar{X}_k, \\ w \in W_k}} \Delta_k(x, z, u, w, \Phi) = \max_{\substack{x \in \bar{X}_k, \\ w \in W_k}} \Delta_k(x, z_k^*, u, w, \Phi_k^*). \quad (15)$$

Точки z_k^* , Φ_k^* обладают характерной особенностью: при всех возможных значениях неопределенностей w из априорного множества значений W_k и фазового вектора x из информационного множества \bar{X}_k максимальная разница между значением функции $F_k(x, u, w)$ для $\forall w \in W_k$ и значением $F_k(x, u, \Phi_k^*)$ минимальна.

Следовательно, располагая лишь информацией о принадлежности неопределенностей априорному множеству $w \in W_k$ и информационных помех соответствующему множеству $v \in V_k$, управление, выбранное из условия (15) для $x_k = z_k^*$, $w_k = \Phi_k^*$ будет минимизировать значение функции (5) в точке z_k^* , Φ_k^* . Значения $z_k^* \in \bar{X}_k$, $\Phi_k^* \in W_k$ являются оптимальными оценками, в смысле критерия (2), для векторов x_k , w_k и $x_k^* = z_k^*$, $w_k^* = \Phi_k^*$.

Полагая, что задача (15) решена, найдем оптимальное управление из (12), приравняв производную к нулю,

$$Ru_k^* + B_k^T S_{k+1} (A_k x_k^* - M_{k+1} + B_k u_k^* + c_k + \Gamma_k w_k^*) = 0, \quad (16)$$

$$-u_k^* = [R + B_k^T S_{k+1} B_k]^{-1} B_k^T S_{k+1} (A_k x_k^* - M_{k+1} + c_k + \Gamma_k w_k^*), \quad (17)$$

$$u_k^* = -K_k^1 x_k^* - K_k^2 w_k^* - K_k^3, \quad k = 0, N-1, \quad (18)$$

где

$$K_k^1 = [R + B_k^T S_{k+1} B_k]^{-1} B_k^T S_{k+1} A_k, \quad (19)$$

$$K_k^2 = [R + B_k^T S_{k+1} B_k]^{-1} B_k^T S_{k+1} \Gamma_k, \quad (20)$$

$$K_k^3 = [R + B_k^T S_{k+1} B_k]^{-1} B_k^T S_{k+1} (c_k - M_{k+1}). \quad (21)$$

Рассмотрим решение задачи (15) считая, что оптимальное управление имеет вид (18). Тогда функция $F_k(\cdot)$ примет вид

$$F_k(x, u_k(x, w), w) = x^T T_k^1 x + w^T T_k^2 w + 2x^T T_k^3 w + 2T_k^4 x + 2T_k^5 w + T_k^6 \quad (22)$$

и является положительно-определенной квадратичной формой.

Пусть

$$f_k^1 = \min\{F_k(x, w) | x \in \bar{X}_k, w \in W_k\}; f_k^2 = \max\{F_k(x, w) | x \in \bar{X}_k, w \in W_k\}, \quad (23)$$

тогда в точке x_k^* , w_k^* из априорного множества неопределенностей, являющейся решением задачи (15), выполняется условие

$$\frac{1}{2}(f_k^1 + f_k^2) = F_k(x, w) = F_k(x_k^*, w_k^*). \quad (24)$$

Если априорное множество неопределенных факторов D_k – выпуклый многогранник, то использование численных методов оптимизации приведет к решению задач (23). Условие (24) в общем случае определяет множество решений

$$X_k^* = \left\{ (x, w)^T \mid F_k(x, w) = \frac{1}{2} (f_k^1 + f_k^2), \quad x \in \bar{X}_k, w \in W_k \right\}. \quad (25)$$

Используя численный оптимизационный метод, получен вектор неопределенностей $x_k^* \in \bar{X}_k$ и $w_k^* \in W_k$ в k -ый момент времени. Этот вектор (точка из априорного множества) используется при синтезе управления.

Таким образом, управление, минимизирующее (2), ищем в виде

$$u_k^* = -K_k^1 x_k^* - K_k^2 w_k^* - K_k^3, \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (26)$$

где

$$K_k^1 = \gamma T_{k+1}^1 A_k, \quad K_k^2 = \gamma [T_{k+1}^1 \Gamma_k + T_{k+1}^3], \quad K_k^3 = \gamma T_{k+1}^1 (c_k - M_{k+1}), \quad (27)$$

$$\gamma_k = [R_1 + B_k^T T_{k+1}^1 B_k]^{-1} B_k^T, \quad (28)$$

$$T_k^1 = Q + A_k T_{k+1}^1 [A_k - B_k K_k^1], \quad (29)$$

$$T_k^2 = T_{k+1}^2 + [\Gamma_k - B_k K_k^2]^T T_{k+1}^1 [\Gamma_k - B_k K_k^2] + [K_k^2]^T R K_k^2 + 2[\Gamma_k - B_k K_k^2]^T T_k^3, \quad (30)$$

$$T_k^3 = [A_k - B_k K_k^1]^T [T_{k+1}^1 \Gamma_k + T_{k+1}^3], \quad (31)$$

$$T_k^4 = -QM_k + [A_k - B_k K_k^1]^T T_{k+1}^1 (c_k - B_k K_k^3 - M_{k+1}) + [K_k^1]^T R K_k^3 + T_{k+1}^4, \quad (32)$$

$$T_k^5 = [K_k^2]^T R K_k^3 + [\Gamma_k - B_k K_k^2]^T T_{k+1}^1 (c_k - B_k K_k^3 - M_{k+1}) + (c_k - M_{k+1})^T T_{k+1}^3 + T_{k+1}^5, \quad (33)$$

$$T_k^6 = M_k^T Q M_k + [K_k^3]^T R K_k^3 + [c_k - B_k K_k^3 - M_{k+1}]^T T_{k+1}^1 \cdot (c_k - B_k K_k^3 - M_{k+1}) + T_{k+1}^6, \quad (34)$$

с краевыми условиями для матриц:

$$T_N^1 = S, \quad T_N^2 = 0, \quad T_N^3 = 0, \quad T_N^4 = 0, \quad T_N^5 = 0, \quad T_N^6 = 0. \quad (35)$$

Точка $x_k^* = z^*$, $w_k^* = \Phi^*$ является решением задачи

$$\max_{\substack{x \in \bar{X}_k, \\ w \in W_k}} \Delta_k(x, z^*, w, \Phi^*) = \min_{z, \Phi} \max_{\substack{x \in \bar{X}_k, \\ w \in W_k}} \Delta_k(x, z, w, \Phi), \quad (36)$$

$$\Delta_k(x, z, w, \Phi) = [F_k(x, w) - F_k(z, \Phi)]^2. \quad (37)$$

Таким образом, изложен алгоритм управления динамическими системами, который может быть применен для поиска оптимального в смысле критерия (2) управления поведением предприятия на рынке в условиях неопределенности. Применив описанный алгоритм к задаче построения управления поведением предприятия сотовой связи, можно говорить о решении задачи управления без формирования программной траектории: с учетом текущего состояния рынка и априорного множества неопределенностей производится расчет управляющих воздействий.

В четвертой главе приведены результаты применения моделей и алгоритмов управления поведением предприятий для рынка сотовой связи Челябинской области в условиях отсутствия и наличия неопределенностей.

Описаны результаты идентификации параметров модели с использованием метода наименьших квадратов (МНК). Метод минимизирует норму отклонений:

$$R = \frac{\sum_{k=0}^N \left(x_k^{\phi} - x_k^M \right)^2}{\sum_{k=0}^N \left(x_k^{\phi} \right)^2} \rightarrow \min_{p \in P}, \quad k = \overline{0, N}, \quad (38)$$

где $(N+1)$ – величина выборки; x_k^{ϕ} , x_k^M – фактические и модельные значения элементов фазовых векторов соответственно; P – множество допустимых значений параметров модели, задаваемое исходя из содержательной интерпретации параметров. В нашем случае удастся решить задачу данным методом приемлемой точностью в рамках ограничений на параметры $p \in P$. Ошибка аппроксимации по различным предприятиям составила от 0,6% до 5%.

При поступлении новой информации о поведении предприятий идентификация параметров модели производится вновь. Тем самым уточняется структура и параметры модели, что позволяет повысить точность моделирования, прогнозирования, оценивания потенциальной емкости рынка и эффективность управления поведением предприятия в условиях неопределенности.

Сопоставление прогноза на 3 месяца в предположении сохранения существующих соотношений цен и потребительских свойств (цена, зона радиопокрытия, каналы распространения) услуг предприятий с фактическими данными показало, что ошибка составила от 1,7% до 8,2%. Прогнозирование с использованием других инструментов, например, построения полиномиального тренда, позволяет снизить аналогичную ошибку до 6%. Но такие инструментальные средства не выявляют содержательный смысл процессов и не ориентированы на последующее решение задачи управления поведением предприятий.

Процедура приведения модели к линеаризованному виду реализована с использованием частных производных, вычисленных в соответствующей точке траектории движения системы:

$$A_k = \frac{\partial f(x_k, u_k, p_k)}{\partial x_k}, \quad B_k = \frac{\partial f(x_k, u_k, p_k)}{\partial u_k}, \quad (39)$$

$$c_k = f(x_k, u_k, p_k, w_k) - A_k x_k - B_k u_k,$$

$$\text{где } f(x_k, u_k, p_k) = x_k \left(1 + x_k \cdot u_k \cdot \left(1 - \frac{z}{Z} \right) \right).$$

За счет того, что линеаризация модели производится отдельно для каждого “скользящего окна”, ширина которого была взята равной 2 месяцам, отклонение значений линеаризованной модели от фактических значений и от значений нелинейной модели не превышало 0,5%. Элементы матриц A_k и B_k , а также вектора c_k линеаризованной модели со временем изменялись незначительно, как и значения параметров нелинейной модели.

Принято допущение, что одно предприятие представлено обособленно, а остальные – совокупно в виде второго участника рынка, т.е. $n = 2, m = 2$. Тогда, модель (3) в нелинейной форме имеет вид:

$$\frac{1}{x_i} \frac{dx_i}{dt} = \left[\sum_{j=1}^6 p_{ij} s_{ij} + p_{i7} \frac{x_i}{z} + p_{i8} + p_{i9} w_i \right] \cdot \left(1 - \frac{z}{Z} \right), \quad i = 1, 2. \quad (40)$$

Рассмотрен случай построения оптимального управления для обоих участников рынка при полной и точной наблюдаемости состояния системы (т.е. $G_{k+1} \equiv 1, V_{k+1} \equiv 0$) на интервале с 30 по 35 месяц, что соответствует календарному периоду июнь–ноябрь 2006 г. Обозначим

$$u_{ik} = \sum_{j=1}^6 p_{ij} s_{ij} + p_{i7} \frac{x_i}{z} + p_{i8} + p_{i9} w_i, \quad i = 1, 2, \quad (41)$$

что имеет смысл результирующего управляющего воздействия i -го предприятия на рынок. Тогда элементы матриц в (1) для данного интервала времени примем постоянными и равными моменту времени наличия последней фактической информации – 29 месяц или май 2006 г. Предположение о постоянстве элементов матриц на интервале построения управления было подтверждено с поступлением фактической информации. Вид этих матриц после линеаризации модели в математическом пакете MatLab для $k = \overline{29, 35}$ оказался следующим:

$$A_k = \begin{pmatrix} 1.012 & -0.024 \\ -0.040 & 0.978 \end{pmatrix}; \quad B_k = \begin{pmatrix} 2.24 & 0 \\ 0 & 7.11 \end{pmatrix} \cdot 10^5; \quad c_k = \begin{pmatrix} 0.26 \\ 0.64 \end{pmatrix} \cdot 10^5; \quad \Gamma_k = E,$$

где E – единичная матрица размерностью (2×2) .

Матрицы для расчета квадратичных форм в критерии функционирования системы (2) приняты следующего вида: $S = R = E$; $Q = \text{diag}(300, 200)$. Значения диагональных элементов матрицы Q характеризуют уровень ежемесячных расходов одного абонента за пользование услугами связи.

В качестве плановой траектории движения системы M_k с учетом запаса, которая присутствует в критерии оптимальности (2) в виде последовательности векторов M_k была выбрана такая монотонно возрастающая последовательность, что:

$$M_{29} = (0.85; 2.69)^T \cdot 10^6, M_{36} = (1.3; 4.0)^T \cdot 10^6, \Delta M_{k=29,35} = (0.9; 2.6)^T \cdot 10^5.$$

Плановая траектория по второму оператору (конкуренты), как правило, не известна, но может быть оценена из динамики предыдущего развития и тенденций развития рынка.

Неопределенности обусловлены наличием неточной информации о поведении предприятий-конкурентов на рынке. Так, число потребителей услуг предприятий (абонентов) по некоторым предприятиям известно точно, а по некоторым есть интервальные оценки. Для рынка сотовой связи стандарта GSM Челябинской области данные о числе абонентов первого предприятия сотовой связи известны с точностью ± 20 тыс., а второго – ± 50 тыс., тогда: $W = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} -20; +20 \\ -50; +50 \end{bmatrix}$. Задание

таких интервалов обусловлено спецификой рынка сотовой связи Челябинской области. Таким образом, неопределенность развития второго оператора (± 50) выше, чем для первого оператора (± 20).

Синтезируемое оптимальное управление (рисунок 5) и соответствующее поведение системы (рисунок 6) качественно для случаев отсутствия и наличия неопределенностей совпадает: в первый момент времени алгоритм предполагает резкое увеличение значений u_1 и u_2 , следствием чего является существенный рост числа потребителей услуг конкурирующих предприятий и ускоренный выход на уровень насыщения рынка.

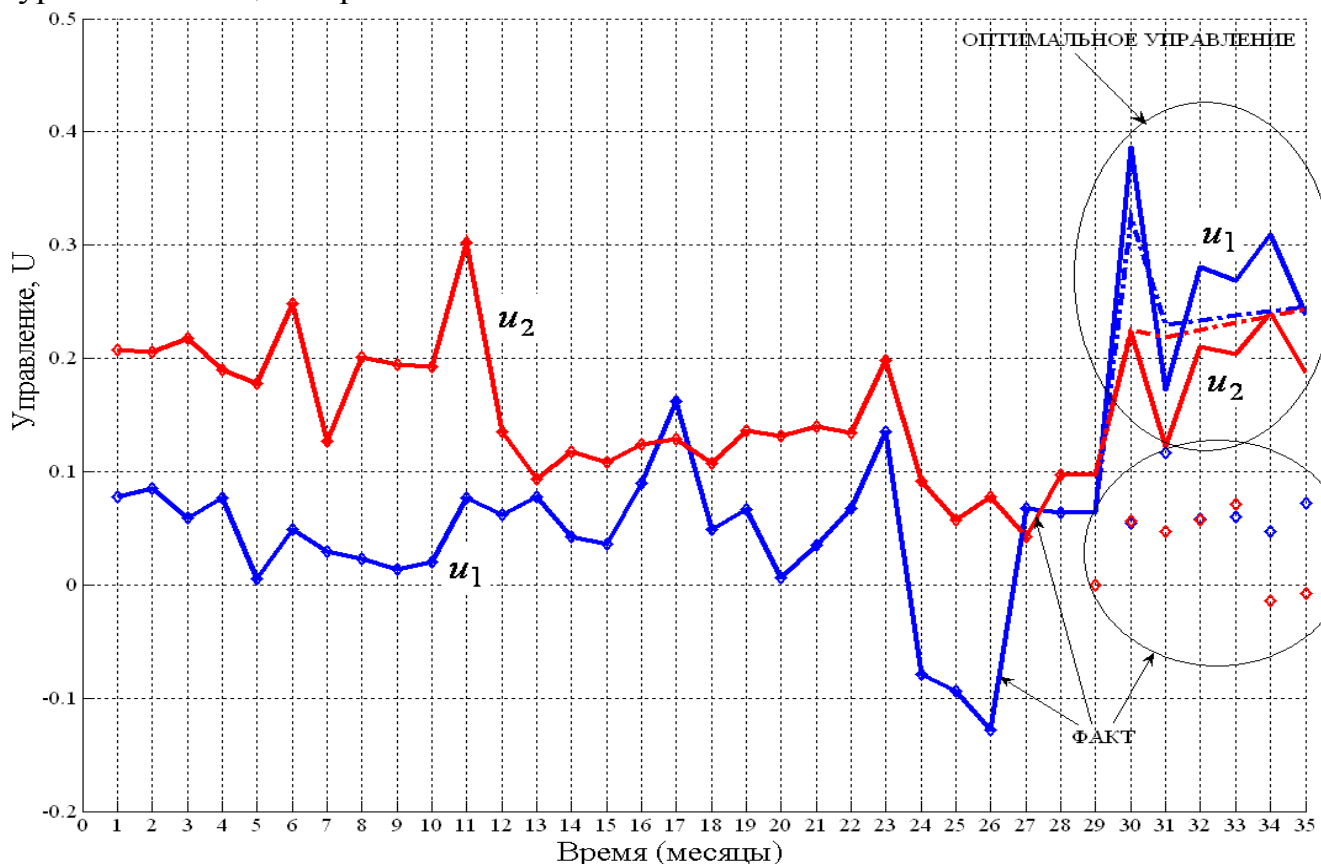


Рисунок 5 – Управление u_1, u_2 : факт: 1–29 месяц, оптимальное: 30–35 месяц (пунктир: случай отсутствия неопределенностей)

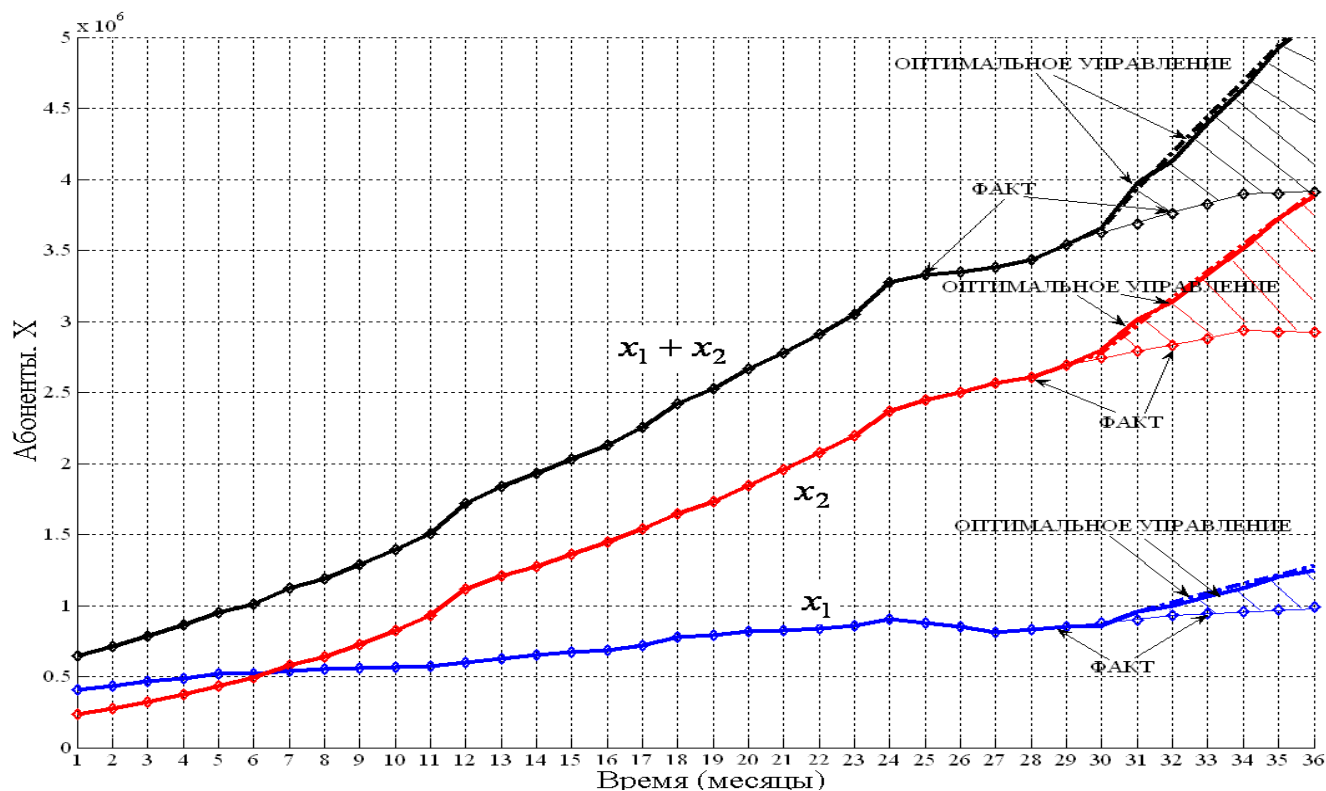


Рисунок 6 – Абоненты x_1 , x_2 : факт: 1–29 месяц, оптимальное: 30–35 месяц
(пунктир: случай отсутствия неопределенностей)

Соответствующие значения критерия эффективности и его слагаемых представлены в таблице 1. Наличие неопределенностей может, как увеличить значение критерия, так и уменьшить его по сравнению со случаем отсутствия неопределенностей. Значение критерия для фактически реализовавшегося сценария существенно выше.

Таблица 1

№ п.п.	Вариант работы	$\ x_N - M_N\ _S^2$	$\sum_{k=0}^{N-1} (\ x_k - M_k\ _Q^2)$	$\sum_{k=0}^{N-1} (\ u_k\ _R^2)$	Критерий Эффек-ти
1.	Случай отсутствия неопределенностей	$4.5 \cdot 10^9$	$3.16 \cdot 10^{12}$	0.824	$3.17 \cdot 10^{12}$
2.	$w_k = 10^3 \cdot (-20; -50)^T$; $W = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} -20; +20 \\ -50; +50 \end{bmatrix}$	$7.4 \cdot 10^9$	$4.94 \cdot 10^{12}$	1.072	$4.95 \cdot 10^{12}$
3.	$w_k = 10^3 \cdot (-10; 20)^T$; $W = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} -20; +20 \\ -50; +50 \end{bmatrix}$	$1.8 \cdot 10^9$	$1.88 \cdot 10^{12}$	0.725	$1.89 \cdot 10^{12}$
4.	$w_k = 10^3 \cdot (0; -20)^T$; $W = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} -0; +0 \\ -30; +30 \end{bmatrix}$	$2.5 \cdot 10^9$	$2.50 \cdot 10^{12}$	0.751	$2.51 \cdot 10^{12}$
5.	Фактические данные	$1.06 \cdot 10^{12}$	$3.13 \cdot 10^{14}$	0.045	$3.14 \cdot 10^{14}$

В рассмотренных случаях (см. рисунок 5, рисунок 6) предполагается оптимальное поведение со стороны обеих предприятий, т.е. траектории M_k характеризовали

оптимистическое развитие событий. На рисунке 7 изображена траектория управления предприятиями в условиях наличия неопределенности при неоптимальном (пессимистическом) плане M_k для второго предприятия, а соответствующее поведение предприятий приведено на рисунке 8. Тем самым, предполагаем неоптимальное управление и поведение со стороны второго предприятия.

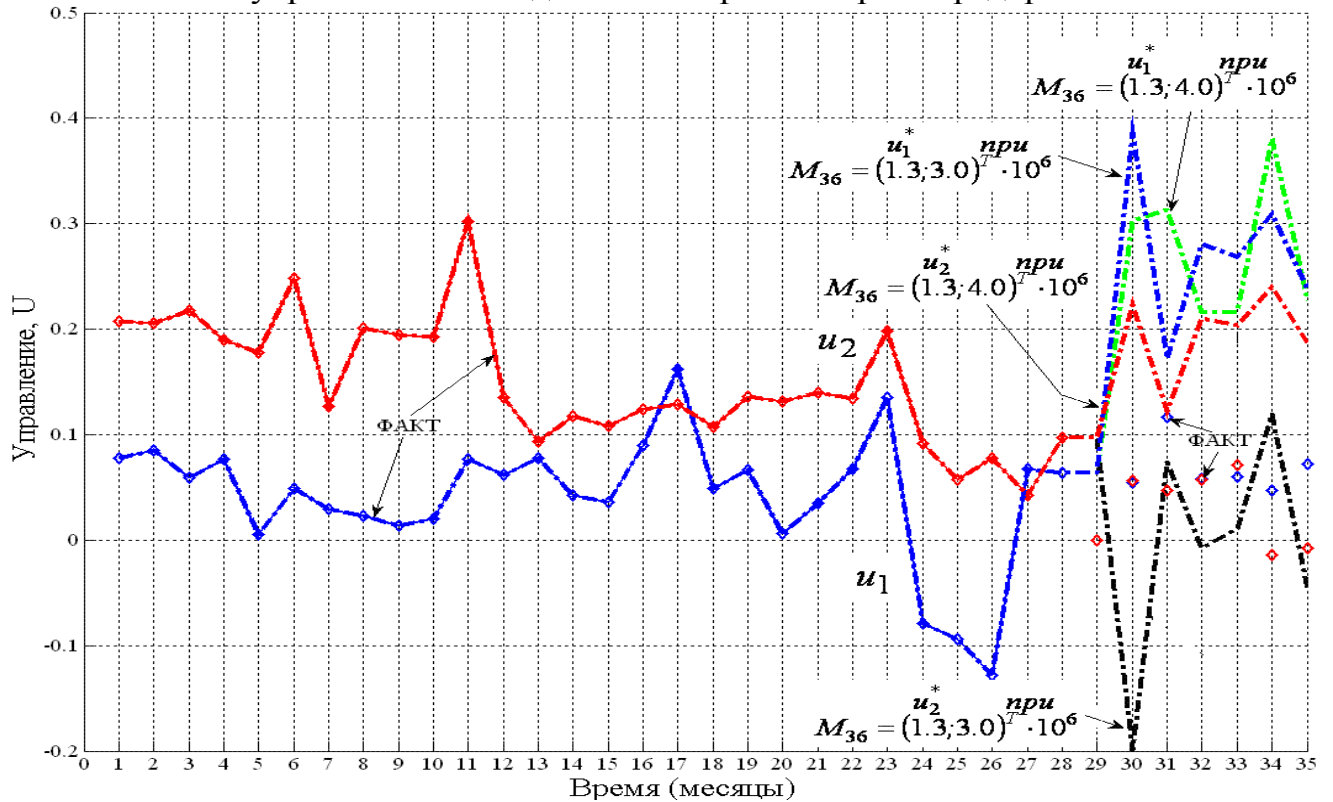


Рисунок 7 – Управление u_1, u_2 : факт: 1–29 месяц, оптимальное: 30–35 месяц

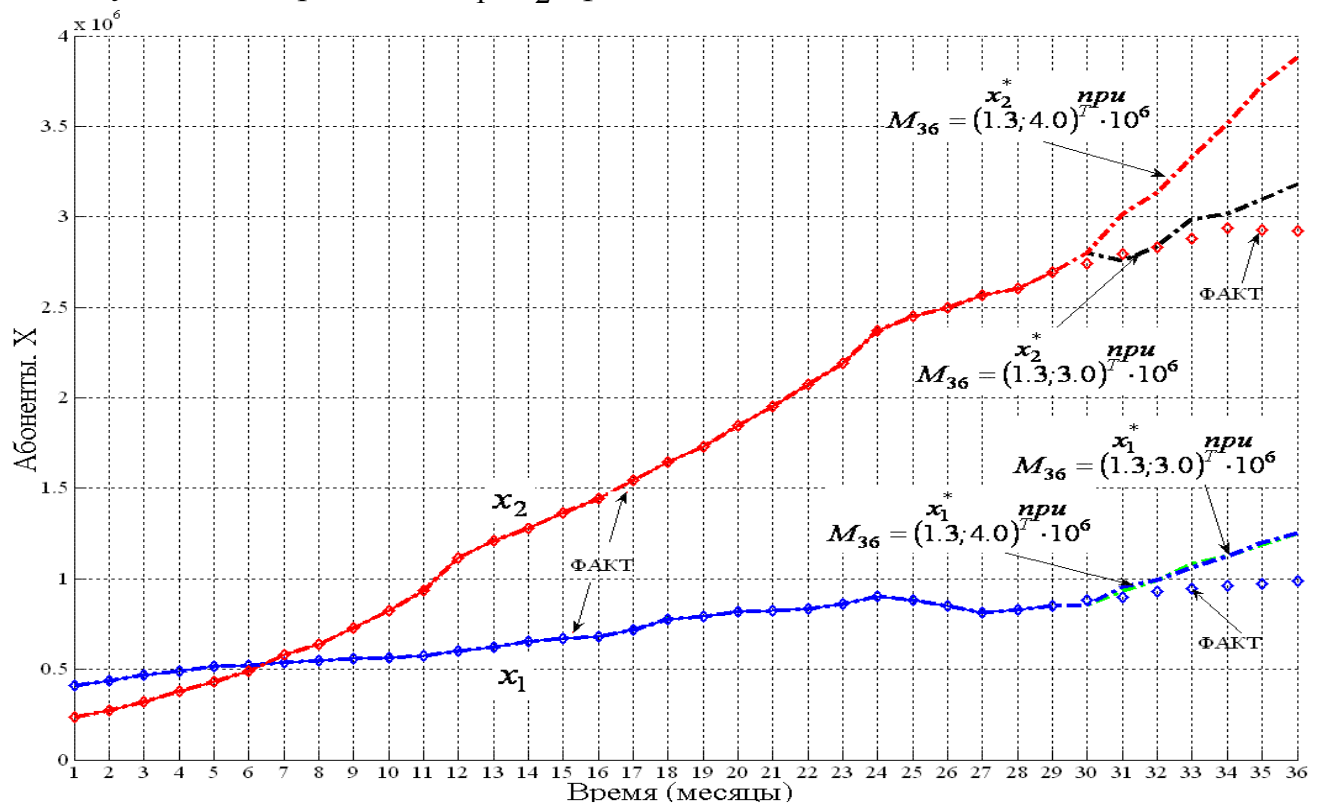


Рисунок 8 – Абоненты x_1, x_2 : факт: 1–29 месяц, оптимальное: 30–35 месяц

Описана методика использования результатов работы алгоритма в практике управления поведением предприятия сотовой связи на рынке. Для этого найденное оптимальное управление u_1 , представим в виде

$$u_{1k} = \sum_{j=1}^6 p_{1j}s_{1j} + p_{17} \frac{x_1}{z} + p_{18} \quad , \quad z = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (42)$$

где s_{11}, \dots, s_{14} – ценовые характеристики; s_{15} – ширина сети распространения услуг; s_{16} – ширина зоны радиопокрытия. Для выработки конкретных управленческих решений, на основании полученных u_{1k} , требуется перейти к s_{1jk} (рисунок 9), учитывая ограничения на изменение s_{ij} . Например, ограничением для s_{11}, \dots, s_{14} может выступать себестоимость данной услуги.

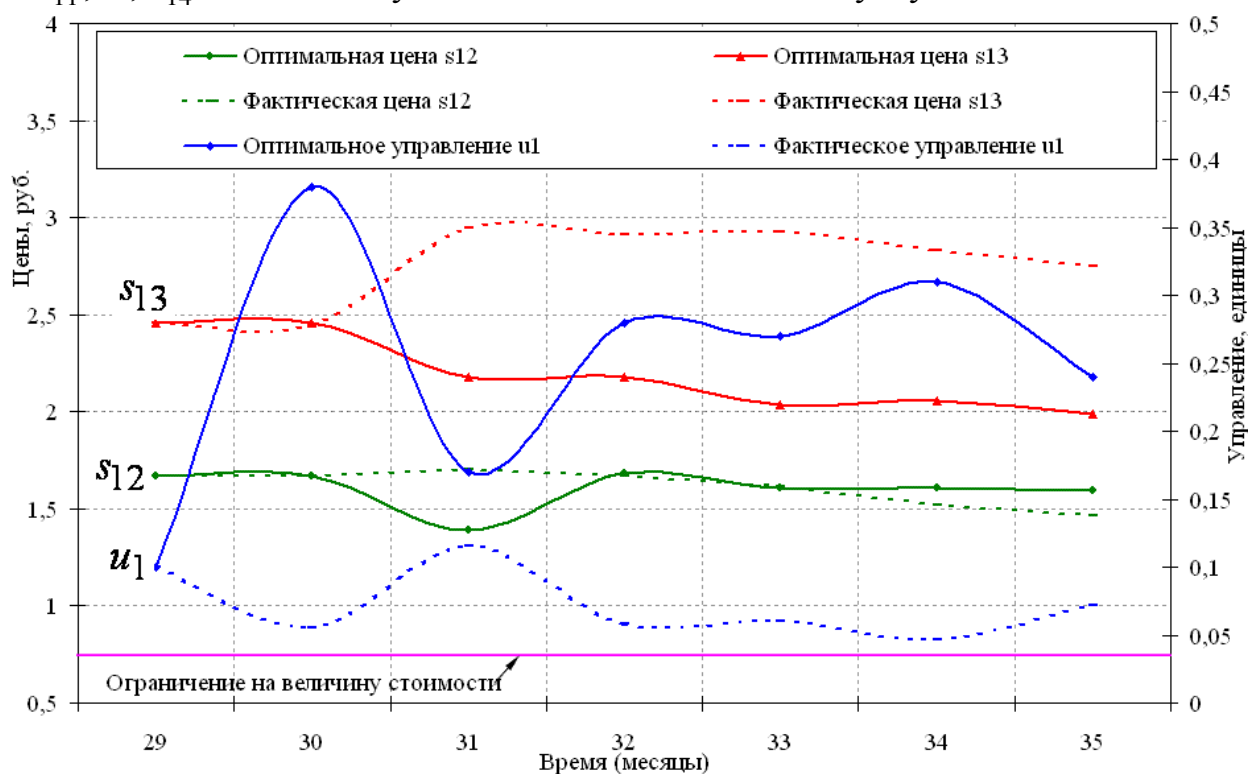


Рисунок 9 – Рекомендации по изменению стоимости услуг предприятия №1

Для реализации алгоритма построения оптимального управления поведением предприятия сотовой связи необходимо выполнить этапы:

1. Сбор информации о поведении предприятий на рынке за период, существенно превышающий временной интервал выработки управленческих воздействий. Например, информация об изменении числа пользователей услугами различных предприятий, ценовые параметры предложений, ширина сети распространения услуг и зоны обслуживания за 2,5 года с дискретой в 1 месяц при интервале управления 6 месяцев.
2. Определение интервала управления, т.е. отрезка времени, на котором реализуется алгоритм управления поведением предприятия.
3. Задание размеров множеств неопределенностей по числу абонентов, за пределы которых неопределенные факторы и возмущения, действующие в системе, не должны выходить.

4. Идентификация параметров модели в пакете прикладных и инженерных расчетов MatLab (MathWorks Inc.).
5. Верификация результатов идентификации параметров модели и анализ их изменения с целью прогноза значений параметров модели на временном интервале выработки управленческих воздействий.
6. Линеаризация модели поведения предприятий сотовой связи с использованием частных производных.
7. Задание плановой траектории развития предприятия с учетом запаса.
8. Задание значений элементов матриц, входящих в критерий эффективности управления поведением предприятия исходя из целей и задач, стоящих перед предприятием, на интервале управления.
9. Построение управления поведением предприятия, минимизирующего заданный на предыдущем этапе критерий.
10. Проверка реализуемости полученного оптимального управления исходя из возможностей предприятия. В случае нереализуемости необходимо вернуться к этапу №7.
11. Применение полученного управления в практике выработки управленческих решений.

Все этапы алгоритма последовательно повторяются в случае:

- поступления новой или уточнения имеющейся информации о поведении предприятий на рынке (число пользователей, цены, другие потребительские свойства, учитываемые в модели);
- изменения целей и задач предприятия на временном интервале выработки управленческих воздействий (изменение плановой траектории и значений матриц в критерии эффективности).

В Выводах и результатах сформулированы основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

В Приложении 1 приведен акт об использовании результатов диссертационной работы в ОАО "Уралсвязьинформ".

В Приложении 2 представлен акт о внедрении результатов научно-исследовательской работы в ОАО "Уралсвязьинформ".

В Приложении 3 представлен текст программных модулей для идентификации параметров модели по исходным данным, линеаризации модели и построения оптимального управления для заданного критерия, реализованного в программном комплексе MathWorks Matlab.

В Приложении 4 приведено краткое описание рынка сотовой связи стандарта GSM Челябинской области.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе построена модель, описывающая поведение предприятий сотовой связи на рынке в условиях неопределенности, и предложен алгоритм управления поведением предприятия сотовой связи на рынке в условиях неопределенности, реализованный по принципу обратной связи. На основе результатов применения

предложенной модели и алгоритма управления поведением предприятия сотовой связи на рынке Челябинской области сформулированы следующие выводы:

- Модель позволяет оценивать влияние различных факторов на поведение предприятия на рынке, определять потенциальную емкость рынка и конкретного его участника, прогнозировать развитие рынка и моделировать различные сценарии развития. Отклонение прогнозных оценок от фактической реализации состояния системы составляет до 8% при краткосрочном прогнозе (3 месяца).
- Модель допускает кусочно-линейную аппроксимацию. Отклонение значений линеаризованной модели от фактических значений и от значений нелинейной модели не превышало 1,5% при линеаризации отдельно для каждого “скользящего окна”, ширина которого составляла 2 месяца. Элементы матриц A_k и B_k , а также вектора c_k линеаризованной модели со временем изменялись не более 15%, как и значения параметров нелинейной модели соответственно.
- Уточнение параметров модели при поступлении новой информации позволит повысить точность моделирования, прогнозирования, оценивания потенциальной емкости рынка и эффективность управления поведением предприятия в условиях наличия неточной и неполной априорной информации об участниках рынка и при отсутствии знаний о законах изменения неопределенностей.
- Использование линейно-квадратичного функционала, минимизирующего отклонение от плановой траектории развития предприятия с учетом запаса, в качестве критерия оптимального управления позволяет рассматривать различные сценарии поведения предприятий на рынке и находить управленческие решения, реализующие эти сценарии.
- Алгоритм построения управления поведением предприятия сотовой связи на рынке в условиях неопределенности при задании критерия позволяет вырабатывать конкретные рекомендации для руководителей предприятия.
- Наличие неопределенностей может, как увеличить значение критерия, так и уменьшить его по сравнению со случаем отсутствия неопределенностей. Значение критерия для фактической реализации существенно выше значения критерия при оптимальном управлении поведением предприятия сотовой связи.

Предложенные модели и алгоритмы позволяют повышать эффективность информационного обеспечения и управления поведением предприятия в условиях неопределенности. Созданный программный комплекс обеспечивает руководителей предприятия сотовой связи инструментарием поддержки принятия управленческих решений по разработке мероприятий в части тарифной политики и потребительских свойств услуг для выполнения плана.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях и научных журналах из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук:

1. Коблов, А.И. В кн. “Управление фирмой: Моделирование, анализ и управление”. Глава 6. Моделирование и оптимальное управление поведением фирмы на рынке. С. 255–269 / В.И. Ширяев, И.А. Баев, Е.В. Ширяев. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 271 с.
2. Коблов, А.И. О прогнозировании развития региональных рынков сотовой связи / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, Б.М. Кувшинов, В.И. Ширяев // Мобильные системы. – 2006. – №2. – С. 5–10.

Другие научные публикации по теме диссертации:

3. Коблов А.И. Модели прогнозирования развития региональных рынков и оптимальное управление поведением фирмы / В.И. Ширяев, И.Г. Гришин, А.И. Коблов, Б.М. Кувшинов // Вестник Пермского университета. Математика, механика, информатика. – 2007. Выпуск 7 (12). – С. 149–164.
4. Коблов А.И. Управление поведением фирмы на рынке в условиях неопределенности / А.И. Коблов, В.И. Ширяев // Тр. Междунар. конф. “Математическое моделирование социальной и экономической динамики”. – М.: РУДН, 2007. – С. 109–111.
5. Коблов, А.И. Оптимальное управление поведением фирмы на конкурентном рынке сотовой связи / А.И. Коблов, В.И. Ширяев // Всероссийский симпозиум “Стратегическое планирование и развитие предприятий”. Секция 2.–М.: ЦЭМИ РАН, 2007. – С. 114–116.
6. Коблов, А.И. Модели развития сотового рынка / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // Информ Курьер–Связь. – 2006. – №4. – С. 79–81. www.miks.ru/magazine/magazine_look.php?id=985.
7. Коблов, А.И. Применение моделей для прогнозирования развития участников рынка сотовой связи / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // Всероссийский симпозиум “Стратегическое планирование и развитие предприятий”. Секция 2.–М.: ЦЭМИ РАН, 2006. – С. 39–40.
8. Коблов, А.И. Применение моделей для прогнозирования развития участников рынка сотовой связи / А.И. Коблов // Сб. тр. Международной конференции “Информационно–телекоммуникационные системы”. – Новосибирск, НГТУ, 2006. – С. 47–50.
9. Коблов, А.И. Моделирование развития конкурентных рынков (на примере рынка сотовой связи) / А.И. Коблов, В.И. Ширяев // Международная научно-практическая конференция “Научные школы и результаты в российской статистике”. – СПб.: СПбГУЭиФ, 2006. – С. 116–118.
10. Коблов, А.И. Моделирование и оптимальное управление поведением фирмы на рынке / А.И. Коблов, В.И. Ширяев / Механика и процессы управления. Т.2. Тр. XXXI Уральского семинара. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С. 156–167.
11. Коблов, А.И. Модели прогнозирования развития конкурентных региональных рынков / В.И. Ширяев, И.В. Гришин, А.И. Коблов, Б.М. Кувшинов // Актуальные проблемы математики, механики, информатики: материалы Международной Научно-методической конференции. – Пермь, 2006. – С. 98–100.

12. Коблов, А.И. Модели прогнозирования развития региональных рынков сотовой связи стандарта GSM / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, Б.М. Кувшинов, В.И. Ширяев // *Маркетинг в России и за рубежом*. – 2005. – №5. – С. 3–16.
13. Коблов, А.И. Моделирование и прогнозирование развития регионального рынка сотовой связи / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Всероссийский симпозиум “Стратегическое планирование и развитие предприятий”*. Секция 2. –М.: ЦЭМИ РАН, 2005. – С. 38–41.
14. Коблов, А.И. Моделирование рынка сотовой связи региона / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Спец. выпуск научного вестника РСГУ*. – М.: РСГУ, 2005. – С. 25–35.
15. Коблов, А.И. О возможностях аналитических систем для решения задач оценки емкости, прогнозирования и моделирования развития рынка сотовой связи / И.В. Гришин, А.И. Коблов, Б.М. Кувшинов, В.И. Ширяев // *Аналитические системы CBOSS 2005: опыт использования и новые возможности*. – М.: CBOSS, 2005. – С. 65–66.
16. Коблов, А.И. Модели поведения абонентов на конкурентном рынке / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Всероссийский симпозиум “Стратегическое планирование и развитие предприятий”*. Секция 2.–М.: ЦЭМИ РАН, 2004. – С. 31–32.
17. Коблов, А.И. Прогноз продаж на основе сравнения макроэкономических показателей субъектов РФ / К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов, Б.М. Кувшинов, В.И. Ширяев // *Международная научно-практическая конференция «Глобальные тенденции в статистике и математических методах в экономике»*, СПбГУЭФ, 2003. – С. 185–186.
18. Коблов, А.И. Идентификация покупательной способности населения по ходу реализации товара / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Всероссийский симпозиум “Стратегическое планирование и развитие предприятий”*. Секция 2.–М.: ЦЭМИ РАН, 2003. – С. 39–40.
19. Коблов, А.И. Задача управления ценой товара на рынке в условиях неопределенности / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Информ. бюллетень ассоциации мат. программирования*. №10. –Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 48–49.
20. Коблов, А.И. Определение покупательной способности населения и выработка ценовой стратегии компании / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Наука и технологии*. Сер. Проблемы экономики. Тр. XXXIII Российской школы. – М.: РАН, 2003. – С. 161–168.
21. Коблов, А.И. Об управлении ценой товара на рынке в условиях неопределенности / А.Б. Блинов, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // *Тр. XXXII Уральского семинара “Механика и процессы управления”*. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002.–С. 530–537.
22. Koblov, A.I. 2006. Applying models to forecast mobile service market development / A.B. Blinov, A.I. Koblov, V.I. Shiryaev // *Proceedings of the 24th International Conference*: 81-82. Nijmegen, Netherlands. <http://www.systemdynamics.org/conferences/2006/proceed/proceed.pdf>.
23. Koblov, A.I. 2004. Modeling the mobile service market of the region and a control problems solution / A.B. Blinov, A.I. Koblov, V.I. Shiryaev // *Proceedings of the 22nd International Conference*: 44. Oxford, England. <http://www.systemdynamics.org/conf2004/indexpapers.htm>.
24. Koblov, A.I. 2004. Modeling the mobile service market of the region / A.B. Blinov, A.I. Koblov, V.I. Shiryaev // *Proceedings of the international conference Mathematical modeling of social and economical dynamics*. Moscow, Russia. p. 52–54.
25. Koblov, A.I. 2003. Identification of carrying capacity of the market and synthesis of a cellular communication company price strategy. *System Dynamic Society*. / A.B. Blinov,

A.I. Koblov, V.I. Shiryaev // Proceedings of the 21st International Conference: 39-40. New York, USA. <http://www.systemdynamics.org/conf2003/proceed/proceed.pdf>.

Разработанные алгоритмы управления в условиях неопределенности универсальны, что подтверждено их использованием для управления беспилотными летательными аппаратами на этапе захода на посадку и посадки и в других сферах. Работы Коблова А.И. по этой тематике опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ:

26. Коблов, А.И. Алгоритмы оценивания и управления беспилотным летательным аппаратом на этапе посадки / М.О. Антонов, В.И. Ширяев, К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2005. – №2. – С. 166–173.
27. Коблов, А.И. Точность управления летательным аппаратом в условиях неопределенности на этапе захода на посадку / М.О. Антонов, В.И. Ширяев, К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – №7. – С. 64–69.
28. Коблов, А.И. Оценивание параметров движения роботов команды противника при игре в футбол / В.И. Ширяев, Е.Ф. Лепинин, А.И. Коблов // Мехатроника. – 2002. – №1. – С. 6–8.

Другие публикации соискателя по использованию алгоритмов управления:

29. Коблов, А.И. Алгоритмы оценивания координат и управления беспилотным летательным аппаратом на этапе захода на посадку в условиях неопределенности / К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов, В.В. Смолин, В.И. Ширяев // Механика и процессы управления.– Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – С. 365–374.
30. Коблов, А.И. Управление в условиях неопределенности летательным аппаратом / В.И. Ширяев, А.И. Коблов // Материалы XIII науч.–техн. конф. “Экстремальная робототехника”. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – С. 28–34.
31. Koblov, A.I. Algorithms of estimation and control of aircraft under uncertain conditions at the landing phase / K.E. Afanasyeva, A.I. Koblov, V.V. Smolin, V.I. Shiryaev // Modelling and Analysis of Logic Controlled Dynamic Systems / IFAC Workshop. – Irkutsk, 2003.

Коблов Андрей Иванович

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук