На правах рукописи

БАСКАКОВ РОМАН АНАТОЛЬЕВИЧ

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМ КОНТРОЛЕМ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.

05.13.14 - Системы обработки информации и управления

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Красноярск - 2000

Работа выполнена на кафедре “Автоматизированной обработки информации” Красноярского государственного технического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук,

Михайленко С.А.

Научный консультант: кандидат технических наук,

Соколов М. И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,

профессор Демиденко Н.Д.,

кандидат технических наук,

доцент Красноштанов А.П.

Ведущая организация: ОАО "Краноярскэнерго".

Защита состоится 29 июня 2000 г. в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д.064.54.01 Красноярского государственного технического университета по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим высылать по адресу: г. Красноярск, ул. Киренского, 26, ученому секретарю Диссертационного совета.

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2000 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

д.т.н., профессор А.Н. Ловчиков

**Общая характеристика работы**

**Актуальность проблемы.** Задача совершенствования системы управления экономикой на базе экономико-математических методов является одной из главнейших практических и научных проблем современного этапа развития общества. В настоящее время экономические расчеты опираются, как правило, на аппарат линейного программирования, разработанный в 40-х годах и не учитывающий ряд важных особенностей экономических объектов. В задачах планирования и прогнозирования такой особенностью является неполная информация о параметрах планирования. Для решения данных задач в условиях неполной информации, перспективным является использование методов имитационного моделирования и стохастического программирования.

**Цель работы**: Разработать математические и информационные средства для оптимизации функционирования предприятия с позиций линейных динамических систем с дискретным контролем в условиях неполной информации. Применить полученные результаты в задаче распределения нагрузки в энергосистеме.

Цель достигается путём решения следующих задач:

1. Сформулировать постановку задачи оптимизации линейной динамической системы с дискретным контролем, описывающей функционирование предприятия с учетом присущих ему финансовых механизмов деятельности и запаздываний в системе.
2. На основе аппарата имитационного моделирования и стохастического программирования разработать метод оптимизации линейных динамических систем с дискретным контролем в условиях неполной информации.
3. Создать информационные средства прогнозирования деятельности предприятия.
4. Решить проблему оптимизации нагрузки в энергосистеме при неполной информации.

**Научная новизна** диссертации состоит в разработке и исследовании методов оптимизации особого класса линейных динамических систем с дискретным контролем при неполной информации, возникающих в задачах планирования и прогнозирования на предприятии. В частности:

* С позиций линейных динамических систем разработана математическая модель функционирования предприятия, учитывающая временные запаздывания и основные компоненты работы предприятия: закупка сырья, выпуск продукции, ее хранение, воспроизводство фондов, деятельность персонала, финансовые взаимоотношение предприятия с дебиторами, кредиторами и фискальными органами, различные стратегии маркетинга.
* Предложен модифицированный метод стохастического квазиградиента, обеспечивающий двухэтапное планирование деятельности предприятия.
* Разработан и исследован статистический метод оптимизации линейных динамических систем с дискретным контролем, основанный на декомпозиции исходной задачи и принципах имитации систем.

**Практическая ценность** диссертации заключается в разработке методических, алгоритмических и программных средств оптимизации и оценки решения статистических линейных динамических систем с дискретным контролем, ориентированных на реализацию проблемы планирования и прогнозирования на предприятиях при неполной информации.

Научные результаты диссертационной работы могут быть использованы в задачах планирования и прогнозирования на предприятии в условиях, когда процесс функционирования предприятия описывается линейной динамической системой, в том числе, когда параметры планирования частично неопределенны.

**Методы исследования**. Для решения поставленных задач были использованы аппарат линейного и стохастического программирования, теоремы лагранжевой двойственности, метод имитационного моделирования.

**Автор защищает:**

1. Линейную динамическую модель функционирования предприятия, описывающую основные компоненты и механизмы финансово-хозяйственной деятельности предприятия.
2. Метод оптимизации линейных динамических систем с использованием принципов декомпозиции и верхней оценки дуальной функции; результаты его сравнения с методом Данцига-Вольфе.
3. Имитационную модель оптимизации статистических линейных динамических систем с дискретным контролем при неполной информации о параметрах планирования, обеспечивающую решение задачи прогнозирования результатов работы предприятия.
4. Модифицированный метод стохастического квазиградиента в задаче двухэтапного планирования на предприятии.
5. Программные средства, реализующие методику статистического оценивания решений линейных динамических систем; результаты их применения при оптимизации распределения нагрузке в энергосистеме на примере ОАО "Красноярскэнерго".

**Реализация результатов работы.** Разработанные методы оптимизации статистических линейных динамических систем и программное обеспечение внедрено в ОАО "Красноярскэнерго" для использования в работе по планированию работы предприятий энергосистемы.

**Апробация работы**. Основные положения диссертации представлялись и докладывались на региональных, Всероссийских и Международных конференциях: Международной конференции "Математические модели и методы их исследования (задачи механики сплошной среды, экологии, технологических процессов, экономики)" (г. Красноярск, 1999); первом Всероссийском симпозиуме "Стратегическое планирование и развитие предприятий" (г. Москва, 2000); региональной конференции "Образование XXI века: инновационные технологии, диагностика и управление в условиях информатизации и гуманизации" (г. Красноярск, 2000).

**Публикации.** Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований опубликованы в 6 печатных работах.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографии (71 наименование), содержит 109 страниц машинописного теста, иллюстрируется 6 рисунками.

**Содержание работы.**

**Во введении** обоснованаактуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследования, выделены основные положения работы, имеющие новизну и практическую значимость.

**В первой главе** приведен обзор основных понятий и моделей математической теории управления экономикой и построена математическая модель функционирования предприятия с позиции линейных динамических систем.

Дается описание простейшего однопродуктового элемента экономики с учетом запаздываний, предлагается процедура объединения отдельных элементов экономики. Синтез модели осуществляется путем последовательного добавления в рассматриваемую модель различных компонент и аспектов деятельности предприятия и построения оператора планирования, который после каждой модификации остается линейным. К полученному в результате объединения однопродуктовых элементов многопродуктовому элементу добавляется описание складов входных и выходных продуктов. Вводится в рассмотрение строительный элемент с учетом различных временных запаздываний. Далее описываются процессы сбыта готовой продукции и закупки сырьевых продуктов. В описании учитывается, что предприятие может производить закупки и реализовывать продукцию различными способами. Каждый *i* - ый способ реализации продукции, также как и каждый *i* - ый способ закупки продукции, отличается от других временным интервалом между моментом оплаты и моментом поступления продукции и ценой за единицу продукции. Трудовые ресурсы  рассматриваются на множестве профессий. Описывается процесс выплаты заработной платы и отчисления на социальные нужды на предприятии. При этом учитывается, что выплата заработной платы за каждый период  происходит не моментально, а в течение некоторого интервала времени . Описывается процесс взаимодействия предприятия с финансовыми институтами. Одним из таких институтов является банк. Учитывается, что банк начисляет проценты на средний остаток на текущем счете с некоторой периодичностью  по формуле, где  - остаток на счету предприятия в момент *t*. Вторым рассматриваемым финансовым институтом является кредитное учреждение. Описывается функционирование кредитной линии, предоставляемой предприятию. Кредитное учреждение начисляет с некоторой периодичностью проценты за пользование кредитом по формуле , где  - задолженность предприятия перед кредитным учреждением в момент *t.* При этом ограничивается максимальная сумма кредита . Вводится дополнительное условие полной оплаты всей суммы кредита и процентов по нему к моменту окончания планирования. Введем следующие обозначения:  - интервал планирования;  - вектор производимых предприятием продуктов;  - вектор мощностей;  и  - вектора продуктов на складе входной и выходной продукции; - сумма, поступающая по кредитной линии предприятию в момент *t*;  - вектор цен при закупке входных продуктов *i* - ым способом в момент *t*;  - вектор цен при реализации выходных продуктов *i* - ым способом в момент *t*;  - вектор удельной стоимости трудовых затрат;  - количество выходных продуктов, реализуемых *i* - ым способом в момент *t*, и  - соответствующее запаздывание;  - количество входных продуктов, закупаемых *i* - ым способом в момент *t,*  - соответствующее запаздывание;  = 1, если  , *k* - целое и , и  = 0 иначе, = []( - целая часть *x*). ,,, - матрицы удельных сырьевых затрат на мощность, на персонал, на обслуживание входного и выходного склада, ,,, - матрицы удельных трудовых затрат на мощность, на персонал, на обслуживание входного и выходного склада,  и  - вектор постоянных затрат, =,=,=, =, =,  и  - удельные прямые сырьевые затраты продукта  и трудовые затраты *r* - ой специальности на выпуск продукта *i*,  и  - удельные фондообразующие затраты продукта  и трудовые затраты *r* - ой специальности на единичный прирост *i -* ой мощности. Оператор планирования **B** для полученной таким образом модели предприятия выглядит следующим образом:

 = + + + +- ) + ,

=++,

--  +  - ,

 + ,

,,, , ,= 0,

,,,,,, .

Кроме того, функции, аргументы которых зависят от запаздываний, должны быть заданы на соответствующих доплановых и послеплановых периодах. В качестве критерия качества в данной работе выбрано максимальное увеличение денежных средств на счету предприятия к концу периода планирования:

max

Таким образом, в рамках предложенной модели, задача планирования на предприятии свелась к задаче оптимизации линейной динамической системы.

**Во второй главе** обосновывается эффективность перехода к дискретному времени для решения полученной в первой главе задачи оптимизации линейной динамической системы. После этого преобразования задача оптимизации принимает вид следующей задачи линейного программирования.

min,

,,, ,

где = {,,...,,,..., ,,, ,,}, , *А* - матрица, соответствующая строкам оператора планирования, описывающим баланс материальных и трудовых ресурсов в каждый момент времени ,  - матрица ограничений-равенств нашей задачи, соответствующая строкам, описывающим баланс материальных и трудовых ресурсов в каждый момент времени  и денежных ресурсов во все рассматриваемые моменты времени;  - матрица ограничений-неравенств, соответствующая строкам, описываемым соотношения между мощностью и выпуском при .

Матрицы  и  имеют специальную структуру, вследствие чего полученную задачу линейного программирования можно свести к следующему виду:

min,

, , , , ,

где = {,}, = {,, , , },= {},= {}, = , *j* = , .

Для произвольного  введем функцию Лагранжа :

=- , и дуальную функцию = =+=+ . Из последнего выражения видно, что вычисление дуальной функции разлагается в решение четырех независимых вспомогательных задач (,,,) вида:

,

, где =.

Теоремы лагранжевой двойственности позволяет установить, что значение дуальной функции  не превосходит оптимума основной задачи, а ее максимум совпадает со значением оптимума основной задачи. Задача поиска максимума дуальной функции (дуальная задача) решается с помощью алгоритма субградиента. Субградиент дуальной функции равен =(например М.Мину). На каждой итерации этого алгоритма полученное значение дуальной функции является нижней оценкой оптимума \* исходной задачи. Для получения верхней оценки предложена следующая процедура:

Проверим условие , если оно выполнено, то процедура преобразования не требуется. Иначе, найдем индекс , такой что для любого *i* : |()|()|. Далее найдем множество индексов , такое что ,  и , где  - количество столбцов матрицы *A*, выполняется условие ()/= ()/= *Z*(*j*). Тогда получим вектор =() следующим образом: компоненты вектора  для которых  примем равными соответствующим компонентам вектора , а в качестве остальных компонент возьмем любые компоненты , удовлетворяющие условиям =-. Доказывается, что \*.

Выбор шага в методе субградиента осуществляется с помощью комбинации метода релаксации и метода расходящегося ряда. Данный метод показал хорошие результаты на практике. Далее предложенный метод субградиента сравнивается с методом Данцига-Вольфе. Основными недостатками метода Данцига-Вольфе по сравнению с предложенным методом при реализации на ЭВМ являются:

а) необходимость хранить в памяти ЭВМ все полученные на предыдущих итерациях значения ;

б) на каждом шаге процедура выбора нового значения  сопряжена с решением задачи линейного программирования, размерность которой возрастает с числом итераций.

**В третьей главе** рассматриваются и решаются задачи оптимизации и анализа решения линейных динамических систем с дискретным контролем, при неполной информации о параметрах системы. Обосновывается значимость такой постановки задачи для более адекватного описания экономических объектов.

Предполагается, что планирование работы предприятия в рамках предложенной модели происходит при полной информации, в то время как задача прогнозирования оценок статистических характеристик оптимума функции цели решается в условиях, когда известны только вид распределения параметров системы. Предложенная методика также применима, если имеется конечная выборка из параметров задачи. Для решения задачи используется метод имитационного моделирования. На основе анализа полученной в результате вычислительного эксперимента выборки решений оценивается математическое ожидание, дисперсия оптимума функции цели, определяется ее доверительный интервал.

Далее с позиций метода стохастического квазиградиента [Ю. М. Ермольев] решается двухэтапная задача стохастического программирования для рассматриваемой системы. Для данной задачи вектор стохастического квазиградиента представляется в виде =-  -  -  -   -  -  +  +  +[-+  - ],

где  - момент, когда определяется коррекция  плана  и далее производство функционирует в соответствии с исправленным планом (+);  - недостающая информация о параметрах задачи, поступающая в конце первого этапа, и генерируемая на *s* -ом шаге алгоритма стохастического квазиградиента;  - матрица, составленная из строк матрицы *A*(**)основной задачи, описывающих баланс материальных и трудовых ресурсов в моменты [];  - матрица, составленная из строк матрицы (**)основной задачи, описывающих соотношения между мощностью и выпуском в моменты [];  - матрица, составленная из строк матрицы (**) основной задачи, описывающих баланс материальных ресурсов в моменты ;  - матрица, составленная из строк матрицы (**)основной задачи, описывающих баланс денежных средств в моменты [];  - матрица, составленная из строк матрицы (**) основной задачи, описывающих баланс материальных ресурсов в моменты ; , ,,, - соответствующие строкам этих матриц оптимальные двойственные переменные; ,,,,,,  - оптимальные двойственные переменные, соответствующие другим ограничениям исходной задачи.

На каждом шаге алгоритма стохастического квазиградиента для имеющегося значения  решается задача второго этапа с помощью метода субградиента, описанного в главе 2. В процессе решения одновременно определяется вектор . Остальные оптимальные двойственные переменные находятся из условий Куна-Такера и решения двойственной задачи второго этапа. Описывается процедура проектирования полученного на каждом шаге вектора  на множество допустимых решений. В качестве теста на остановку используется предложенная Ю. М. Ермольевым процедура: вычисления прекращаются, после того как значение  - оценка функции цели рассматриваемой задачи станет меньше какой-то заранее заданной величины.

**В четвертой главе** приводится описание программных средств, реализующих метод имитационного моделирования при оценивании статистических характеристик целевой функции и решения задачи оптимизации линейных динамических систем с дискретным контролем при неполной информации об их параметрах.

Программное обеспечение реализовано в среде визуального программирования Visual Basic 6.0 и представляет собой диалоговый пакет программ для работы в операционной среде Windows 3.11 или Windows 95 на компьютерах типа 486 DX4 или Pentium с объемом оперативной памяти не менее 8Мb.

Функциональные возможности информационной подсистемы: создание выборки решений и значений оптимума целевой функции задачи оптимизации линейных динамических систем, соответствующих заданному закону распределения их параметров задачи, статистическое оценивание характеристик оптимального решения и функции цели, включая доверительное оценивание.

Данное программное обеспечение адаптировано для решения задачи прогнозирования результатов работы предприятий энергосистемы (ОАО "Красноярскэнерго").

**В пятой главе** рассматривается задача планирования распределения нагрузки в энергосистеме. Предлагается математическая модель функционирования энергосистемы при заданном графике потребления электроэнергии. Электроэнергия производится тремя типами предприятий: гидроэлектростанцией (ГЭС), теплоэлектростанциями (ТЭС) и блокстанциями (БС). Производимая каждым типом этих предприятий электроэнергия имеет ограничения сверху и снизу. Кроме этого электроэнергия может закупаться у внешних поставщиков. Помимо указанных ограничений вводится ограничение на среднюю на всем интервале планирования мощность ГЭС, а также условие баланса между, производимой, покупаемой, потребляемой и теряемой электроэнергией на всем интервале планирования:  + +  +  =+, где , , ,  - средняя мощность ГЭС, ТЭС, БС и покупаемой электроэнергии с момента *t* - 1 до момента *t*; ,, - средняя доля электроэнергии, производимая ГЭС, ТЭС и БС соответственно, и расходуемая на собственный нужды с момента *t* - 1 до момента *t*;  и  - средняя мощность потребляемой электроэнергии и ее расход на транспорт по сетям соответственно. Целью задачи является минимизация стоимости электроэнергии, производимой энергосистемой и закупаемой у внешних поставщиков, определяемого выражением на всем интервале планирования:

 + +  + ],

где , , ,  - стоимость единицы электроэнергии, произведенной ГЭС, ТЭС, БС и закупаемой у внешних поставщиков с момента *t* - 1 до момента *t.* Также как и для предложенной в главе 1 модели предприятия, для решения данной задачи при полной информации был использован метод поиска оптимума дуальной функции с помощью алгоритма субградиента и декомпозиции, рассмотренный в главе 2. На рис. 1 представлена зависимость верхней и нижней оценок дуальной функции для данной задачи от номера итерации. Для вычисления оптимума целевой функции с точностью 0,01% требовалось в среднем 272 итерации.

Постановка задачи прогнозирования оценок статистических характеристик оптимума целевой функции и оптимизации предложенной модели энергосистемы совпадает с постановками задачи исследования линейных динамических систем, описанных в главе 3. Считается, что все параметры задачи распределены нормально с заданными математическим ожиданием и дисперсией. Вычислительные эксперименты по имитационному моделированию проводились при различных значениях среднеквадратичных отклонений параметров (*M* - математическое ожидание рассматриваемого параметра, *D* = 0,05*M*; 0,15*M*). Зависимость выборочного среднего для полученной на каждой имитации выборки от номера имитации представлена на рисунке 2.

Приводится детальное описание процедур вычисления оптимальных двойственных множителей и проектирования на множество допустимых решений.

**Основные результаты и выводы**

1. Предложена линейная динамическая модель функционирования предприятия, описывающая наиболее полно основные механизмы финансово-хозяйственной деятельности предприятия: закупка сырья, выпуск и хранение продукции, воспроизводство фондов, оборот трудовых ресурсов, различные маркетинговые стратегии, использование инвестиций и кредитной линии, финансовые взаимоотношения с фискальными органами.
2. Разработана и исследована методика имитационного моделирования для оценивания статистических характеристик условий оптимума целевой функции и решения задачи оптимизации линейных динамических систем с дискретным контролем при неполной информации о параметрах планирования деятельности предприятия.
3. Разработан модифицированный метод стохастического квазиградиента, позволяющий осуществить декомпозицию линейных динамических систем с дискретным контролем, в задаче двухэтапного планирования деятельности предприятия.
4. Создано программное обеспечение, реализующее статистические методы оптимизации линейных динамических систем с дискретным контролем и обладающее свойствами адаптации к условиям решения широкого класса задач.
5. Сформулирована и решена задача оптимизации распределения нагрузки в энергосистеме в условиях неопределенности относительно ее технологических и экономических параметров.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:

1. Р.А. Баскаков. Оптимизация структуры платежей при продаже в рассрочку автомобилей с учетом финансовых рисков.// Моделирование процессов управления и обработки информации. Междуведомственный сборник научных трудов. - Москва: МФТИ, 1996. – с. 17 – 21.

2. Р.А. Баскаков. Оптимизация финансового планирования при санации предприятия.// Информатика и системы управления./отв. ред. А.Н. Ловчиков, Б.П. Соустин. - Красноярск: КГТУ, 1998. – с. 24 – 26.

3. Р.А. Баскаков. Оптимизация финансового планирования на предприятии методами стохастического программирования.// Тезисы докладов международной конференции. "Математические модели и методы их исследования (задачи механики сплошной среды, экологии, технологических процессов, экономики)." - Красноярск: КГУ, 1999. – с. 32 – 33.

4. Р.А. Баскаков. Оптимизация финансового и хозяйственного планирования на предприятии.// Информатика и системы управления./отв. ред. А.Н. Ловчиков, Б.П. Соустин. - Красноярск: КГТУ, 1999. – с. 18 – 26.

5. Р.А. Баскаков. Методы оптимизации в экономических моделях предприятий, имеющих линейное описание, при неопределенности параметров.// Тезисы докладов первого Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий.» - Москва: ЦЭМИ РАН, 2000.

6. Р.А. Баскаков. Методы оптимизации в экономических моделях предприятий, имеющих линейное описание, при неопределенности параметров.// Тезисы докладов конференции "Образование XXI века: инновационные технологии, диагностика и управление в условиях информатизации и гуманизации." - Красноярск: КГПУ, 2000.

Подписано к печати

Формат 60 × 84 × 16. Бумага писчая № 2.

Тираж 100 экз. Заказ № .

Ротапринт КГТУ