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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск - 2000

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

Научные 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 "Красноярскэнерго".

Защита состоится 29 июня 2000 г. в 14 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 «27» 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, диагности ка 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 обоснована актуальность 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 ~~параметров, статистическое оценивание~~

моментом поступления продукции и ценой за единицу продукции. Трудовые ресурсы $\vec{L}^{+}(t)$ 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 T^{L} происходит не моментально, а в течение некоторого интервала времени ΔT^{L}. 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 T^{s} по формуле $\int_{t-T^{s}}^{t} d^{s}(t)\cdot S(t)dt$, где $S(t)$ - 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 T^{c} проценты за пользование кредитом по формуле $\int_{t-T^{c}}^{t} d^{c}(t)\cdot C(t)dt$, где $C(t)$ - задолженность предприятия перед кредитным учреждением в момент t. При этом ограничивается максимальная сумма кредита $C_{\max}$. Вводится дополнительное условие полной оплаты всей суммы кредита и процентов по нему к моменту окончания планирования. Введем следующие обозначения: $[t_0,t_1]$ - интервал планирования; $\vec{v}(t)$ - вектор производимых предприятием продуктов; $\vec{V}(t)$ - вектор мощностей; $\vec{x}^{+}(t)$ и $\vec{x}^{-}(t)$ - вектора продуктов на складе входной и выходной продукции; $C^{s}(t)$ - сумма, поступающая по кредитной линии предприятию в момент t; $\vec{P}_i^{v,+}(t)$ - вектор цен при закупке входных продуктов i - ым способом в момент t; $\vec{P}_i^{v,-}(t)$ - век тор цен при реализации выходных продуктов i - ым способом в момент t; $\vec{P}^L(t)$ - вектор удельной стоимости трудовых затрат; $\vec{w}_i^-(t)$ - количество выходных продуктов, реализуемых i - ым способом в момент t, и $\tau_i^{w,-}(t)$ - соответствующее запаздывание; $\vec{w}_i^+(t)$ - количество входных продуктов, закупаемых i - ым способом в момент t, $\tau_i^{w,+}(t)$ - соответствующее запаздывание; $\beta(t,T^L,\Delta T^L) = 1$, если $t \in (t_0 + k\cdot T^L, t_0 + k\cdot T^L + \Delta T^L]$, k - целое и $k>0$, и $\beta(t,T^L,\Delta T^L) = 0$ иначе, $\gamma(t,T) = [\frac{t}{T}]\cdot T$ ($[x]$ - целая часть x). A^V , A^L , $A^{x,+}$, $A^{x,-}$ - матрицы удельных сырьевых затрат на мощность, на персонал, на обслуживание входного и выходного склада, R^V , R^L , $R^{x,+}$, $R^{x,-}$ - матрицы удельных трудовых затрат на мощность, на персонал, на обслуживание входного и выходного склада, $\vec{v}^0(t)$ и $\vec{L}^0(t)$ - вектор постоянных затрат, $(\breve{A}^\sigma\vec{v}(t))_{i'} = \sum_{i=1}^{n} a_{i'i}^\sigma(t)\cdot v_i(t+\tau_{i'i}^{\sigma,v}(t))$, $(\breve{B}\dot{\vec{V}}(t))_{i'} = \sum_{i=1}^{n} b_{i'i}(t)\dot{V}_i(t+\tau_{i'i}^{\varphi,v}(t))$, $(\breve{R}^\sigma\vec{v}(t))_r = \sum_{i=1}^{n} l_{ri}^\sigma(t)\cdot v_i(t+\tau_{ri}^{\sigma,L}(t))$,

$(\breve{R}^\varphi\dot{\vec{V}}(t))_r = \sum_{i=1}^{n} l_{ri}^\varphi(t)\dot{V}_i(t+\tau_{ri}^{\varphi,L}(t))$, $(\breve{h}^V\vec{v}(t))_i = v_i(t+\tau_i^V)$,

$a_{i'i}^\sigma(t)$ и $l_{ri}^\sigma(t)$ - удельные прямые сырьевые затраты продукта i' и трудовые затраты r - ой специальности на выпуск продукта i, $b_{i'i}(t)$ и $l_{ri}^\varphi(t)$ - удельные фондообразующие затраты продукта i' и трудовые затраты r - ой специальности на единичный прирост i - ой мощности. Оператор планирования **B** для полученной таким образом модели предприятия выглядит следующим образом:
~~программирования для рассматриваемой системы. Для данной задачи вектор стохастического квазиградиента представляется в виде~~

$$\sum_{i=1}^{p} \vec{w}_i^{+}(t) = \breve{A}^{\sigma}(t)\cdot\vec{v}(t) + \vec{v}^{0}(t) + A^{V}(t)\cdot\vec{V}(t) +$$

$$\breve{B}(t)\cdot\dot{\vec{V}}(t) + A^{L}(t)\cdot\vec{L}^{+}(t) + A^{x,+}(t)\cdot\vec{x}^{+}(t) + A^{x,-}(t)\cdot\vec{x}^{-}(t)$$

$$+ E_0\cdot\left(\sum_{i=1}^{m} w_i^{-}(t) - \vec{v}(t) + \dot{\vec{x}}^{-}(t)\right) + \dot{\vec{x}}^{+}(t),$$

$$(E - T^{L}(t))\vec{L}^{+}(t) = \breve{R}^{\sigma}(t)\cdot\vec{v}(t) + \vec{L}^{0}(t) + \breve{R}^{\varphi}(t)\cdot\dot{\vec{V}}(t) +$$

$$R^{V}(t)\cdot\vec{V}(t) + R^{x,+}(t)\cdot\vec{x}^{+}(t) + R^{x,-}(t)\cdot\vec{x}^{-}(t),$$

$$\dot{S}(t) = \sum_{i=1}^{m}(\vec{P}_i^{v,-}(t+\tau_i^{v,-}(t)), \vec{w}_i^{-}(t+\tau_i^{v,-}(t))) -$$

$$\sum_{i=1}^{p}(\vec{P}_i^{v,+}(t+\tau_i^{v,+}(t)), \vec{w}_i^{+}(t+\tau_i^{v,+}(t))) -$$

$$\frac{\beta(t,T^{L},\Delta T^{L})}{\Delta T^{L}} \int\limits_{\gamma(t,T^{L})-T^{L}}^{\gamma(t,T^{L})} (\vec{P}^{L}(\tau), \vec{L}^{+}(\tau))d\tau +$$

$$\frac{\beta(t,T^{s},\Delta T^{s})}{\Delta T^{s}} \int\limits_{\gamma(t,T^{s})-T^{s}}^{\gamma(t,T^{s})} d^{s}(t)\cdot S(\tau)d\tau - C^{s}(t),$$

$$\dot{C}(t) = C^{s}(t) + \frac{\beta(t,T^{c},\Delta T^{c})}{\Delta T^{c}} \int\limits_{\gamma(t,T^{c})-T^{c}}^{\gamma(t,T^{c})} d^{c}(t)\cdot C(\tau)d\tau,$$

$$\dot{\vec{V}}(t) \ge 0, (\vec{e}, \dot{\vec{V}}(t)) \le u_{\max}, \vec{x}_{\max}^{-}(t) \ge \vec{x}^{-}(t) \ge \vec{x}_{\min}^{-}(t),$$

$$\vec{x}_{\max}^{+}(t) \ge \vec{x}^{+}(t) \ge \vec{x}_{\min}^{+}(t),\ C(t_0) = C_0, C(t_1) = 0,$$

$$0 \le \breve{h}^{V}\vec{v}(t) \le \vec{V}(t), 0 \le C(t) \le C_{\max}, \vec{v}(t) \ge 0, \vec{L}^{+}(t) \ge 0,$$

$$S(t) \ge 0, \vec{w}_i^{+}(t) \ge 0,\ \vec{w}_i^{-}(t) \ge 0.$$

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:

$$S(t_1) \to \max$$

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.

$$\vec{c} \cdot \vec{x} \to \min,$$

$$A \cdot \vec{x} = \vec{b}\,,\ A' \cdot \vec{x} = \vec{b}'\,,\ D \cdot \vec{x} \ge \vec{d}_1\,,\ \vec{x} \in X\,,$$

где $\vec{x}(t) = \{\vec{v}(t), \vec{w}_1^-(t), ..., \vec{w}_m^-(t), \vec{w}_1^+(t), ..., \vec{w}_p^+(t), \vec{V}(t), \vec{L}^+(t), \vec{x}^-(t), \vec{x}^+(t), C(t), S(t)\}$, $t = t_0+1, t_0+2, ..., t_1$, A - матрица, соответствующая строкам оператора планирования, описывающим баланс материальных и трудовых ресурсов в каждый момент времени $t \in [t_0+1, t_1]$, A' - матрица ограничений-равенств нашей задачи, соответствующая строкам, описывающим баланс материальных и трудовых ресурсов в каждый момент времени $t \notin [t_0+1, t_1]$ и денежных ресурсов во все рассматриваемые моменты времени; D - матрица ограничений-неравенств, соответствующая строкам, описываемым соотношения между мощностью и выпуском при $t \in [t_0+1, t_1]$.

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

$$\vec{c} \cdot \vec{x} \to \min,$$

$$A \cdot \vec{x} = \vec{b}\,,\ \vec{x}_1 \in X_1\,,\ \vec{x}_2 \in X_2\,,\ \vec{x}_3 \in X_3\,,\ \vec{x}_4 \in X_4\,,$$

где $\vec{x}_1 = \{\vec{v}(t), \vec{V}(t)\}$, $\vec{x}_2 = \{\vec{w}_i^-(t)^T, \vec{w}_j^+(t)^T, \vec{L}^+(t)^T, C(t), S(t)\}$, $\vec{x}_3 = \{\vec{x}^-(t)\}$, $\vec{x}_4 = \{\vec{x}^+(t)^T\}$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,p}$, $t = t_0+1, t_0+2, ..., t_1$.

Для произвольного $\vec{\lambda}$ введем функцию Лагранжа $L(\vec{x}, \vec{\lambda})$:

$L(\vec{x},\vec{\lambda}) = \vec{c}\cdot\vec{x} - \vec{\lambda}\cdot(A\cdot\vec{x}-\vec{b})$, и дуальную функцию $\omega(\vec{\lambda}) = \min\limits_{\vec{x}_i\in X_i, i=\overline{1,4}}\{L(\vec{x},\vec{\lambda})\} = \vec{\lambda}\cdot\vec{b} + \min\limits_{\vec{x}_i\in X_i, i=\overline{1,4}}\{(\vec{c}-\vec{\lambda}\cdot A)\cdot\vec{x}\} = \vec{\lambda}\cdot\vec{b} +$ $\min\limits_{\vec{x}_k\in X_k}\{\sum\limits_{k=1}^{4}(\vec{c}_k - \vec{\lambda}\cdot A_k)\cdot\vec{x}_k\}$. Из последнего выражения видно, что вычисление дуальной функции разлагается в решение четырех независимых вспомогательных задач (S_1, S_2, S_3, S_4) вида:

$$\tilde{\vec{c}}_k\cdot\vec{x}_k \to \min,$$

$$\vec{x}_k \in X_k, \text{ где } \tilde{\vec{c}}_k = \vec{c}_k - \vec{\lambda}\cdot A_k.$$

Теоремы лагранжевой двойственности позволяет установить, что значение дуальной функции $\omega(\vec{\lambda})$ 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 $\vec{\gamma} = \vec{b} - \sum\limits_{k=1}^{4} A_k\tilde{\vec{x}}_k$ (например М.Мину). На каждой итерации этого алгоритма полученное значение дуальной функции является нижней оценкой оптимума $\vec{c}\cdot\vec{x}^*$ исходной задачи. Для получения верхней оценки предложена следующая процедура:

Проверим условие $A\cdot\tilde{\vec{x}}^{(k)} = \vec{b}$, если оно выполнено, то процедура преобразования не требуется. Иначе, найдем индекс $i_{\min}$, такой что для любого i : $|\tilde{c}_{i_{\min}}(\vec{\lambda}^{(k)})| \le |\tilde{c}_i(\vec{\lambda}^{(k)})|$. Далее найдем множество индексов I', такое что $\forall i \in I'$, $I' \in I = \{1,\dots,N^x\}$ и $\forall j \in \{1,\dots,N^A\}$, где N^A - количество столбцов матрицы A, выполняется условие $\tilde{c}_{i_{\min}}(\vec{\lambda}^{(k)})/a_{ji_{\min}} = \tilde{c}_i(\vec{\lambda}^{(k)})/a_{ji} = Z(j)$. Тогда получим вектор $\vec{x}^{(k)} = \pi(\tilde{\vec{x}}^{(k)})$ следующим образом: компоненты вектора $\vec{x}^{(k)}$

для которых $i \notin I'$ примем равными соответствующим компонентам вектора $\tilde{\bar{x}}^{(k)}$, а в качестве остальных компонент возьмем любые компоненты x_i, удовлетворяющие условиям $\sum\limits_{i \in I'} \vec{A}_i \cdot x_i = \vec{b} - \sum\limits_{i \in I/I'} \vec{A}_i \cdot x_i$. Доказывается, что $\bar{x}^{(k)} \to \bar{x}^*$.

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 $\tilde{\bar{x}}^s$;

б) на каждом шаге процедура выбора нового значения $\bar{\lambda}^{(k)}$ 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 данной задачи вектор стохастического квазиградиента

$\vec{\xi}_s = \vec{c}(\theta^{2эт,s})$ - $\vec{\lambda}^* \cdot A(t^{2эт}+1, t_1, \theta^{2эт,s})$ - $\vec{\mu}_0^*$ - $\vec{\mu}_1^* \cdot D_1^p(t^{2эт}+1, t_1, \theta^{2эт,s})$ - $\vec{\mu}_1'^* \cdot D_1'^p(t_1, \theta^{2эт,s})$ - $\vec{\mu}_2^* \cdot D_2^p(t^{2эт}+1, t_1, \theta^{2эт,s})$ - $\vec{\mu}_2'^* \cdot D_2'^p(t_1, \theta^{2эт,s})$ + $\vec{\mu}_{22}^{p*}$ + $\vec{\mu}_{23}^{p*}$ + $\sum_{t=t_{2эт}+1}^{t_1} [\vec{\mu}_{31}^p(t)^* - \vec{\mu}_{32}^p(t)^* + \vec{\mu}_{41}^p(t)^* - \vec{\mu}_{42}^p(t)^*]$,

где $t^{2эт}$ - момент, когда определяется коррекция $\vec{x}^{2эт}$ плана $\vec{x}^{1эт}$ и далее производство функционирует в соответствии с исправленным планом ($\vec{x}^{1эт}+\vec{x}^{2эт}$); $\theta^{2эт,s}$ - недостающая информация о параметрах задачи, поступающая в конце первого этапа, и генерируемая на s -ом шаге алгоритма стохастического квазиградиента; $A(t^{2эт}+1, t_1, \theta^{2эт})$ - матрица, составленная из строк матрицы $A(\theta^{2эт})$ основной задачи, описывающих баланс материальных и трудовых ресурсов в моменты $t \in [t^{2эт}+1, t_1]$; $D_1^p(t^{2эт}+1, t_1, \theta^{2эт,s})$ - матрица, составленная из строк матрицы $A'(\theta^{2эт})$ основной задачи, описывающих соотношения между мощностью и выпуском в моменты $t \in [t^{2эт}+1, t_1]$; $D_1'^p(t_1, \theta^{2эт,s})$ - матрица, составленная из строк матрицы $A'(\theta^{2эт})$ основной задачи, описывающих баланс материальных ресурсов в моменты $t \geq t_1$; $D_2^p(t^{2эт}+1, t_1, \theta^{2эт,s})$ - составленная из строк матрицы $A'(\theta^{2эт})$ основной задачи, описывающих баланс денежных средств в моменты $t \in [t^{2эт}+1, t_1]$; $D_2'^p(t_1, \theta^{2эт,s})$ - матрица, составленная из строк матрицы $A'(\theta^{2эт})$ основной задачи, описывающих баланс материальных ресурсов в моменты $t \geq t_1$; $\vec{\lambda}^*$,

$\vec{\mu}_1 *, \vec{\mu}_1' *, \vec{\mu}_2 *, \vec{\mu}_2' *$ - соответствующие строкам этих матриц оптимальные двойственные переменные; $\vec{\mu}_0 *, \vec{\mu}_{22}^p *, \vec{\mu}_{23}^p *, \vec{\mu}_{31}^p(t) *, \vec{\mu}_{32}^p(t) *, \vec{\mu}_{41}^p(t) *$, $\vec{\mu}_{42}^p(t) *$ - оптимальные двойственные переменные, соответствующие другим ограничениям исходной задачи.

На каждом шаге алгоритма стохастического квазиградиента для имеющегося значения $\vec{x}^{1эт,s}$ решается задача второго этапа с помощью метода субградиента, описанного в главе 2. В процессе решения одновременно определяется вектор $\vec{\lambda} *$. Остальные оптимальные двойственные переменные находятся из условий Куна-Такера и решения двойственной задачи второго этапа. Описывается процедура проектирования полученного на каждом шаге вектора $\vec{x}^{1эт,s}$ на множество допустимых решений. В качестве теста на остановку используется предложенная Ю. М. Ермольевым процедура: вычисления прекращаются, после того как значение $\frac{1}{s}\sum_{k=0}^{s} f(\vec{x}^{1эт,k}, \theta^{2эт,k})$ - 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 8Mb.

Функциональные возможности информационной подсистемы: создание выборки решений и значений оптимума целевой функции задачи оптимизации линейных динамических систем, соответствующих заданному закону распределения их параметров, 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: $(1-\omega_Г(t))\cdot P_Г(t) + (1-\omega_Т(t))\cdot P_Т(t) + (1-\omega_Б(t))\cdot P_Б(t) + P_{пок}(t) = N(t)+q(t)$, где $P_Г(t)$, $P_Т(t)$, $P_Б(t)$, $P_{пок}(t)$ - средняя мощность ГЭС, ТЭС, БС и покупаемой электроэнергии с момента t - 1 до момента t; $\omega_Г(t), \omega_Т(t), \omega_Б(t)$ - средняя доля электроэнергии, производимая ГЭС, ТЭС и БС соответственно, и расходуемая на собственный нужды с момента t - 1 до момента t; $N(t)$ и $q(t)$ - 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:

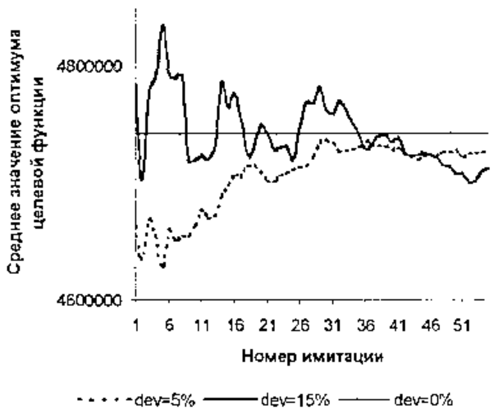
$$\sum_{t=t_0+1}^{t_1}[\ c_Г(t)\cdot P_Г(t) + c_Т(t)\cdot P_Т(t) + c_Б(t)\cdot P_Б(t) + c_{пок}(t)\cdot P_{пок}(t)\ ] \to \min,$$

где $c_Г(t)$, $c_T(t)$, $c_Б(t)$, $c_{пок}(t)$ - 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.

Рис 1. Сходимость алгоритма субградиента

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, dev = 0,05M; 0,15M). Зависимость выборочного среднего для полученной на каждой имитации выборки от номера имитации представлена на рисунке 2.

Рис 2. Результаты экспериментов



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.

2. Разработан модифицированный метод стохастического квазиградиента, позволяющий осуществить декомпозицию линейных динамических систем с дискретным контролем, в задаче двухэтапного планирования деятельности предприятия.

3. Создано программное обеспечение, реализующее статистические методы оптимизации линейных динамических систем с дискретным контролем и обладающее свойствами адаптации к условиям решения широкого класса задач.

4. 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. – с. 22 -23

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. – с. 19 – 21.