

4442074

НЕ ВЫДАЕТСЯ

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ЕРШОВ Михаил Владимирович

УДК 681.5

АЛГОРИТМЫ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСАМИ
ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТИПА

05.13.01 – Управление в технических системах

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1985

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ЕРШОВ Михаил Владимирович

УДК 681.5

АЛГОРИТМЫ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСАМИ
ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТИПА

05.13.01 - Управление в технических системах

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

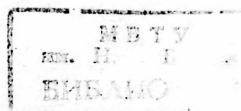
НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1442074

Ершов М.В. Алгоритмы дискр

Москва - 1985



Работа выполнена на кафедре "Системы автоматического управления" МВТУ им. Н.Э.Баумана и в опытно-конструкторском бюро по промышленному роботостроению НИО "Ритм"

Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент

ЗВЕРЕВ В.Ю.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

ДОРОХОВ И.Н.

кандидат технических наук, доцент

СОЛОМОНОВ Л.А.

Ведущая организация — ЦНИИТУ

Защита состоится "10" марта 1986 г. в 14³⁰
на заседании Специализированного Совета К053.15.12
МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5,
2-я Бауманская ул., д.5, тел. 267 -03 - 23

Отзывы в 2-х экз. с подписью, заверенной печатью,
просьба высылать по указанному адресу

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н.Э. Баумана

Автореферат разослан "7" февраля 1986 г.

Ученый секретарь Специализированного Совета

к.т.н., доцент

А.В.Яковлев



21/1/86

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из главных направлений работы по ускорению научно-технического прогресса является автоматизация процессов управления на основе использования современных средств вычислительной техники, систем управления технологическими и производственными процессами, экономико-математических моделей и методов оптимизации. Эффективность функционирования автоматизированных комплексов и производств в значительной мере определяется качественным уровнем применяемой системы оперативного управления. Развитие комплексной автоматизации производства, интенсивная разработка и внедрение гибких производственных комплексов выдвигают ряд проблем в области совершенствования оперативного управления производством, связанных с необходимостью управления работой взаимосвязанных технологических комплексов и отдельных объектов, существенным увеличением количества и размерности оптимизационных задач, усложнением их структуры и одновременно уменьшением допустимого времени решения всего комплекса взаимосвязанных задач оперативного управления.

В настоящее время принципы и методы оперативного управления разработаны в основном применительно к производственным системам непрерывного и дискретного типов, а также для дискретных систем с непрерывными транспортными потоками. Не менее актуальной является проблема построения эффективных алгоритмов оперативного управления комплексами объектов производственного типа, широко распространенных в различных отраслях промышленности (например, в литейном производстве, в многопроцессорных вычислительных системах и др.). Основной целью функционирования комплексов является безусловное выполнение плановых заданий в установленные сроки при минимальных совокупных производственных затратах, а характерные особенности отражаются в многообъектности, многомерности, наличии непрерывных и дискретных (линейных и нелинейных) компонент в математической модели, сложном характере ограничений на управляющие переменные и переменные состояния, ограниченном и переменном интервале времени, отводимом на расчет оперативных управляющих воздействий.

Недопустимая (для режима реального времени) длительность расчета управляющих воздействий является существенным недостатком известных моделей оперативного управления. Вместе с этим, ряд вопросов возникает при создании и эксплуатации математического и программного обеспечения в системах оперативного управ-

ления при переменных ограничениях на длительность решения оптимизационных задач, ограниченном объеме памяти ЭВМ и заданной стоимости разработки, т.е. при синтезе систем оперативного управления ограниченной сложности (технически корректных систем).

Недостаточная разработка вопросов проектирования алгоритмов для оперативного управления рассматриваемым классом объектов приводит на практике к использованию алгоритмов, которые не учитывают особенности данных комплексов, и, следовательно, снижают эффективность управления и показатели функционирования комплекса объектов в целом.

Перечисленные факторы определяют актуальность задач, решаемых в диссертационной работе.

Цель работы состоит в разработке и исследовании на примере объектов литейного производства математического и программного обеспечения для автоматизированного оперативного управления комплексами объектов производственного типа по критерию минимума совокупных производственных и транспортных затрат, связанных с безусловным выполнением плановых заданий в установленные сроки, когда на процесс поиска оперативных управлений накладываются переменные ограничения на длительность оптимизационных расчетов, а при проектировании математического и программного обеспечения необходимо учитывать ограничения по объему машинной памяти и стоимости разработки и эксплуатации. Эта цель объединяет:

формализацию процесса функционирования и разработку постановки задачи оперативного управления для комплексов объектов производственного типа ;

структуризацию задачи оперативного управления при использовании показателей сложности с целью выявления основных классов оптимизационных задач ;

анализ возможных подходов к созданию математического и программного обеспечения и различных алгоритмов для решения оптимизационных задач с целью обоснования выбора структуры программного обеспечения и разработки новых алгоритмов оптимизации, удовлетворяющих вышеуказанным ограничениям ;

разработку и исследование алгоритмов решения комплекса оптимизационных задач с целью создания универсального программного комплекса, максимально использующего выделенные вычислительные ресурсы для повышения качества управления ;

разработку математического и программного обеспечения для конкретных систем оперативного управления комплексами объектов

производственного типа.

Методы исследования. Основой решения указанных задач в диссертационной работе является принцип сложности, впервые сформулированный В.В.Солодовниковым и В.Л.Ленским, и развитый в работах В.В.Солодовникова, В.Ф.Бирюкова, В.Н.Плотникова и В.Ю.Зверева, современные методы математического программирования и теории иерархического управления.

Научная новизна. В работе получены следующие научные результаты:

для заданного класса комплексов объектов производственного типа проведена формализация задачи оперативного управления ;

проведена структуризация задачи оперативного управления и сформирован двухуровневый комплекс дискретных задач объемного планирования и задач построения графика работы объектов ;

предложен подход к обоснованию структуры и алгоритмов программного обеспечения для решения дискретных задач на различных уровнях оптимизации ;

проведена формализация задачи управления длительностью поиска оптимальных управлений для алгоритмов типа ветвей и границ ;

разработан "гибкий" алгоритм дискретной оптимизации, обеспечивающий максимальное использование выделенных вычислительных ресурсов для повышения качества приближенных решений.

Все это позволило разработать и обосновать с учетом показателей сложности структуру и алгоритмы автоматизированной системы оперативного управления для рассматриваемого класса объектов.

Практическая ценность. В диссертационной работе выполнен комплекс исследований и разработок, обеспечивающий практическое использование их в управлении комплексами объектов производственного типа в различных отраслях промышленности. Наиболее полная разработка алгоритмов выполнена для комплексов объектов литейного производства машиностроительных предприятий. Внедрение полученных результатов позволяет улучшить показатели функционирования производственных комплексов.

Разработанный в диссертации "гибкий" алгоритм дискретной оптимизации может быть эффективно использован для решения различных оптимизационных задач в системах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Реализация и внедрение. Разработанные в диссертационной работе алгоритмы легли в основу функционального, информационного, математического и программного обеспечения комплексной АСУ тех-

нологическими и производственными процессами в корпусе алюминиевого литья производственного объединения "Ростсельмаш". Ожидаемый годовой эффект от внедрения АСУ составляет 836,8 тыс. руб.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке системы оперативного управления в цехе тяжелых стальных отливок Чебоксарского завода промышленных тракторов. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составляет 20 тыс. руб.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

I Всесоюзной научно-технической конференции "Синтез и проектирование многоуровневых систем управления", г.Барнаул, 1982г.;

II Всесоюзном научно-техническом семинаре "Методы решения задач оперативного управления в АСУ отраслевого и межведомственного уровней", г.Пушкино, 1982г.;

Всесоюзном научно-техническом семинаре "Прикладные аспекты управления сложными системами", г.Кемерово, 1983г.;

X Всесоюзном научно-техническом совещании "Создание и внедрение автоматизированных и автоматических систем управления непрерывными и дискретно-непрерывными технологическими процессами", г.Алма-Ата, 1983г.;

У Всесоюзной школе-семинаре молодых ученых "Современные проблемы автоматического управления", г.Звенигород, 1983г.;

III Московской научно-технической конференции молодых ученых "Алгоритмизация и программирование задач управления", г.Москва, 1984г.;

VI Всесоюзном совещании-семинаре молодых ученых "Современные проблемы автоматического управления", г.Пушкино, 1985г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано семь печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 134 страницах машинописного текста, иллюстрируется рисунками на 22 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 158 наименований и трех приложений на 50 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассматриваются характерные особенности

комплексов объектов производственного типа (КОПТ), проведен обзор проблем, возникающих при создании и функционировании систем оперативного управления (СОУ) КОПТ и приводящих к описываемой в работе постановке задачи оперативного управления КОПТ.

Комплекс специализированных по видам изделий или исходных материалов объектов производственного типа предназначен для выполнения определенного количества операций над изделиями различных видов. На заданный интервал планирования известны плановые задания по выпуску изделий, имеющиеся ресурсы, длительности и допустимые вариации длительностей операций на различных объектах, а также начальные состояния объектов.

Необходимо найти и реализовать план запуска изделий на объекты, режимы работы объектов и изменения длительностей операций, обеспечивающие выполнение планового задания к установленному сроку с минимальными простоями объектов в ожидании подуфабрикатов или эвакуации готовых изделий, минимальными затратами на проведение операций на объектах и транспортными затратами.

Рассматриваются многономенклатурные производственные процессы, реализуемые на взаимосвязанных технических объектах ($V = \overline{1, K}$), расчленяющих обработку изделий ($i = \overline{1, I}$) на ряд технологических операций ($e = \overline{1, p}$). Функционирование комплекса объектов описывается как процесс изменения состояния объектов при переходе с одной детали операции на другую и рассматривается на дискретной шкале времени, т.е. в дискретные моменты $\tau \in [T_0, T_N]$ ($[T_0, T_N]$ — интервал управления). Пусть за интервал времени $[t, t+1]$ V -й объект выполнит u_{ei} операций. Тогда состояние объекта в момент времени τ будем описывать объемом выпуска изделий $x_{ei}(\tau)$ за интервал $[T_0, \tau]$ и моментами $\bar{t}_{ei}(j)$, $j = \overline{0, u_{ei}(\tau)}$ окончания технологических операций.

Управляющими воздействиями $U(\tau)$ являются: $u_{ei}(\tau)$ — объемы запуска i -го изделия на e -ю операцию за интервал времени $[\tau, \tau+1]$, а также $\tilde{u}_{ei}(\tau)$ — вариации длительности технологических операций.

На комплекс объектов действуют и возмущающие воздействия $\Omega(\tau)$ (например, отказы и сбои производственного оборудования, отклонение параметров техпроцесса, внеплановые заказы и ремонты, нарушения трудовой и технологической дисциплины и др.).

Для каждого типа изделий i ($i = \overline{1, I}$) может быть задано несколько схем технологического процесса получения этого изделия из исходных материалов). Совокупность всех технологичес-

ких схем для всех типов изделий описывается конечным ориентированным графом $\Phi_{\tau}(V, E)$. Вершины графа соответствуют производственным объектам и характеризуются величинами $X_{vi}(\tau)$. Начальные вершины графа соответствуют исходным материалам, конечные – готовым изделиям. Дуга $e \in E$, входящая в вершину $v \in V$, соответствует операции обработки i -го изделия на v -м объекте и определяется величинами: t_{ei} – норма времени на e -ю технологическую операцию обработки i -го изделия на v -м объекте; $D_{ei}(\tau) = [\tilde{u}_{ei}(\tau), u_{ei}(\tau)]$ – интервал допустимых вариаций длительности указанной операции ("+" – задержка, "-" форсировка); $f_1(\tilde{u}_{ei}(\tau))$ – производственные затраты на форсировку или задержку технологических операций с целью сокращения простоев объектов; $f_2(u_{ei}(\tau))$ – производственные затраты на обработку $u_{ei}(\tau)$ единиц i -го изделия; $f_3(u_{ei}(\tau))$ – транспортные затраты на перемещение $u_{ei}(\tau)$ единиц i -го изделия из объекта-вершины, инцидентной дуге e .

Последовательность

$$U[T_0, T_N - 1] = \langle U(\tau), \tau = \overline{T_0, T_N - 1} \rangle \quad (1)$$

назовем управлением на интервале $[T_0, T_N]$.

Траектория "движения" комплекса объектов в пространстве состояний описывается последовательностью

$$X[T_0, T_N] = \langle X(\tau), \tau = \overline{T_0, T_N} \rangle. \quad (2)$$

При "движении" управляемого КОПТ в пространстве состояний задаются фазовые ограничения

$$X(\tau) \subset Q_X(\tau), \tau \in [T_0, T_N], \quad (3)$$

и ограничения на управления

$$U(\tau) \subset Q_U(\tau), \tau \in [T_0, T_N - 1], \quad (4)$$

где $Q_X(\tau)$ и $Q_U(\tau)$ – заданные множества допустимых состояний и допустимых управлений.

Заданы также

$$X(T_0) = X_0 \quad - \text{начальное состояние КОПТ}, \quad (5)$$

$$X(T_N) = X_N \quad - \text{конечное состояние КОПТ}. \quad (6)$$

Динамика поведения КОПТ описывается отображением:

$$X(\tau) = D[X(\tau-1), U(\tau-1), \Omega(\tau)], \quad (7)$$

где $U(\tau-1) = (u_{ei}(\tau-1), \tilde{u}_{ei}(\tau-1)), e = \overline{1, \rho}, i = \overline{1, I},$
 $\lambda(\tau-1) = (x_{vi}(\tau-1), \tilde{t}_{ei}(j)), v = \overline{1, K}, i = \overline{1, I}, e = \overline{1, \rho}, j = \overline{0, u_{ei}(\tau-1)},$

$$\Omega(\tau) = (\omega_{ei}(\tau)), \quad e = \overline{1, p}, \quad i = \overline{1, I}.$$

Наличие различных режимов работы объектов, различных маршрутов в технологических схемах выпуска одного типа конечного продукта, а также различные транспортные затраты и запаздывания на различных ветвях графа $\Phi(V, E)$ обуславливают неодинаковые затраты на выпуск единицы продукта на разных технологических маршрутах. В соответствии с целью оперативного управления КОПТ — обеспечением выполнения плановых заданий в установленные сроки при минимальных затратах — целевая функция определяется совокупными текущими производственными издержками на различных стадиях производства в КОПТ и описывается функционалом, связывающим нелинейные и линейные целевые функции затрат:

$$F\{f_1(U[T_0, T_N-1]), f_2(U[T_0, T_N-1]), f_3(U[T_0, T_N-1]), \Omega[T_0, T_N-1]\} \quad (8)$$

Вследствие многомерности, многообъектности, стохастичности КОПТ, сложности связей между объектами, изделиями и операциями, и, следовательно, сложности решения задачи (1)...(8) система управления КОПТ реализуется в виде системы оперативного управления, в которой решение задачи управления выполняется в N этапов. На первом этапе первичной (идеальной) оптимизации для решения задачи управления используется упрощенное (с аддитивным критерием и учетом в модели только контролируемых возмущений) математическое описание КОПТ. Последующие этапы осуществляются в моменты времени $t_1 < t_2 < \dots < t_{N-1} < T_N$, в общем случае не совпадающие с моментами времени $\tau \in [T_0, T_N]$. На этапах вторичной оптимизации фиксируются конкретные реализации случайных параметров, оценивается отклонение состояний объектов (траектории КОПТ) от заданных, и, осуществляется расчет управляющих воздействий по принципу достижения заданного конечного состояния (т.е. решается исходная задача с учетом сокращения интервала управления, текущего состояния объектов и прогнозируемых реализаций возмущающих воздействий).

Задачи первичной (вторичной) оптимизации формулируются следующим образом:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^p [f_1(\tilde{u}_{ei}(\tau_s)) + f_2(u_{ei}(\tau_s)) + f_3(u_{ei}(\tau_s))] \rightarrow \min \quad (9)$$

$$A(\tau_s) \bar{U}(\tau_s) \geq H(\tau_s), \quad (10)$$

$$B * \bar{U}^T(\tau_s) \leq S(\tau_s), \quad (11)$$

$$u_{ei}(\tau_s) = 0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

$$\bar{t}_{ei}(j+1) = \bar{t}_{ei}(j) + t_{ei} + \tilde{u}_{ei}(j) + \omega_{ei}^k(j), \quad (I3)$$

$$\bar{t}_{ei}(0) = t_{s-1}, \quad j = \overline{0}; u_{ei}(\tau_s), \quad e = \overline{1, p}, \quad i = \overline{1, I},$$

$$\tilde{u}_{ei}(\tau_s) \in \mathcal{D}_{ei}(\tau_s), \quad (I4)$$

$$\bar{t}_{ei}(j) \in \tilde{\mathcal{D}}_{ei}(\tau_s) = \{ \bar{t}_{ei}^*(j) | \bar{t}_{ei}^*(j) = H_{ei}[\bar{U}(\tau_s)] \}, \quad (I5)$$

где $H(\tau_s)$ - матрица плановых заданий на интервал времени τ_s :

$$H(\tau_s) = R(T_N) - \bar{X}(t_{s-1}),$$

$$\tau_1 = T_N - T_0, \quad \tau_s = T_N - t_{s-1}, \quad s = \overline{2, N},$$

$$\bar{X}(\tau_s) = \|x_{vi}(\tau_s)\| \quad - \text{объемы выпуска изделий за интервал } \tau_s ;$$

$$\bar{U}(\tau_s) = \|u_{ei}(\tau_s)\| \quad - \text{объемы запуска изделий на объекты ;}$$

$$R(T_N) = \|r_{vi}(T_N)\| \quad - \text{матрица плановых заданий ;}$$

$$A(\tau_s) \quad - \text{передаточная матрица КОПТ на интервал}$$

времени τ_s (матрица инцидентий графа $\mathcal{D}(V, E)$) ;

$$S(\tau_s) \quad - \text{вектор допустимых ресурсов ;}$$

$$B = \|\beta_{ei}\| \quad - \text{матрица расходуемых ресурсов ;}$$

$$\|\omega_{ei}^k(j)\| \quad - \text{матрица контролируемых возмущений (например, длительность ремонтов объектов) ;}$$

$\mathcal{D}_{ei}(\tau_s)$ - допустимые вариации длительности технологических операций на интервале времени τ_s ;

$\tilde{\mathcal{D}}_{ei}(\tau_s)$ - множество допустимых моментов времени окончания операций на интервале времени τ_s , вычисляемых заданным алгоритмом H_{ei} .

Для задачи (9)...(I5), близкой к сетевой задаче распределения ресурсов, при реальной ее размерности (порядка 10^6) известные методы математического программирования и теории расписаний не дают конструктивных решений. Для уменьшения размерности задачи предлагается проводить решение данной задачи на двух взаимосвязанных уровнях оптимизации: на верхнем уровне решать задачу (9)...(I2), т.е. задачу объемного оперативного планирования; на нижнем уровне - учитывать непрерывные свойства объектов (т.е. возможные вариации длительности операций) и решать задачу построения графиков работы объектов (9), (I3)...(I5), обеспечивающих выполнение объемных заданий верхнего уровня оптимизации и завершение технологических операций в заданное время.

Задачи верхнего и нижнего уровней являются задачами дискретного программирования с нелинейными критериями оптимизации практической размерности более 10^4 . Рациональное решение вопроса выбора методов дискретной оптимизации (ДО) для задач оперативного управления дает принцип сложности: выполненная в первой

главе формализация задач проектирования математического и программного обеспечения (МО и ПО) минимальной (ограниченной) сложности позволяет установить опорные точки в анализе алгоритмов и различных структур программного обеспечения и для конкретных систем выбрать рациональный вариант построения МО и ПО.

Задача проектирования МО и ПО минимальной сложности состоит в том, чтобы найти среди множества алгоритмов дискретной оптимизации такие алгоритмы решения рассматриваемых задач и определить такую структуру ПО, которые обеспечат получение решения заданного качества при минимальных затратах памяти, машинного времени, а также средств на разработку и внедрение МО и ПО.

Задача проектирования МО и ПО ограниченной сложности: требуется, не превышая отпущенных на разработку МО и ПО средств и заданного объема машинной памяти, найти структуру ПО, модели и алгоритмы ДО, которые позволяют за выделенное на решение задачи время найти решение, наименее удаленное от оптимального.

В работе анализируются три варианта создания ПО:

1) разработка отдельных программ для каждой задачи на основе методов оптимизации, имеющих минимальную сложность (синтезирующее программирование);

2) разработка библиотек программ с различными характеристиками сложности и качества. На основе принципа сложности в конкретной ситуации определяется, какие программы должны быть использованы для решения каждой из задач (сборочное программирование);

3) разработка программного комплекса на основе универсального метода, легко адаптируемого к особенностям решаемых задач и условиям применения (конкретизирующее программирование).

Анализ показал, что известные модели и методы ДО не обеспечивают решение задач (9...12) и (9), (13)...(15) за допустимое в системах оперативного управления время.

Во второй главе на примере комплексов объектов литейных цехов показана методика декомпозиции задач верхнего и нижнего уровней оптимизации и получен иерархический комплекс различных дискретных оптимизационных моделей.

Основной задачей оперативного управления объектами литейного производства является согласование работы плавильных печей и литейных линий, т.е. реализация таких план-графиков работы объектов, которые позволят выполнить плановое задание по выпуску отливок с минимальными производственными затратами.

Задача верхнего уровня оптимизации решается в два этапа:

- 1) распределение планового задания по литейным линиям;
- 2) объемное оперативное планирование работы печей.

В два этапа решается и задача нижнего уровня оптимизации. Первый этап – построение графика работы литейного оборудования; второй этап – построение графиков работы плавильных печей. Планирование работы плавильных печей осуществляется так, чтобы процесс изготовления отливок был своевременен (в соответствии с оптимальным графиком работы литейного оборудования) обеспечен необходимым количеством жидкого металла.

В соответствии с общей формализацией задачи оперативного управления (9)...(15) задача распределения планового задания по литейному оборудованию формулируется в терминах задачи целочисленного линейного программирования; задача объемного оперативного планирования загрузки печей сводится к многопродуктовой производственно-транспортной задаче; задача построения графика работы плавильных печей в диссертационной работе приведена к задаче назначений с нелинейной целевой функцией и сложными связями между переменными. Применение предложенной в первой главе методики выбора структуры программного обеспечения с учетом показателей сложности и точности решения оптимизационных задач при различных подходах к созданию программного обеспечения, а также анализ алгоритмов дискретной оптимизации для решения рассматриваемых задач позволили обосновать целесообразность применения для исследуемых комплексов объектов методоориентированного адаптивного программного комплекса.

В качестве базового метода в программном комплексе предложено использовать метод ветвей и границ, позволяющий осуществить решение задач дискретной оптимизации всех рассматриваемых типов.

Применение принципа сложности позволяет сформулировать задачу построения "гибкого" алгоритма типа "ветвей и границ", обеспечивающего максимальное использование имеющихся вычислительных ресурсов для повышения качества получаемых решений. Известные модели алгоритмов типа "ветвей и границ" не позволяют эффективно использовать эти алгоритмы для решения конкретных дискретных оптимизационных задач при заданной конфигурации средств вычислительной техники вследствие отсутствия для рассматриваемых задач машиноориентированных оценок трудоемкости и качества приближенных решений. Это определило необходимость разработки модели алгоритмов ветвей и границ, позволяющей вычислить машиноориентированные оценки длительности счета и точности получаемых

решений.

В третьей главе разрабатывается и исследуется базовый метод адаптивного программного комплекса – "гибкий" алгоритм типа "ветвей и границ" (модификация метода ветвей и границ на основе принципа сложности). Формулируется принцип сложности для управления длительностью счета в зависимости от выделенных ресурсов и требуемого качества решений для алгоритмов типа "ветвей и границ", использующих стратегии понока, зависящие от параметра. К таким алгоритмам относится описанная Моисеевым Е.Н. ε-модернизация метода ветвей и границ, схема Форреста и др. В этих алгоритмах введение неотрицательного параметра в правило вычисления приоритета вершины (правило перехода) приводит к уменьшению длительности счета (за счет сокращения числа исследуемых вершин – подзадач) и, вместе с этим, к снижению точности решения (из-за сужения области поиска оптимальных решений) на величину, зависящую от введенного параметра. При наличии оценок длительности счета и качества приближенного решения задача поиска приближенного решения задачи оптимизации при ограниченных вычислительных ресурсах формулируется в терминах принципа ограниченной сложности.

Пусть $W_t^{\text{доп}}$ – выделенное на решение задачи машинное время;

X – неотрицательный параметр (параметр сложности);

$E(X)$ – функционал качества приближенного решения (например, абсолютная погрешность решения);

$W_t(X)$ – длительность поиска приближенного решения.

Необходимо найти такое подмножество $\tilde{G} = \{X: W_t(X) \leq W_t^{\text{доп}}\}$ и такой X , который обращает в минимум $E(X)$ на множестве $\tilde{G}$.

Для конкретных производственных условий нередко имеется возможность установить допустимую погрешность решения, а также необходимо максимально сократить время поиска допустимых решений. Такой аспект решения оптимизационных задач конкретизируется принципом минимальной сложности.

Пусть ε – допустимая погрешность;

N_c – шкала вычислительной сложности.

Необходимо найти параметр $X \in \tilde{G}_\varepsilon = \{X: E(X) \leq \varepsilon\}$, минимальный по сложности относительно шкалы N_c .

Для решения задач поиска параметров ограниченной и минимальной сложности необходимо иметь модель, отражающую процесс

поиска решения, алгоритм расчета допустимой погрешности $E(X)$ и длительности счета $W_t(X)$, алгоритм определения параметров ограниченной и минимальной сложности.

Такая характерная особенность систем оперативного управления, как многократное решение однотипных оптимизационных задач при различных исходных данных, позволяет рассматривать этот процесс как решение случайных задач из некоторых заданных классов, а применение в этих условиях алгоритма ветвей и границ интерпретировать как организацию специального поиска на случайных деревьях, генерируемых специфическим вероятностным процессом, характеристики которого определяются типом решаемых задач и используемой схемой алгоритма ветвей и границ. В работе для различных типов дискретных оптимизационных задач и характеристик вероятностной модели метода ветвей и границ (МВГ) получены машиноориентированные оценки длительности счета и оценки возможной погрешности при решении задач "гибким" алгоритмом ветвей и границ. Так, для обобщенной задачи о назначениях и схемы ветвления "полным фронтом" показано, что вершины дерева ветвлений МВГ образуют пуассоновское поле интенсивностью λ , а длительность счета $W_t(X)$ определяется следующими выражениями:

$$W_t(X) \triangleq T_0; \quad T_0 = T_1 + t', \quad T_L = 0,$$

$$T_\ell = p_\ell(T_\ell + t) + (1 - p_\ell)(T_{\ell-1} + t'), \quad \ell = 2, L-1,$$

где p_ℓ — вероятность перехода с ℓ -го на $(\ell+1)$ -й уровень дерева ветвлений;

T_ℓ — среднее время движения от ℓ -го до L -го (последнего) уровня дерева ветвления;

t, t' — время перехода (возврата) с уровня на уровень, причем

$$p_1 = 1 - \Phi_0\left(\frac{\sqrt{\pi\lambda}X - m_1}{\sigma_1}\right); \quad p_\ell = \frac{1 - \Phi_0\left(\frac{\sqrt{\pi\lambda}X - m_\ell}{\sigma_\ell}\right)}{1 - \Phi_0\left(\frac{\sqrt{\pi\lambda}X - m_{\ell-1}}{\sigma_{\ell-1}}\right)};$$

здесь Φ_0 — функция Гаусса, а величины $m_\ell, \sigma_\ell, \ell = 1, L-1$ связаны практически линейными зависимостями.

Экспериментальные исследования показали возможность и эффективность использования "гибкого" алгоритма для решения задач оперативного управления при варьируемых ограничениях на длительность

счета и точность решения.

В четвертой главе рассмотрены примеры практического применения предлагаемых в работе алгоритмов к решению задач оперативного управления производственными процессами в литейных цехах машиностроительных предприятий.

Для рассматриваемых комплексов объектов допустимое время решения задач оперативного управления на этапах вторичной оптимизации не превышает десяти-пятнадцати минут. Наиболее трудоемкой для решения является задача построения графиков работы плавильных печей (обобщенная задача о назначениях реальной размерностью 50×50). Применение "гибкого" алгоритма типа ветвей и границ позволяет решать эту и другие оптимизационные задачи с приемлемой точностью в ограниченные сроки, что существенно повышает оперативность системы и снижает общие затраты на ее эксплуатацию. Наиболее эффективным является использование "гибкого" алгоритма ветвей и границ в рамках универсального адаптивного программного комплекса для решения задач дискретной оптимизации в системах оперативного управления. Внедрение такого программного комплекса позволяет уменьшить трудоемкость создания и эксплуатации программного обеспечения АСУ. Программный комплекс реализован на ЭВМ СМ-2М (языки программирования Фортран IV, Мнемокод), объем занимаемой памяти при решении дискретных оптимизационных задач, описанных во второй главе, порядка 30К слов. Программный комплекс является открытой системой и может быть легко дополнен новыми модулями для решения различных задач дискретной оптимизации.

Разработанные в диссертации модели и алгоритмы оптимизации вошли в состав функционального, математического и программного обеспечения двух комплексных АСУ производственными и технологическими процессами в литейных цехах машиностроительных предприятий. Суммарный ожидаемый годовой экономический эффект составляет 1711,1 тыс.руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации проведено дальнейшее развитие методов оперативного управления применительно к комплексам объектов производственного типа, характеризующихся многообъектностью, многомерностью, наличием непрерывных и дискретных (линейных и нелинейных) компонент критерия оптимизации, сложным характером ограничений

на управляющие переменные и переменные состояния, ограниченным и переменным интервалом времени, отводимым на принятие оперативных решений.

Основным научным результатом диссертационной работы является разработка методического, математического и программного обеспечения для автоматизированного оперативного управления комплексом объектов производственного типа по критерию минимума совокупных производственных затрат, связанных с безусловным выполнением плановых заданий в установленный срок, при условиях, когда на процесс разработки, внедрения и эксплуатации математического и программного обеспечения накладываются ограничения по объему памяти ЭВМ, стоимости и срокам проектирования, а также варьируемые ограничения на длительность поиска оптимальных управлений.

Полученный результат выражается в следующих выводах:

1. Для заданного класса объектов производственного типа предложена постановка задачи оперативного управления, учитывающая, в отличие от известных постановок, как дискретные, так и непрерывные целевые функции производственных затрат, что позволяет улучшить показатели функционирования комплекса объектов.

2. На основе декомпозиции исходной задачи и принципов иерархического управления сформирован двухуровневый комплекс задач объемного планирования и задач построения графика работы объектов. Предложена и на примере комплекса объектов плавилино-литейных цехов проведена структуризация задач на различных уровнях оптимизации, что позволило представить исходную задачу оперативного управления высокой размерности в виде совокупности взаимосвязанных задач дискретной оптимизации значительно меньшей размерности и существенно понизить сложность решения.

3. Для объектов рассматриваемого типа обоснованы структура и алгоритмы программного обеспечения для решения задач управления на различных уровнях оптимизации. Предложен методориентированный адаптивный программный комплекс с базовым методом типа ветвей и границ. Основой обоснования является принцип сложности.

4. На основе принципа сложности проведена формализация задачи управления длительностью поиска оптимальных решений для алгоритмов типа ветвей и границ, что позволило разработать "гибкий" алгоритм дискретной оптимизации, обеспечивающий максимальное использование выделенных вычислительных ресурсов для повы-

14

шения качества приближенных решений. Для "гибкого" алгоритма определены и обоснованы машиноориентированные оценки длительности счета и погрешности приближенного решения.

5. Проведен вычислительный эксперимент, подтвердивший справедливость теоретических разработок и показавший высокую эффективность "гибкого" алгоритма типа ветвей и границ для решения задач оперативного управления при варьируемых ограничениях на длительность счета.

6. Разработанные в результате проведенных исследований модели и алгоритмы составили ядро математического и программного обеспечения двух автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами в плавленно-литейных цехах крупных машиностроительных заводов. Внедрение систем позволит получить годовой экономический эффект более 1,5 млн. руб.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ершов М.В. Принцип сложности и модификация метода ветвей и границ. — Синтез и проектирование многоуровневых систем управления: Тезисы докладов I Всесоюзной научно-технической конференции. — Барнаул, 1982, с.19–20.

2. Ершов М.В. Вероятностно-приближенный метод дискретной оптимизации оперативно-организационного управления. — Методы решения задач оперативного управления в АСУ отраслевого и межведомственного уровней: Тезисы докладов II Всесоюзного научно-технического семинара. — М., 1982, с.98–100.

3. Ершов М.В. Методы и алгоритмы синтеза многоуровневой системы оперативно-организационного управления производством отливок. — Прикладные аспекты управления сложными системами: Тезисы докладов Всесоюзного научно-практического семинара. — Кемерово, 1983, с.39–41.

4. Ершов М.В., Павлюк Г.В. Оптимизация оперативно-организационного управления и принцип сложности в иерархических АСУ технологическими и производственными процессами в литейном производстве. — Создание и внедрение автоматизированных и автоматических систем управления непрерывными и дискретно-непрерывными процессами: Тезисы докладов X Всесоюзной научно-технической конференции. — Алма-Ата, 1983, с.45.

5. Ершов М.В. Методы и алгоритмы дискретной оптимизации в системах оперативно-организационного управления. — Алгоритмы-

зация и программирование задач управления: Сборник материалов Московской конференции молодых ученых. — М., 1984, с.53—54.

6. Зверев В.Ю., Ершов М.В. Методы и алгоритмы управления цеховым транспортом в гибких автоматизированных системах. — В кн.: Гибкие производственные системы. — Л.; ЛЭТИ, 1984, с.34—41.

7. Ершов М.В. Особенности разработки математического и программного обеспечения задач дискретной оптимизации оперативного управления: Тезисы докладов VI Всесоюзного совещания-семинара молодых ученых. — М., 1985, с.121—122.

ИМ 03296 от 4.02.86 г.

Зак.116. Тир.100. Ротапринт Волгоградского ЦНТИ, 1986 г.