

05.13.02

Б82

✓

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Бордецкий Александр Борисович

ДИАЛОГОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ  
РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМИТЕТНОГО ПОДХОДА

05.13.02 - Теория систем, теория автоматического  
регулирования и управления и системный  
анализ

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ЧЕЛЯБИНСК - 1981

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте  
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель

- доктор технических наук  
профессор  
ЦЫГАНКОВ В.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук  
ВОЛКОВИЧ В.Л.,  
кандидат технических наук  
доцент  
ЧАЩОВ Р.П.

Ведущая организация

- Всесоюзный научно-иссле-  
дательский институт системных  
исследований АН СССР.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " июня 1981 года, в 15 часов, на заседании  
специализированного совета К.053.13.04 в Челябинском политех-  
ническом институте, аудитория 244 (454044, г.Челябинск, пр. Лени-  
на, 76)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " мая 1981г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

*В.С. Кабреев* В.С. Кабреев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

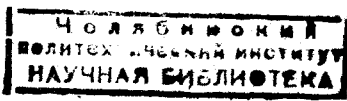
**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ** "Расширение автоматизации проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ с применением электронно-вычислительной техники" определено в решениях XXVI съезда КПСС как направление, требующее скорейшего развития в одиннадцатой пятилетке. Важным фактором в обеспечении эффективности применения систем автоматизированного проектирования на практике является включение предварительных проектных решений (этапа внешнего проектирования) в общую схему автоматизации. В отличие от более поздних операций параметрического синтеза вопросы оптимизации предварительных проектных решений выходят за рамки непосредственного использования хорошо зарекомендовавших себя традиционных моделей исследования операций и относятся к проблематике системного анализа. Для их решения еще не сформированы удобные для практического использования модели и алгоритмы.

С позиций системного подхода к оптимизации проектной деятельности на уровне предварительных решений целесообразно применять диалоговые (интерактивные) алгоритмы оптимизации. Одним из перспективных подходов к построению диалоговых процедур оптимизации проектных решений, допускающим непосредственное применение на практике и соответствующим особенностям принятия предварительных решений является комитетный подход. Таким образом, актуальной научно-технической задачей является исследование и разработка диалоговых алгоритмов оптимизации на основе комитетного подхода.

**ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.** Основной целью работы является построение нового класса эффективных алгоритмов, позволяющих осуществить процедуру диалоговой оптимизации на основе комитетного подхода, и их применение к задачам оптимизации предварительных проектных решений.

В соответствии с поставленной целью основные задачи работы определены следующим образом:

- а) провести анализ системных особенностей автоматизации принятия решений по основным этапам процесса проектирования;



- б) провести анализ и исследование процедуры оптимизации предварительных проектных решений на основе комитетного подхода;
- в) разработать практически эффективные алгоритмы определения комитета несовместной системы взвешенных неравенств (НСВН);
- г) разработать алгоритмы, обеспечивающие ведение диалоговой оптимизации на основе последовательного расширения комитета НСВН;
- д) показать целесообразность применения полученной процедуры диалога в качестве обобщенной модели оптимизации решений при плохо формализуемых условиях, в частности, для задач координации и многокритериальной оптимизации;
- е) реализовать применение полученных алгоритмов на практике.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** Разработана общая процедура диалоговой оптимизации на основе комитетного подхода и обеспечивающие ее алгоритмы. При этом: предложены модели оптимизации предварительных проектных решений на основе комитетной формализации; исследована новая комитетная конструкция на множестве несовместных взвешенных неравенств; получены алгоритмы определения комитета НСВН; разработаны алгоритмы решения комплекса вспомогательных задач для обеспечения процедуры диалога по построению последовательности расширяющихся комитетов; на основе разработанного комплекса алгоритмов предложен способ диалогового решения задачи многокритериальной оптимизации по методу ограничений и координации решений в двухуровневой решающей системе.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ.** Полученные в работе результаты могут быть использованы для обеспечения операций предварительного проектирования сложных систем, а также для различных ситуаций принятия решений при плохо формализуемых условиях, часто встречающихся в задачах оперативного управления, принятия решений по многим критериям, распознавания образов и ряда других.

В частности, предлагаемые алгоритмы нашли применение при разработке специализированной вычислительной системы; системы оперативного управления; при решении задач автоматизированного проектирования автомобильных дорог; в учебном процессе. Программное обеспечение алгоритмов принято в Госфонд алгоритмов и программ и отраслевой фонд Минвуза СССР. Использование результатов

работы при решении названных задач подтверждается актами о внедрении.

**АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях ЧТИ (Челябинск, 1977-1981 гг.); на II Всесоюзном научно-техническом совещании "Автоматизация проектирования систем автоматического и автоматизированного управления" (Челябинск, 1978 г.); на Всесоюзном семинаре "Кибернетика электроэнергетических систем" (Челябинск, 1978 г.); на зональной научно-технической конференции "Радиоэлектроника и автоматика на службе пятилетки качества" (Свердловск, 1978 г.); на I научно-техническом семинаре "Управление при наличии расплывчатых категорий" (Кишинев, 1978 г.); на республиканском научно-техническом семинаре "Основы построения интегрированных САПР и создания системных методов их проектирования" (Киев, 1979 г.); на республиканском научно-техническом семинаре "Исследование операций и моделирование процессов управления воздушным движением" (Киев, 1979 г.); на II научно-техническом семинаре "Управление при наличии расплывчатых категорий" (Ижевск, 1979 г.); на республиканском семинаре "Экономико-математические методы в планировании и управлении" (Челябинск, 1979 г.); на II Всесоюзном совещании "Оптимизация технических систем" (Винница, 1979 г.); на Четвертом Ленинградском симпозиуме "Теория адаптивных систем" (Ленинград, 1979 г.); на Всесоюзном совещании по интерактивным системам проектирования (Москва, 1981 г.).

**ПУБЛИКАЦИИ.** Основное содержание работы опубликовано в 12 работах.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (104 наименования), приложений, изложена на 133 страницах машинописного текста, с 2 таблицами и 12 рисунками в тексте.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Постановка задач в работе вытекает из анализа системных особенностей автоматизации принятия решений по основным этапам процесса проектирования и обзора работ по оптимизации проектных

решений. Делается вывод о необходимости разработки моделей и алгоритмов оптимизации предварительных проектных решений. Анализ возможных моделей и организационных форм принятия предварительных проектных решений, осуществляемых, как правило, на уровне системотехнических (комплексных) подразделений в организационной структуре коллектива проектировщиков, и результаты, полученные в работах Г.С.Поспелова, Д.С.Конторова, А.И.Половинкина, Л.А.Растрюгина, В.Л.Волковича, Д.И.Батищева, О.И.Ларичева и др., разрабатывающих данное направление, показывают целесообразность оптимизации предварительных решений в режиме диалога с ЛПР (лицом, принимающим решение). Удобной формальной основой для построения диалоговых процедур оптимизации, соответствующей описанным в работе организационным, информационным и операционным особенностям принятия предварительных проектных решений является комитетный подход <sup>ж</sup>. Таким образом, существенный практический интерес представляет построение диалоговых процедур оптимизации проектных решений на основе комитетного подхода. В то же время данный вопрос является малоизученным. Исходя из этого сформулированы приведенные выше цель и задачи работы.

**ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ.** Согласно комитетному подходу элементарная ситуация принятия решений формализуется как выбор среди альтернативных целей, моделируемых несовместной системой ввешенных неравенств (НСВН):

$$A_i = \{a_i \leq f_i(\bar{x}) \leq b_i | c_i\}, \quad i = \overline{1, m}; \quad \{i\} = I; \quad \bar{x} \in X \subset E^n, \quad (1)$$

где  $c_i \in E^1 \forall i \in I$  - оценка важности выполнения  $i$ -го ограничения, со свойствами:

---

ж) Г. Конторов Д.С. Разработка сложных технических систем как проблема развития. - В сб. Вопросы кибернетики. Управление развитием систем. М.: 1979, вып. 56, с. 84-97.

2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники. М.: Воениздат, 1976, 224 с.

3. Еремин И.И., Мазуров В.Д. Нестационарные процессы в математическом программировании. М.: Наука, 1979, 228 с.

1)  $M = \bigcap_{i \in I} M_i = \emptyset$ ;  $M_i = \{\bar{x} \in X \mid f_i(\bar{x}) \in [a_i, b_i]\}$ ,

2) наличием неопределенности в выборе значений  $\{a_i, b_i, c_i\}$ .

При этом противоречивость  $i$ -ой и  $j$ -ой целей моделируется несовместностью соответствующих неравенств  $A_i$  и  $A_j$ , а неполная формализуемость представлений ЛПР системой (I) моделируется неопределенностью выбора значений  $\{a_i, b_i, c_i\}$ . С принимаемым (компромиссным) решением связывается решение наиболее представительной, по некоторому критерию групповой оценки значимости ограничений  $L(c_1, \dots, c_m)$  совместной подсистемы неравенств, называемой комитетом. Далее в режиме диалога производится ослабление менее значимых, не вошедших в комитет неравенств с целью формирования расширенного комитета. Таким образом, в процессе диалога формируется последовательность расширяющихся комитетов, с помощью которых осуществляется адаптация исходных (плохо формализуемых) представлений ЛПР об отношении предпочтения на множестве ограничений и их решений. На основе комитетной схемы оптимизации операции декомпозиции (координации) требований технического задания и оценки предварительного варианта системы, как это предлагается в работе, моделируются достаточно просто и адекватно. В условиях двухуровневой организационной структуры коллектива проектировщиков (соответствующей, как правило, блочной структуре проектируемой системы) ситуации межуровневого и внутриуровневого конфликтов по вопросу согласования требований технического задания моделируются несовместностью соответствующих НСВН, координация требований моделируется диалоговой схемой разрешимости этих ситуаций несовместности. Оценка предварительного варианта осуществляется по результатам согласования (на основе последовательного устранения несовместности) требований к показателям системы с ограничениями на ее параметры и характеристикам полученной допустимой области.

В работе исследуется и разрабатывается реализация диалоговой схемы оптимизации на основе комитетной конструкции, соответствующей проектной интерпретации оптимизируемых решений (КВН-конструкции), в силу этого отличной от ряда комитетных конструкций, изучавшихся В.Д.Мазуровым применительно к задачам распознавания образов. Реализация сводится к решению двух основных задач: базовой, решаемой многократно в процессе диалога, и общей

задачи построения процедуры диалога. Базовая задача формулируется как задача определения комитета НСВН (КВН-конструкции) в виде

$$(\bar{x}^*, I_p) : \sum_{i \in I_p} c_i \delta_i(I_p) = \text{Max} \sum_{(q, N) \in I_q} c_i \delta_i(I_q) = L^* \quad (2)$$

при  $M = \bigcap_{i \in I_p} M_i \neq \emptyset; \quad \bar{x}^* \in M, \quad (3)$

где  $I_p \subseteq I, I_q \subseteq I, q = 1, 2, \dots, 2^n; \delta_i(I_q) = \begin{cases} 1, & i \in I_q, \\ 0, & i \notin I_q; \end{cases}$

$N$  - множество подмножеств  $I$ .

Общая задача формулируется как определение расширенного комитета  $[I'_p; \{a'_i, b'_i\}, \forall i \in I'_n]$ :

$$\sum_{i \in I'_p} c_i \delta_i(I'_p) \geq L^* \quad (4)$$

при  $M = \bigcap_{i \in I'_p} M_i \neq \emptyset; \quad I'_p \subseteq I_p \cup I'_n, \quad I'_n = I \setminus I_p. \quad (5)$

Совместному решению базовой и общей задач в схеме комитетной оптимизации (рис. 1)

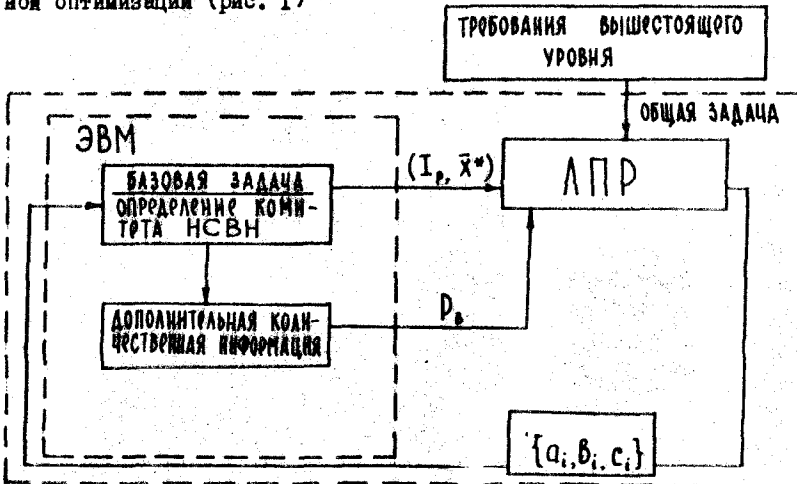


Рис. 1



соответствует процесс, объединяющий идентификацию НСВН с последующим определением ее комитетной конструкции, который может быть отнесен к классу нестационарных процессов в математическом программировании введенных И.И.Ереминым и В.Д.Мазуровым.

**РЕШЕНИЕ БАЗОВОЙ ЗАДАЧИ.** Базовая задача сводится к выделению максимальной по "весу" тупиковой подсистемы из исходной НСВН и в этом смысле близко примыкает к вопросам построения максимальных совместных подсистем, рассмотренных В.Д.Мазуровым при определении комитетных конструкций для задач распознавания образов. Отличие состоит в том, что для упомянутых задач описываются алгоритмы определения всех максимальных совместных подсистем системы линейных равнозначных по важности выполнения неравенств, не включающие возможности направленного перехода к определенной из подсистем, что делает затруднительным их непосредственное использование для определения комитета НСВН. По этой же причине оказывается нецелесообразным применение алгоритмов расшифровки монотонных булевых функций<sup>\*)</sup>. Кроме того, с практической точки зрения важно иметь возможность решения базовой задачи для случая нелинейных, по крайней мере выпуклых НСВН.

Особенностью задачи является наличие соответствия между тупиковыми подсистемами  $I_i \in I: (\forall i \in I \setminus I_i) (M(I_i \cup i) = \emptyset)$  в постановке (2) и локальными экстремумами функции вида

$$L = \sum_{i \in I} c_i \varepsilon_i(\bar{x}); \quad \varepsilon_i(\bar{x}) = \begin{cases} 1, & f_i(\bar{x}) \in [a_i, b_i]; \\ 0, & f_i(\bar{x}) \notin [a_i, b_i]. \end{cases} \quad (6)$$

Это позволяет, в частности, использовать переход из области  $I$  в  $X$  при построении алгоритмов решения, а также просто рассматривать решение задачи как определение глобального экстремума функции  $L = \sum_{i \in I} c_i \varepsilon_i(\bar{x})$  в  $X$ . В работе эта возможность используется как вспомогательная, которую целесообразно применять в случае произвольных нелинейных  $f_i(\bar{x}) \in \{E^n \rightarrow E^1\}$ . Решение осуществляется с использованием сглаживания характеристических

---

<sup>\*)</sup> Зеличенко А.И. О соответствии монотонных булевых функций системам неравенств. - Журн. вычисл. матем. и матем. физики, 1979, т.19, № 6, с.1543-1554.

функций в виде

$$M_i(\bar{x}) = \begin{cases} 1, & f_i(\bar{x}) \in [a_i; b_i]; \\ e^{\kappa_i(y_i - a_i)}, & f_i(\bar{x}) < a_i; \\ e^{\kappa_i(b_i - y_i)}, & f_i(\bar{x}) > a_i; \end{cases} \quad y_i = f_i(\bar{x}); \quad \kappa_i = \text{const.}$$

(что переключается с одним из эвристических алгоритмов, предлагаемых В.Д. Мазуровым для определения максимальных совместных подсистем) и применением алгоритма автоматической классификации для адаптации процедуры поиска глобального экстремума к условиям большой размерности.

Основными алгоритмами решения задачи являются алгоритм на основе схемы Балаша и алгоритм определения комитета по схеме ветвления. Эти алгоритмы решают задачу (2) как дискретную экстремальную задачу специального вида для выпуклых НСВН. При этом для проверки ограничения (3) строится оператор вида

$$P_i(\epsilon) = \begin{cases} \bar{x}, & \bar{x} \in M \\ \bar{x} - \lambda \frac{d_i^+(\bar{x})}{\| \nabla f_i(\bar{x}) \|} \nabla f_i(\bar{x}), & \lambda \in ]0, 2[; \end{cases} \quad (7)$$

где

$$d_i^+(\bar{x}) = \begin{cases} d_i^-(\bar{x}), & d_i^-(\bar{x}) \neq f_i(\bar{x}), \\ \min \{ b_i, f_i(\bar{x}), d_i^-(\bar{x}) = f_i(\bar{x}) \}; \\ d_i^-(\bar{x}) = \max \{ a_i, f_i(\bar{x}) \}, \end{cases}$$

$P_i(\epsilon)$  - проекция точки  $\bar{x}$  на поверхность  $i(\epsilon)$  неравенства, представляющий собой модификацию оператора фейеровского типа с циклическим пересчетом на случай двусторонних неравенств.

Первый алгоритм представляет собой модификацию схемы Балаша к решению рассматриваемой задачи и реализуется в 2-х вариантах:

а) на основе непосредственного применения схемы Балаша к перебору векторов  $\{ \bar{s}_j \}$  в целевой функции (2); б) с использованием релаксации условий целочисленности при переходе от начальной комбинации неравенств к тупиковой по процедуре поиска локального экстремума функции  $L' = \sum_{i \in I} c_i M_i(\bar{x})$ . Первый вариант предназначен для случаев недоопределенных НСВН с небольшим числом

неравенств (10+20) большой размерности ( $\dim \bar{x} \sim 100$ ). Введение релаксации позволяет перейти к системам с большим числом неравенств, но с ограничением на  $\dim \bar{x}$  не более (30+40).

Алгоритм определения комитета по схемам ветвления предназначен главным образом для случая переопределенных НСВН. Он позволяет сочетать достоинства переборной схемы в решении базовой задачи (конечность) с использованием информации об области определения неравенств. Алгоритм реализует эвристическую идею ветвления при переходе от одной тупиковой подсистемы к другой на основе оценки "соседства"

$$d_j = \sum_{i \in I_x} c_i \tau_{ij}; \quad \tau_{ij} = \text{sign} \left( \frac{\partial M_i}{\partial x_j} \right)_{\bar{x}_n}; \quad I_x = \{i | M_i(\bar{x}_n) < 1\}, \quad (8)$$

позволяющих по значениям

$$\Delta G_{d_j}^+ = \sum_{i \in I^+_{d_j}} c_i; \quad \Delta G_{d_j}^- = \sum_{i \in I^-_{d_j}} c_i; \quad I^+_{d_j} = \{i | \tau_{ij} = 1\}, \quad I^-_{d_j} = \{i | \tau_{ij} = -1\} \quad (9)$$

оценивать ожидаемое увеличение целевой функции для той или иной группы неравенств, вокруг которой далее с использованием релаксации по  $L'(\bar{x})$  будет определяться следующая тупиковая подсистема.

Для случая большой размерности НСВН (100x100 и более) предложен способ ее агрегирования на основе применения методов выделения макроструктуры  $\bar{x}$ ) к матрице связей НСВН  $\|S_{ij}\|$

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n |\delta_{ik} - \delta_{jk}|; \quad \delta_{ik} = \begin{cases} 1, & a_{ij} \neq 0; \quad (i,j) \in I; \\ 0, & a_{ij} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

где  $\{a_{ij}\}$  - коэффициенты полинома  $f_i(\bar{x})$ , что позволяет для частного случая блочно-диагональной структуры НСВН свести определение комитета исходной НСВН к определению комитета НСВН меньшей размерности.

ПРОЦЕДУРА ДИАЛОГА (ПОСТРОЕНИЕ РАСШИРЕННОГО КОМИТЕТА). Диалог по получению последовательности расширяющихся комитетов

\*) Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков. М.: Статистика, 1979, 166 с.

$$I_p^1 \subset I_p^2 \subset \dots \subset I_p^t \subset \dots \subset I_p^k,$$

$$I_p^k = \{i | \varepsilon_i(\bar{x}^k, \bar{d}^k) = 1\}; \sum_{i \in I} c_i \varepsilon_i(\bar{x}^k, \bar{d}^k) = \text{Max}_{\substack{\bar{x} \in X \\ \bar{d} \in D \\ \bar{z} \in C}} \sum_{i \in I} c_i \varepsilon_i(\bar{x}, \bar{d}), \quad (II)$$

$$\bar{d} = \{a_1, \dots, a_m, b_1, \dots, b_m\}; \bar{c} = \{c_1, \dots, c_m\},$$

строится как реализация итерационного процесса

$$\{\bar{x}_{t+1} \in O(\bar{S}_t, \bar{x}_t, \bar{U}_t)\}, \forall t, \\ \bar{S} = [\bar{d}, \bar{c}]; \bar{x}^t \in M^t = \bigcap_{i \in I_t^+} M_i; \bar{U}_t = \Delta \bar{S}_t \quad (12)$$

на основе неформального моделирования оператора  $O$  по схеме

$$(\bar{x}, I_q) \xrightarrow{\{k_i\}} (\bar{x}^t, I_p^t) \xrightarrow{A} (\bar{x}^k, I_p^k), \quad (13)$$

где  $k_i$  -  $i$ -й алгоритм определения комитета, вырабатывающий информацию  $P_k^t$ ;  $A$  - оператор адаптации, вносящий (средствами диалога) определенность в выбор значений  $\Delta \bar{S}$  на каждом шаге.

$$A: (\bar{x}^t, \bar{S}^t) \rightarrow \bar{U}_t; \bar{U}_t \in P_B^t \cup P_K^t, \quad (14)$$

где  $P_B^t$  - информация, получаемая на основе  $A$ . Сходимость обеспечивается предоставлением в составе  $P_B^t$  информации о  $\Delta \bar{S}$ , достаточной для выполнения условия  $|I_p^{t+1}| \geq |I_p^t| + 1$ . Множество  $P_B^t$  формируется на основе трех моделей адаптации  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ , реализующих различные эвристические предположения о необходимости той или иной (дополнительной по отношению к  $P_K^t$ ) информации для адаптации ЛПР выбираемых им значений  $\Delta \bar{S}$  к присущему ему априорно неопределенному отношению предпочтения на  $\{I \times D\}$ ,  $D = \{\bar{d}\} \subset E^{2m}$ . Модели обеспечивают два уровня диалога. На первом уровне ЛПР ограничивается только изменением коэффициентов  $\{c_i\}$ . В выборе вариаций границ неравенств с номерами  $i \in I \setminus I_t^+$  ЛПР ограничивается рекомендациями ЭВМ. На втором уровне ЛПР имеет возможность производить дальнейшую экспликацию исходного отношения

предпочтения на множество  $\{I \times D\}$ . В этом случае вариации границ неравенств подлежат уточнению в ходе диалога. В целом модели обеспечивают ЛПР следующей информацией.

$$A_1: P_{B1}^t = \{\bar{x}_c^t; \{x_j^{\max}, x_j^{\min}\}; \{\partial a_i, \partial b_i\}; \{\Delta a(\bar{x}_c^t), \Delta b(\bar{x}_c^t)\}\}, \quad (15)$$

где  $\bar{x}_c^t$  - аппроксимация центра  $M^t$ ;  $\{x_j^{\max}, x_j^{\min}\}$  область допустимых вариаций;  $\{\partial a_i, \partial b_i\}$  - область устойчивости комитета.

$$A_2: P_{B2}^t = \{P_{B1}^t \cup [\bar{x}_n^t, \{\Delta a_i(\bar{x}_n^t), \Delta b_i(\bar{x}_n^t)\}]\}, \quad (16)$$

где  $\bar{x}_n^t$  - настроенное решение комитета, определяемое как

$$\bar{x}_n^t \in \{\bar{x} \mid \sum_{i \in I \setminus I_p^t} c_i M_i(\bar{x}_n^t) = \max_{\bar{x} \in M^t} \sum_{i \in I \setminus I_p^t} c_i M_i(\bar{x})\}, \quad (17)$$

$A_3: P_{B3}^t$  - информация о нечетком комитете НСВН.

Модель  $A_1$  обеспечивает диалог I-го уровня, модели  $(A_2, A_3)$  - второго. Модели реализуются комплексом вспомогательных алгоритмов. Определение  $\bar{x}_c$  осуществляется в 2-х вариантах: а) для линейного случая  $\bar{x}_c = \bar{x}^{(j-1)}$ ;  $\bar{x}^{(j-1)} \in M^t \setminus \{0\}$ ;

$$M^t \setminus \{0\} \in \{M^{t1} \supset M^{t2} \supset \dots \supset (M^{tj} = \emptyset)\}; \quad (18)$$

б) для общего случая:  $\bar{x}_c^t = \text{Arg} \max_{\bar{x} \in M^t} \{|\bar{x} - P_i(\bar{x})|\}, \quad (19)$

где  $P_i(\bar{x})$  - проекция т.  $\bar{x}$  на ограничивающую поверхность  $i$ -го неравенства. Задача (17) сводится к стандартной модели выпуклого программирования. Определение нечеткого комитета формулируется как прямое обобщение задачи (2) на случай нечетко заданных ограничений:

$$I_p^f: \sum_{i \in I_p^f} c_i S_i(I_p^f) = \max_{(q, N) \in I_q} \sum_{i \in I_q} c_i S_i(I_q) \quad (20)$$

при  $M_i(a_i, b_i) \geq \Delta, \forall i \in I_p^f; M_i \in \{(a_i, b_i) \rightarrow [0, 1]\}; \quad (21)$

с использованием модификации оператора (7) на случай нечеткого определения совместности. Таким образом, дополнительная количественная информация в схеме рис. 1 представляется (по выбору ЛПР) элементами множества  $\{P_{s_1}^+ \cup P_{s_2}^+ \cup P_{s_3}^+\}$ .

**ПРИЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ, ВНЕДРЕНИЕ В ПРАКТИКУ.** Ввиду общности операций предварительного проектирования с целым рядом ситуаций принятия решений при плохо формализуемых условиях оказалось целесообразным использовать схему диалога на основе КВН-конструкции в качестве обобщенной модели принятия решений, в частности, для задач координации и многокритериальной оптимизации.

Применение разработанной процедуры диалога для решения многокритериальной задачи по методу ограничений сводится к следующей схеме:

- 1) определяются оптимальные значения  $\{f_i^0(\bar{x})\}, \forall i \in I$ ;
- 2) назначаются допустимые отклонения критериев в виде  $a_i \leq f_i(\bar{x}) \leq b_i; a_i < f_i^0(\bar{x}); b_i > f_i^0(\bar{x})$

(или в одностороннем варианте);

- 3) назначаются оценки значимости соблюдения принятых отклонений  $\{c_i\}, \forall i \in I$ .

Таким образом, многокритериальная задача приводится к модели НСВН. Далее осуществляется диалог по построению расширенного комитета.

Для двухуровневой системы (рис. 2) решение задачи координа-

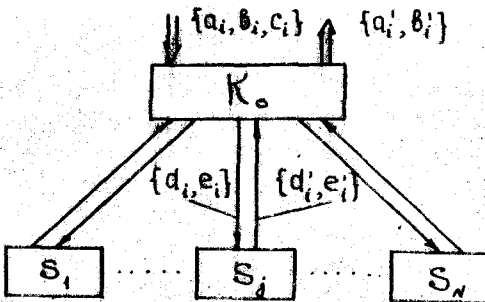


Рис. 2

ции сводится к последовательному применению полученной схемы диалога к системам:

$$1) \{a_i \leq f_i(\bar{x}) \leq b_i | c_i\}, \forall i \in I, \bar{x} \in X; \\ \{e_i \leq Y_i^j(\bar{x}) \leq d_i | c_i\}, \forall i \in I_j, \bar{x} \in X_j, \quad (22)$$

в несовместности которой на множестве  $M = M(I) \cap M(I_j)$  отражается междуровневый конфликт в системе  $(\{Y_i^j\} \cap \{x_k\} \neq \emptyset)$ ;

$$2) [\{e_i \leq Y_i^j(\bar{x}) \leq d_i | c_i\}, \forall i \in I_j], \forall j = \overline{1, N} \quad (23)$$

в несовместности которой на множестве  $M = \bigcap_{j=1}^N (M_j) = \emptyset$  отражается внутруровневый конфликт в системе  $(\bigcap_j \{Y_i^j\} \neq \emptyset)$ .

Возможность непосредственного практического использования алгоритмов обеспечивается диалоговым пакетом прикладных программ ОПТНЕР, реализующим базовые и вспомогательные алгоритмы в составе проблемных модулей и программное обеспечение диалога. Подробное описание особенностей структуры и разработки пакета приводится в приложении.

В работе описывается применение ППП ОПТНЕР на этапе предварительного проектирования специализированной вычислительной системы. Применение заключается в проведении (с помощью пакета) диалоговых итераций (на уровне системотехнического подразделения) по согласованию требований на основные показатели системы  $\{Y_i\}$  такие как системное время, эффективность использования вычислительных средств, эффективность использования устройств обмена и т.п. с возможностью их реализации в пределах изменения обобщенных параметров системы. В качестве обобщенных параметров  $\{X_j\}$  выступают такие величины как время обмена одним словом между вычислительным средством и устройством обмена, времена работы блоков операционной системы, количество вычислительных средств и т.п. Необходимые для ведения диалога факторные модели связей  $\{Y_i(\bar{x})\}$  получаются на основе экспериментов с имитационной моделью системы. (табл. ).

Первоначально оцениваются наиболее жесткие требования, затем с учетом важности отдельных требований производится их ослабление по разработанной схеме диалога. Так, первоначальное

Таблиця

№ опиту	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
1	-I	-I	-I	+I	+I	+I	-I	365,4	41,3	76,8
2	+I	-I	-I	-I	-I	+I	+I	109,5	63,2	13,5
3	-I	+I	-I	-I	+I	-I	+I	346,8	43,2	78,4
4	+I	+I	-I	+I	-I	-I	-I	103,9	43,9	12,3
5	-I	-I	+I	+I	-I	-I	+I	763,9	40,0	91,8
6	+I	-I	+I	-I	o	+I	-I	129,2	64,1	18,1
7	-I	+I	+I	-I	-I	+I	-I	755,7	41,0	92,8
8	+I	+I	+I	+I	+I	+I	+I	142,4	38,4	20,5



назначение требований в виде  $90 \leq Y_1 \leq 180$  ;  $160 \leq Y_2 \leq 180$  ;  $90 \leq Y_3 \leq 180$  оказывается слишком жестким (невыполнимым) в пределах изменения обобщенных параметров, на основе модели адаптации А, ППП ОПТЕР выдает рекомендации уменьшения левой границы для  $Y_1$  на 70 и т.д. Результатом проведенных диалоговых итераций является количественное обоснование требований к показателям и обобщенным параметрам системы, оценки выбранного варианта системы, что позволяет существенно повысить качество принимаемых предварительных решений.

Другим применением разработанных моделей и алгоритмов является их использование при разработке системы оперативного управления и при проектировании профиля автомобильных дорог.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ системных особенностей автоматизации основных операций процесса проектирования сложных систем показал:

а) необходимость выхода за рамки чисто машинных алгоритмов оптимизации при обеспечении операций предварительного проектирования и поиска возможностей формализации в классе диалоговых процедур;

б) отсутствие в настоящий момент моделей оптимизации, в том числе и диалоговых, адаптированных к особенностям принятия предварительных проектных решений и при этом допускающих непосредственное применение на практике;

в) адекватность комитетного подхода для построения практически эффективной модели оптимизации предварительных проектных решений в режиме диалога.

2. Анализ возможностей решений задачи оптимизации на основе комитетного подхода показал, что реализация подхода сводится к решению двух основных задач:

а) определения комитета несовместной системы взвешенных неравенств (базовая задача);

б) построения процедуры диалога как решения задачи определения расширенного комитета (общая задача).

3. Предложенные алгоритмы определения комитета НСВН позволяют решать базовую задачу за приемлемое для практики время и для

различных видов НСВН. Тем самым они дают необходимую формальную основу для построения процедуры диалога.

4. Алгоритмы решения вспомогательных задач позволяют реализовать процедуру диалога, которая на основе 3-х моделей адаптации ( $A_1, A_2, A_3$ ) может осуществляться по различным "траекториям":  $A_1; (A_1; A_2); (A_1, A_3)$ . Это сделано для более гибкого оснащения проектировщика.

5. Отличительной чертой используемых моделей адаптации и обеспечивающих их алгоритмов решения вспомогательных задач является простота программной реализации. Это существенно упрощает задачу программной реализации общей схемы диалоговой оптимизации на основе КВН-конструкции и обеспечивает эффективность ее использования на практике.

6. Результаты внедрения свидетельствуют об эффективности применения предлагаемой разработки в проектной практике. Кроме того, применение разработки для решения задач оперативного управления, координации, многокритериальной оптимизации свидетельствует о целесообразности ее использования в качестве обобщенной модели принятия решений для задач оптимизации при плохо формализуемых условиях.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ  
В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. Бордецкий А.Б. Об адаптации ЛПР к структуре ограничений в интерактивной схеме решения экстремальных задач параметрического синтеза. - Автоматика и вычислительная техника, 1979, № 6, с. 44-50.

2. Бордецкий А.Б. Алгоритмы координации для задач распределения ресурсов. - В сб.: Экономика-математические методы в планировании и управлении. Челябинск, 1979.

3. Бордецкий А.Б. О задаче оптимального проектирования при противоречивом техническом задании. - В сб.: Информационные и управляющие системы и устройства. Челябинск, 1980, № 250, с.22-24.

4. Бордецкий А.Б. Об одном методе оптимизации внешнего проектирования автономных электроэнергетических систем. - В сб.: Автоматизация управления и АСУ ТП, Томск, 1977, с. II2-II6.

5. Бордецкий А.Б. О возможности использования методов поиска глобального экстремума в задачах параметрического синтеза. - В сб.: Депонированные рукописи, ВИНТИ, 1978, № 7, ДР 910, с.66.

6. Бордецкий А.Б. Алгоритмы главных компонент в задаче распознавания структуры объекта. - В сб.: Информационные и управляющие системы и устройства. Челябинск, 1978, № 216, с. 55-59.

7. Бордецкий А.Б. Об обучении студентов алгоритмическому обеспечению САПР. - В сб.: Применение систем автоматизированного проектирования в приборостроении и машиностроении. Челябинск, 1980, с. 52-55.

8. Бордецкий А.Б., Гусев А.В., Цыганков В.А. Разработка и программная реализация диалоговых алгоритмов оптимизации проектных решений на основе комитетного подхода. - Тезисы докладов Всесоюзного совещания по интерактивным системам проектирования, М., ИПУ АН СССР, 1981, с. 148-149.

9. Бордецкий А.Б., Казаринов Л.С. Алгоритм оптимального проектирования при противоречивом техническом задании. - В сб.: Информационные и управляющие системы и устройства. Челябинск, 1979, № 231.

10. Бордецкий А.Б., Казаринов Л.С., Поллак Г.А., Поллак Я.А. Пакет программ РОМАХ поиска глобального экстремума функции в условиях большой размерности. - В сб.: Алгоритмы программы. М.: ВНИИЦ, 1980, № 4 (36), с.33.

11. Яковлев Б.С., Казаринов Л.С., Бордецкий А.Б. Введение в автоматизацию проектирования устройств автоматики. Челябинск, ЧПИ, 1979, 98 с.

12. Яковлев Б.С., Казаринов Л.С., Бордецкий А.Б., Двинин Н.А., Дюрягин В.Р. Анализ процесса разработки сложных автономных электроэнергетических систем. - В сб.: Методы системного подхода к проектированию объектов в автономной электроэнергетике. Челябинск, 1979, с. 15-21.

Техн. редактор Миних А.В.