

ЭКОНОМИСТ И ЭВМ

ДИАЛоговая СИСТЕМА АНАЛИЗА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Гольштейн Е. Г., Борисова Э. П., Дубсон М. С.

(Москва)

Описана универсальная программная система, позволяющая одновременно оптимизировать несколько линейных или дробно-линейных критериев при линейных ограничениях на переменные. Система ориентирована на интерактивный, дружественный к ЛПР режим работы, и в частности обучает ЛПР способам ведения диалога.

ВВЕДЕНИЕ

Среди многих причин недостаточного использования методов оптимизации в народнохозяйственной практике не последнее место занимает жесткость большинства существующих оптимизационных моделей. В них практически отсутствует связь между структурой модели и полученными с ее помощью результатами, т. е. процессы моделирования и оптимизации в значительной степени отделены друг от друга.

Вместе с тем при эксплуатации модели, как правило, довольно скоро обнаруживаются неучтенные моменты, не совсем правильно отраженные детали, частичное несоответствие результатов интуитивным представлениям о них. К тому же сам объект моделирования подвержен изменениям. Неудивительно, что у пользователя периодически возникает желание изменить модель, причем не только количественно, но и качественно. Если в его руках нет экономного средства корректировки модели, то интерес к ее применению довольно быстро ослабевает. Вот почему развитие гибких оптимизационных систем, дающих возможность не только решать конкретные оптимизационные задачи, но и располагающих программными средствами моделирования подобных задач, представляется весьма перспективным.

Описываемая ниже система обладает определенной степенью гибкости. Система задумана как вспомогательный инструмент анализа экономических объектов (предприятий или объединений). В процессе ее эксплуатации происходит выделение из множества допустимых наборов деятельности объекта (например, наборов изделий) наилучшего или оптимального, т. е. система является оптимизационной. Как правило, деятельность экономического объекта оценивается с помощью нескольких показателей. Отсюда векторный или многокритериальный характер системы. Ряд основных показателей, используемых на практике (например, производительность труда, фондоотдача, рентабельность), — относительные. Чтобы учесть это, в системе предусмотрена возможность применять не только линейные, но и *дробно-линейные* критерии. Ограничения, описывающие множество допустимых наборов деятельности экономического объекта, связаны с потреблением различного рода ресурсов или, быть может, с выполнением некоторых плановых заданий, и поэтому предполагаются линейными.

В отличие от однокритериальных оптимизационных систем настоящая система — более гибкая и адекватная реальности, поскольку позволяет оптимизировать несколько критериев одновременно. Вместе с тем наличие различных критериев делает задачу выбора оптимального

варианта не столь определенной, как в однокритериальном случае, и предполагает совмещение процессов решения и моделирования.

Неопределенность задачи векторной оптимизации устраняется путем согласования различных критериев с привлечением пользователя или, как принято говорить, лица, принимающего решение (ЛПР). При этом используется внемоделная информация, имеющаяся у ЛПР.

В данной системе согласование критериев происходит в процессе диалога между ЛПР и ЭВМ, на каждом шаге которого ЛПР анализирует принятые ранее решения и выбирает новое, используя заложенный в системе набор директив. Кроме того, предусмотрена возможность мобильного изменения критериев и ограничений (в частности, перевода критериев в ограничения и наоборот), а также всей исходной информации.

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ НАПОЛНЕНИЕ СИСТЕМЫ

Остановимся вкратце на многокритериальных задачах системы и формализации диалогового процесса. В самом общем виде рассматриваемая задача векторной оптимизации имеет вид

$$f_i(x) \rightarrow \max(\min), \quad i=1, \dots, k, \quad (1)$$

где G — многогранное множество в пространстве X ; $f_i(x)$ — дробно-линейная (либо линейная) функция. Предполагается, что ЛПР оценивает деятельность экономического объекта с помощью критериев $f_i(x)$. Поэтому анализ деятельности объекта происходит в k -мерном пространстве критериев Y .

Пусть $Q = \{y : y = f(x), x \in G\}$ — множество допустимых точек задачи в пространстве Y , где $f(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$. Его называют часто множеством достижимости. Каждой его точке y соответствует по крайней мере одна допустимая точка x , значение вектора критериев в которой равно y .

Напомним (см., например, [1]), что допустимая точка y^* называется слабоэффективной точкой задачи (1), если из неравенства $y > y^*$ вытекает, что $y \notin Q$, т. е. от точки y^* невозможно перейти к другой допустимой точке y , каждая координата которой строго больше соответствующей координаты точки y^* . Далее, допустимая точка y^* называется эффективной точкой задачи (1), если из $y \geq y^*$, $y \neq y^*$ следует, что $y \notin Q$, т. е. любое увеличение хотя бы одной координаты точки y^* при неуменьшении остальных ее координат приводит к недопустимой точке.

Решением задачи (1) является эффективная точка y^* , для которой достигаются наиболее предпочтительные соотношения (априорно неизвестные) между критериями.

Обозначим

$$\bar{y}_i = \max\{f_i(x) / x \in G\}, \quad i=1, \dots, k. \quad (2)$$

Условимся $\bar{y}_i$ называть оптимальными значениями критериев, а точку $\bar{y} = (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_k)$ в пространстве критериев Y — идеальной. Последний термин связан с тем, что точка $\bar{y}$, как правило, недостижима.

Диалоговый процесс принятия решения в системе представляет собой итеративное взаимодействие между ЛПР и ЭВМ, при этом каждая итерация состоит из двух шагов — ЛПР и ЭВМ, выполняемых поочередно. На шаге ЭВМ решается одна из оптимизационных задач, на шаге ЛПР проводится анализ решения и дается задание на его улучшение.

Выбор вида оптимизационных задач обусловлен главным образом наличием дробно-линейных критериев в (1). Вместе с тем этот вид оказался удобным для практической реализации и привычным для ЛПР. В системе используется минимаксная свертка критериев. Если в (1) дробно-линейные критерии отсутствуют, то можно применить традиционную линейную свертку, которая тоже реализована в системе. С целью ускорения счета для минимаксной свертки в системе есть возможность

работать с так называемой ускоренной сверткой, использующей оптимизационную задачу небольшой размерности.

Рассмотрим это подробнее.

Одна из основных задач оптимизации, заложенных в системе, связана с минимизацией «расстояния» до идеальной точки

$$\rho_{\alpha}(y, \bar{y}) = \max \alpha_i \frac{\bar{y}_i - y_i}{\bar{y}_i} \rightarrow \min, y \in Q, \quad (3)$$

где $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_k) \in S_k = \{\alpha : \sum \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0, i = 1, \dots, k\}$. Ее можно записать также в виде: найти

$$\min_x \{\rho_{\alpha}(f(x), \bar{y}) / x \in G\}. \quad (3')$$

Очевидно, при любом $\alpha \in S_k$ вектор y^{α} — решение задачи (3) — оказывается слабоэффективной точкой (1). Более интересным для нас является, однако, обращение этого свойства: если y^* — слабоэффективная точка (1), то $y^* = y^{\alpha}$ при некотором $\alpha \in S_k$. Таким образом, множество решений задачи (3) при всевозможных $\alpha \in S_k$ совпадает с множеством всех слабоэффективных точек задачи (1). Отмеченное обстоятельство и побудило нас воспользоваться чебышевской метрикой в (3). Заметим, что среди решений задачи (3) обязательно содержится эффективная точка (1), это решение (3) и отыскивается на каждом шаге диалога. Очевидно, выбор в качестве целевой функции оптимизационной задачи линейной свертки

$$\psi_{\alpha}(y, \bar{y}) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \frac{|\bar{y}_i - y_i|}{\bar{y}_i} \quad (4)$$

не позволил бы, вообще говоря, получить все слабоэффективные точки (1), поскольку в числе ее критериев $f_i(x)$ имеются дробно-линейные функции. Другим важным мотивом для выбора оптимизационной задачи в форме (3) является то, что она может быть решена методами линейного программирования, тогда как, скажем, задача $\psi_{\alpha}(y, \bar{y}) \rightarrow \min, y \in Q$, является многоэкстремальной.

В системе заложены также оптимизационные задачи более общего вида, чем (3), позволяющие реализовать идеи целевого подхода и связанные с приближением к заданной точке с желаемыми свойствами. Эти задачи имеют вид

$$\rho_{\alpha}(y, z) = \max_{1 \leq i \leq k} \alpha_i \frac{|z_i - y_i|}{z_i} \rightarrow \min, y \in Q, \quad (5)$$

где $z = (z_1, \dots, z_k)$ — некоторая заданная точка пространства Y , а на веса α_i наложены те же ограничения, что в (3). При $z = \bar{y}$ задача (5) переходит в (3). Геометрический смысл (5) заключается в отыскании точки из множества достижимости Q , ближайшей (в смысле относительной чебышевской метрики с весами α_i) к точке $z = (z_1, \dots, z_k)$, причем среди решений задачи (5) отыскивается эффективная точка.

Оптимизационные задачи типа (3) или (5) могут содержать в целевой функции минимаксную свертку меньшего, чем k , числа критериев. В этом случае ограничение $x \in G$ дополняется ограничениями на некоторые критерии, значения которых ЛПР считает нужным зафиксировать. Приведем пример такой задачи.

Пусть $I = \{1, \dots, k\}$; через I_{Φ} обозначим подмножество I , состоящее из номеров критериев, зафиксированных ЛПР,

$$P = \{x : f_i(x) \geq l_i, i \in I_{\Phi}\},$$

где l_i — зафиксированные ЛПР значения критериев. Тогда соответствующая оптимизационная задача имеет вид

$$\max_{i \in I \setminus I_{\Phi}} \alpha_i \frac{\bar{y}_i - f_i(x)}{\bar{y}_i} \rightarrow \min, x \in G \cap P, \quad (6)$$

где $\alpha = (\alpha_{r_1}, \dots, \alpha_{r_{k-p}}) \in S_{k-p} = \{\alpha: \sum \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0 \forall i \in I \setminus I_\Phi\}$.

Очевидно, 6) эквивалентна задаче

$$t \rightarrow \min, \alpha_i \frac{\bar{y}_i - f_i(x)}{\bar{y}_i} \leq t, i \in I \setminus I_\Phi, \\ f_i(x) \geq l_i, i \in I_\Phi, \\ x \in G. \quad (7)$$

Задача (7) либо ее аналог, в котором идеальная точка $\bar{y}$ заменена на z , решается в системе путем итеративного пересчета параметра t .

Диалоговый процесс принятия решений, заложенный в системе (7), связан с воздействием ЛПР либо на вектор коэффициентов α , либо на точку $\bar{y}$. В результате на каждом шаге диалога корректируется оптимизационная задача, и после ее решения ЛПР получает информацию о новой эффективной точке (1).

На каждом шаге диалога ЛПР, анализируя очередную эффективную точку или несколько таких точек, делает выбор некоторого пути «улучшения» этой точки из предлагаемого ему набора способов (директив), приводящих в другие эффективные точки (1). В системе предусмотрена возможность решения двух типов оптимизационных задач. К первому относятся задачи вида (3), (5), (6), с помощью которых происходит то или иное промежуточное согласование критериев на непустом допустимом множестве. Второй тип связан с проверкой достижимости заданного уровня показателей и устранением несовместности в ограничениях задачи.

Универсальность задач (3), (5), (6) позволяет ЛПР реализовать большое число стратегий в управлении процессом решения. Перечислим некоторые из них.

ЛПР может давать указание ЭВМ на получение новой эффективной точки, воздействуя только на вектор α , т. е. фиксируя по-разному приоритетность критериев. При этом система дает возможность задать с экрана либо числовые значения α_i , либо нечисловую информацию об изменении весов α_i по сравнению с их значениями на предыдущем шаге. Например, ЛПР принимает решение «немного» увеличить (уменьшить) значимости каких-либо критериев или выделяет некоторые критерии как особо значимые (приоритетные) по сравнению с остальными. Таким образом, ЛПР получит новые эффективные точки, используя только стратегии корректировки вектора α . Как уже отмечалось, ЛПР может зафиксировать некоторые достигнутые значения критериев и решать оптимизационную задачу типа (6) со сверткой меньшего числа критериев. Стратегии этого типа позволяют ЛПР реализовать, например, шаги с поочередной фиксацией критериев, метод последовательных уступок и т. п. Воздействуя на вектор $\bar{y}(z)$, ЛПР получит приближения к каким-то предпочитаемым им наборам значений критериев.

Второй тип задач дает возможность проверить совместность различных вариантов систем, составленных из исходной задачи. Эти задачи являются полезным инструментом для ЛПР-экономиста; с помощью их решения можно, например, проверить реальность запланированных показателей. Обозначим через l_i заданные уровни значений показателей $f_i(x)$. Тогда соответствующая задача заключается в проверке совместности системы

$$f_i(x) \geq l_i, i=1, \dots, k, x \in G. \quad (8)$$

Пусть G определяется системой линейных ограничений

$$g_s(x) \leq g_s^0 \quad \forall s \in R = \{1, \dots, r\}.$$

Обозначим через R_s некоторое подмножество номеров ограничений R , а через I_Φ — подмножество I номеров критериев с зафиксированными

значениями l_i . Тогда задача второго типа в общем виде состоит в проверке совместности системы

$$f_i(x) \geq l_i \quad \forall i \in I_\Phi, \quad (9)$$

$$g_s(x) \leq g_s^0 \quad \forall s \in R_s.$$

В случае несовместности системы (9) ЛПР может либо сам изменить ее правые части, либо они определяются из решения задач типа (6). В последнем случае ЛПР предоставляется возможность одновременно корректировать правые части ограничений и желаемые уровни критериев.

Для (1), в которой все критерии линейны, в системе предусмотрено использование линейной свертки критериев (4). Оптимизационные задачи (3) и (5) для линейной свертки превращаются в (3*) и (5*)

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i \frac{\bar{y}_i - f_i(x)}{\bar{y}_i} \rightarrow \min, \quad x \in G, \quad (3^*)$$

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i \frac{z_i - f_i(x)}{z_i} \rightarrow \min, \quad x \in G. \quad (5^*)$$

Для линейных критериев можно пользоваться также минимаксной сверткой, при этом задача (7) решается не итеративным способом по параметру t , а как одна задача линейного программирования.

Введем понятие *первой компромиссной точки* $\hat{y} = (\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_k)$, являющейся решением задачи (3) при задании одинаковых весов $\alpha_i = 1/k$

$$\max_{1 \leq i \leq k} \frac{\bar{y}_i - f_i(x)}{\bar{y}_i} \rightarrow \min, \quad x \in G, \quad (10)$$

причем $\hat{y}$ — эффективная точка. Диалог с ЛПР система начинает с показа точки $\hat{y}$.

Как уже упоминалось, в системе введена ускоренная свертка, успешно применяемая, например, для предварительной оценки характера зависимостей показателей друг от друга, предварительной прикидки стратегий ЛПР и т. п. Включение ускоренной свертки оправдано тем, что на некоторых шагах диалога ЛПР вполне может удовлетворить неточный ответ ЭВМ. В этом случае задачи типа (3) или (5) решаются не на всем множестве Q , а на некотором его подмножестве Q_β . Простым вариантом Q_β является выпуклая комбинация значений векторного критерия $f(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$ на k оптимальных планах $\bar{x}^i$, соответствующих оптимальным значениям критериев $\bar{y}_i$ (2), и первой компромиссной точкой $\hat{y}$

$$Q_\beta = \left\{ y_\beta : y_\beta = \sum_{i=1}^k \beta_i f(\bar{x}^i) + \beta_{k+1} \hat{y}, \sum_{i=1}^{k+1} \beta_i = 1, \beta_i \geq 0 \right\}. \quad (11)$$

В системе допускается динамическое наращивание вершин Q_β добавлением эффективных точек, получаемых ЛПР в качестве ответа на свои предыдущие действия. Отметим, что при использовании ускоренной свертки реакции ЭВМ на запросы ЛПР становятся мгновенными. Решение оптимизационной задачи типа (3) или (5) на множестве Q или Q_β не всегда служит эффективной точкой, поэтому в системе предусмотрена ее доэффективизация.

Доэффективизация дает возможность получать эффективную точку из решения $y = (y_1, \dots, y_k)$ оптимизационной задачи типа (3) или (5). В этой процедуре фиксируются сначала достигнутые значения $y_2, \dots, y_k$, а первый критерий $f_1(x)$ максимизируется. Затем новое значение первого критерия фиксируется, как и значения $y_3, \dots, y_k$ критериев с 3-го до k -го, а второй критерий $f_2(x)$ максимизируется и т. д. В результате k шагов однокритериальной максимизации получается эффективная точка, не худшая, чем y .

2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Диалоговая система анализа многокритериальных задач ДИСАМЗ для ЭВМ ЕС 1035—1060 является проблемно ориентированной, адаптивной к различным условиям. Она применима для анализа любых экономико-математических моделей с линейными ограничениями и дробно-линейными и линейными критериями. Для работы с ДИСАМЗ эксперту не нужны посредники, так как система самообучающаяся: овладеть способами введения диалога помогают справочные инструкции, выдаваемые на экран дисплея. ДИСАМЗ показывает на экране в наглядной форме результаты решения, ведет диалог и принимает с экрана директивы, направляемые ЛПР после анализа результатов.

Система представляет собой набор процедур, написанных на языке ПЛ/1, в качестве терминала используется ЕС 7920. При разработке системы авторы ставили перед собой задачу не только учесть современные требования к качеству оптимизационных процедур, дающих быстрые ответы на запросы ЛПР. Основной задачей было создание дружественного интерфейса с ЛПР, разработка собственных средств телекоммуникации, компенсирующих недостаточно развитые в ОС ЕС средства поддержки диалога с пользователем. Последующие версии системы для ПЭВМ сделали ее доступной для самого широкого круга пользователей. Фактически интерактивные возможности ДИСАМЗ на ЕС приближаются к уровню, ставшему стандартным для ПЭВМ. Основные структурные элементы системы — блоки относительно независимы, и в ходе диалога имеется возможность работать с блоками в любой желаемой последовательности.

Опишем кратко функции блоков системы ДИСАМЗ для ЕС ЭВМ.

Блок формирования объекта строит модель: систему ограничений, набор линейных и дробно-линейных критериев, а также соответствующие описания. Пользователь может иметь свою информационную базу данных (БД), написать соответствующий интерфейс и войти в ДС либо структурировать свои данные под имеющиеся в ДС интерфейсные модули. БД может содержать различные варианты модели. Блок формирования объекта доступен ЛПР для корректировки исходной модели с дисплея, а также для выбора некоторых параметров управления процессом решения задачи, если квалифицированного пользователя не устраивают значения этих параметров, предусмотренные по умолчанию.

Следует отметить, что средства подготовки и корректировки исходной модели в ДИСАМЗ сближают ее с развитыми промышленными пакетами решения прикладных задач, такими, как ЛП АСУ, СПО МПР-2 и др. Особенность ДИСАМЗ — возможность диалогового просмотра и корректировки всех величин, входящих в модель: матрицы исходных ограничений, вектора правых частей, векторов нижних и верхних границ на переменные, векторов числителей и знаменателей критериев и т. д. Все величины исходной модели имеют имена, причем в ДИСАМЗ можно корректировать соответствующие величины модели в диалоге путем вызова их по именам на экран. Не перечисляя здесь все способы корректировки модели в диалоговом режиме, отметим лишь самые существенные на наш взгляд: из исходной модели можно вычленить «модельный» файл меньшей размерности, а в «модельный» файл — добавить новые ограничения и критерии.

Блок вычисления идеальной точки последовательно решает k задач линейного или дробно-линейного программирования

$$f_i(x) \rightarrow \max, \quad x \in G, \quad i=1, \dots, k,$$

где

$$f_i(x) = \begin{cases} \frac{c_0^i + (c^i, x)}{d_0^i + (d^i, x)} & \text{для дробно-линейных критериев,} \\ c_0^i + (c^i, x) & \text{для линейных критериев,} \end{cases} \quad (12)$$

$$G = \{x : \underline{b} \leq Ax \leq \bar{b}, \underline{x} \leq x \leq \bar{x}\}, \quad (13)$$

$\underline{x} = (\underline{x}_1, \dots, \underline{x}_n)$, $\bar{x} = (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$ — заданные ограничения снизу и сверху на план x , причем $\bar{x}_l \geq x_l \geq 0$, $l=1, \dots, n$, $d^i \geq 0$, $d_0 \geq 0$.

Оптимальные значения критериев этих задач в (2) выражены $\bar{y}_i$. Обозначим оптимальный план задачи i через $\bar{x}^i$. ЛПР сможет увидеть на экране значения $\bar{y}_i$ — координаты идеальной точки, а также таблицу. Эта таблица позволит ему сопоставить k эффективных точек. Она имеет k строк и k столбцов. Каждый столбец i таблицы, $i=1, \dots, k$, соответствует оптимальному плану $\bar{x}^i$ и содержит значения всех показателей на этом плане, отнесенные к их максимальным значениям $\bar{y}_i$, в %. Например, если первый столбец содержит числа 100,0, 86,5, 94,4, 34,9, 99,9, 13,2, то это значит, что на оптимальном плане $\bar{x}^1$ первый показатель достигает 100% от $\bar{y}_1$, второй — 86,5% от $\bar{y}_2$, т. е. $f_2(\bar{x}^1) = 0,865\bar{y}_2$, и т. д., шестой — 13,2% от $\bar{y}_6$.

После вычисления отмеченной таблицы система выбирает среди $\bar{x}^i$ точку, у которой максимальное отклонение показателей от соответствующих координат идеальной точки минимально. Отправляясь от этой точки, отыскиваем первую компромиссную точку решением задачи (10). Найденная эффективная точка выдается на экран в виде отношений ее компонент к соответствующим компонентам точки $\bar{y}$, в %. С этой точки ЛПР начинает диалог с системой.

Блок оптимизации является процедурой симплексного типа, предназначенной для решения задачи линейного или дробно-линейного программирования, а также для проверки совместности системы линейных неравенств. Процедура позволяет начинать работу с любой начальной точки (в том числе недопустимой), а также с заданного базиса.

Блок формирования и решения директивной задачи составляет и решает одну из задач типа (3), (5), (6) или (9) в соответствии с заданием, полученным от ЛПР.

Блок диалога выполняет две основные функции — визуализацию результатов и передачу директив ЛПР с экрана в блок формирования. Система в процессе диалога предлагает два типа кадров для ЛПР: рабочий или справочный. Текущее решение — эффективная точка $y = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$ из множества допустимости Q — выдается на рабочем кадре в виде столбца из k чисел, каждое из которых является отношением текущего показателя к его максимальному значению, %.

Способ ведения диалога ЛПР — ЭВМ — директивный. После анализа очередной текущей эффективной ЛПР выбирает директиву, соответствующую его предпочтениям. В системе заложен широкий набор директив, которые по выполняемым ими функциям можно разделить на четыре группы: директив формирования и корректировки исходной модели; получения справочной информации; управления ходом решения; выдачи на печать выходных документов.

Справочные кадры служат двум целям: с одной стороны, они обучают ЛПР диалогу, объясняя средства диалога и способы его ведения, с другой — предоставляют ЛПР разного рода числовую информацию, помогающую ему «вспомнить», например, особенности своей модели, ее исходные параметры в содержательных терминах, сравнить текущее решение с предельными возможностями модели или с базовыми значениями соответствующих показателей, чтобы оценить реалистичность своих намерений и выбрать путь для дальнейшего улучшения решения. На каждом рабочем кадре дается подсказка, как вызвать кадр справочника help, где перечислены виды справочной информации и способы вызова той или иной справки. Содержание кадра справочника приведено в табл. 1.

О директивах корректировки исходной модели кратко упомянуто в описании блока ее формирования. Они предоставляют ЛПР обширный сервис по корректировке модели, ее содержательных терминов и даже текстов на рабочих кадрах экрана системы.

Для перехода к следующему (рабочему) кадру нажмите клавишу ВВОД

Внимание: на рабочем кадре в левом верхнем углу наберите:

Букву «Д» для вызова на экран директив (меню) диалога

Букву «И» для вызова на экран компонент идеальной точки

Букву «Б» для вызова на экран и возможного изменения базовых значений показателей

Букву «П» для получения оптимального плана этой итерации диалога

Букву «Ф» для выдачи результатов в выходной файл

Букву «У» для вызова на экран текущих значений параметров

Букву «З» для вызова на экран текущих значений показателей в абсолютных единицах

Букву «К» для вызова на экран оптимизируемых и отслеживаемых показателей вместе с их именами

Наличие буквы «П» в правом нижнем углу любого кадра означает печать этого кадра на АЦПУ.

Таблица 2

← Выбирайте режим дальнейшей работы. Для этого наберите перед стрелкой его номер и затем нажмите клавишу ВВ.

- 1 — «запомнить только что полученный» результат (показатели и план) с его номером
- 2 — восстановить на рабочем кадре ранее полученный и записанный результат по его номеру
- 3 — отпечатать копию рабочего кадра на АЦПУ
- 4 — плавно изменить коэффициенты значимости показателей, фиксировать некоторые показатели
- 5 — резко выделить значимость отдельных показателей, фиксировать некоторые показатели
- 6 — задать коэффициенты значимости показателей с рабочего кадра
- 7 — проверить совместность заданной вами системы значений показателей
- 8 — решить новую задачу со сверткой и заданными с экрана показателями
- 9 — закончить сеанс
- 10 — перейти в режим корректировки исходной информации: продолжение сеанса
- 0 — вернуться к просмотру только что полученной информации

Остановимся на директивах, управляющих процессом решения задачи. Они представлены в системе на справочном кадре директив вместе со способами их осуществления (табл. 2).

Исполнение директивы (передачу ее ДС) ЛПР производит с рабочего кадра, где перед ним — текущие показатели и параметры. Остановимся кратко на некоторых управляющих директивах.

Директива 4 дает возможность ЛПР с экрана выбрать показатели, значимость которых он хотел бы «немного» увеличить или уменьшить, а для части показателей ее можно оставить неизменной. При этом ЛПР может потребовать фиксации значений некоторых показателей (т. е. их неумения в новой эффективной точке).

Обозначим подмножества множества I , отвечающие этим четырем требованиям ЛПР, через I_0 , I_m , I_p и I_Φ соответственно. Тогда ответом ДС на директиву 4 будет решение задач вида (6), где $\alpha_i = \alpha_i'' / \sum \alpha_i'' \quad \forall i \in I \setminus I_\Phi$,

$$\alpha_i' = \begin{cases} \alpha_i' r, & \text{если } i \in I_0, \\ \alpha_i' / r, & \text{если } i \in I_m, \\ \alpha_i', & \text{если } i \in I_p, \end{cases}$$

α_i' — предыдущие значения коэффициентов значимости. Параметр r задается либо ЛПР, либо ДС (по умолчанию).

Директива 5 дает возможность ЛПР разбить все показатели на три группы: 1) приоритетные; 2) с фиксированными значениями; 3) практически игнорируемые.

Обозначим множество резко выделяемых показателей через $I_{\text{в}}$, а зафиксированных — через $I_{\text{ф}}$. Тогда на директиву 5 ДС отвечает решением задачи (6), где

$$\alpha_i = \alpha_i'' / \sum \alpha_i'' \quad \forall i \in I \setminus I_{\text{ф}},$$

$$\alpha_i'' = \begin{cases} \alpha_i' R, & \text{если } i \in I_{\text{в}}, \\ \alpha_i', & \text{если } i \in I \setminus \{I_{\text{в}} \cup I_{\text{ф}}\}. \end{cases}$$

Параметр $R \gg 1$ задается либо ЛПР, либо ДС (по умолчанию).

Директива 6 позволяет ЛПР с экрана дать значения всем коэффициентам α_i , чтобы задать желаемую приоритетность показателям в новой эффективной точке. В ответ ДС решает задачу (3) или (5).

С помощью директивы 7 ЛПР проверяет наличие плана, реализующего заданный набор значений показателей. На экране значения показателей записываются в относительном виде $(l_i/\bar{y}_i)$ 100%, где l_i — абсолютные значения показателей. ДС выясняет совместность системы (8). В случае ее несовместности (плана нет — задание нереально) ЛПР может: 1) изменить l_i на экране и проверить совместность новой системы; 2) выполнить директиву 8, которая позволит найти ближайшую к заданной эффективную точку.

Используя директиву 8 и имея некоторый набор показателей z , ЛПР может отыскать ближайшую к нему эффективную точку. Другими словами, ЛПР задает на экране относительные значения показателей вида $(z_i/\bar{y}_i)$ 100% и некоторый набор коэффициентов α_i . ДС в качестве ответа на директиву 8 выдает решение задачи (5). Возможно задание показателей в виде абсолютных значений и отношений к некоторым базовым значениям (см. разд. 3).

3. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСАМЗ

Проиллюстрируем некоторые шаги диалогового процесса на небольшой конкретной модели.

Производственное объединение (ПО) руководствуется рядом экономических показателей, таких, как объем, подсчитанный в нормативно-чистой продукции (ЧП), балансовая прибыль (БП), доля изделий высшей категории качества в общем объеме продукции (ВК), затраты на 1 руб. товарной продукции (ЗА). При этом оно, естественно, стремится максимизировать первые три и минимизировать четвертый показатель, оставаясь в рамках, определяемых ресурсными ограничениями и плановыми заданиями.

Обычно в практике предпланового анализа известны примерные плановые задания по выпуску

$$Q = (Q_1, \dots, Q_N), \quad (14)$$

которые дают базовые значения y_i^0 всех показателей

$$y_1^0 = f_1(Q), \dots, y_k^0 = f_k(Q). \quad (15)$$

На ПО выбрана основная номенклатура продукции — N (149 изделий), существенным образом влияющая на экономические показатели его деятельности. Переменными x_j , $j=1, \dots, 149$, являются выпуски продукции (количество изделий в штуках). Для каждого изделия задавались уровни (удельные значения) материало- и трудоемкости, затрачиваемые на выпуск одного изделия. Значения этих уровней для изделия j определяет столбец j в условиях (13).

В модели учитывались $M=23$ укрупненных объема ресурсов в стоимостном выражении, из них 10 ограничений на сырье и материалы и 13 — на трудоемкость. Правые части $\bar{b}_1, \dots, \bar{b}_{23}$ в (13) заданы равными тем ресурсам, которые требуются для производства ассортиментного выпуска Q

$$\bar{b}_i = \sum_{j=1}^{149} a_{ij} Q_j, \quad i = 1, \dots, 23. \quad (16)$$

Таблица 3

Корректировка общих объемов ресурсов и включаемых в модель ограничений. Для включения в модель поставьте признак = +, для исключения из модели — признак = —

Признак	Объем ресурса	Наименование ресурса
+1	35 472	твердоизоляторы
+2	14 636	пластмасса
+3	127 235	магнитопроводы
+4	1 483 263	обмот изоляции
+5	57 360	малый сварочный
+6	114 843	большой сварочный
+7	122 935	механосборочный
+8	60 430	сбор средних транс.
+9	117 632	сбор крупных транс.
+10	22 728	тароупаковочный
+11	826 678	всего труд. затрат
+12	165 243	литье
+13	10 829 871	прокат чермет
+14	6 445 465	электросталь
+15	70 614	трубы
+16	324 727	прокат цветмет

Для продолжения нажмите ввод, для конца просмотра наберите букву К за стрелкой и нажмите ввод

Таблица 4

Электрозавод

Таблица относительных значений показателей (в %) к максимумам или минимумам

	1	2	3	4	5	
1 ЧП объем НЧП	100	98	97	96	88	MAX
2 БП балансовая прибыль	99	100	100	99	85	MAX
3 ЭФ пархоз. эффект	88	90	100	94	78	MAX
4 ВК удельный вес ВКК	88	93	96	100	92	MAX
5 Затраты на 1 руб. ТП	101	101	101	101	100	MIN

Для продолжения нажмите ввод

Специфика работы ПО связана с довольно лимитированными возможностями в варьировании ассортиментным выпуском, поэтому нижние $\underline{x}_j$ и верхние $\bar{x}_j$ границы выпуска обычно задаются в узких пределах от Q_j . В модели для крупносерийных изделий они предусмотрены на интервале $[0,9 \cdot Q_j; 1,1 \cdot Q_j]$, а для мелкосерийных — либо в виде строгих равенств ($x_j = \bar{x}_j = Q_j$), либо на довольно широком интервале (например, для некоторого изделия при $Q_j = 3$, $\underline{x}_j = 2$, $\bar{x}_j = 5$).

Для оценки согласования хозрасчетных интересов ПО с народнохозяйственными в модель введен пятый показатель — народнохозяйственный эффект (ЭФ), который максимизировался. Критерии ЧП, БП, ЭФ заданы линейными функциями от x , а ВК и ЗА — дробно-линейными.

Модель записана в виде наборов текстовых и числовых файлов, включающих имя задачи, имена изделий, ресурсов, критериев, а также некоторых текстовых сообщений. Числовая информация частично приведена в [2].

Как было отмечено, система имеет разнообразные директивы для общения с модельной информацией через экран. В табл. 3 приведен пример кадра с информацией о правых частях (16), на котором можно выполнить, например, корректировку этих величин.

В начале работы ДИСАМЗ на экране дисплея появляется кадр (табл. 4) с именем задачи, именами показателей (критериев) и таблицей относительных значений показателей (в %) на оптимальных планах, соответствующих максимальным значениям критериев.

Текущее решение				
	имена	к базе	альфа	к идеалу
1	ЧП/МАХ	108,8%	0,25	98,0%
2	БП/МАХ	102,6%	0,25	98,7%
4	ВК/МАХ	112,8%	0,25	97,9%
5	ЗА/МИ	98,2%	0,25	100,9%
	ЭФ/П	115,7%		96,5%
реально				
(Ближайшее решение к идеальным значениям показателей)				
Максимальная свертка				
Для вызова справочника команд наберите «С» или «S» в левом верхнем углу кадра.				
Для продолжения нажмите ввод				

Таблица 6

Таблица значений показателей	Идеальные МАХ/MIN	Базовые	Текущие
1 А ЧП объем НЧП	4 407 652	3 970 227	4 419 499
2 А БП балансовая прибыль	9 247 145	8 918 005	9 127 361
3 П ЭФ нар. хоз. эффект	1 733	1 446	1 674
4 А ВК удельный вес ВКК	0,691	0,601	0,677
5 И затраты на 1 руб. ТП	0,829	0,851	0,837
Для продолжения нажмите ввод			

В первом числовом столбце этого кадра, следующем за именем показателей, стоят относительные значения критериев на оптимальном плане $\bar{x}^1$, реализующем максимальный объем производства (ЧП): $\bar{y}_1 = \max f_1(x)$, $x \in G$. На этом плане балансовая прибыль (БП) достигает 99% своего максимума $\bar{y}_2$, народнохозяйственный эффект (ЭФ) — 88% от $\bar{y}_3$, удельный вес ВК — 88% от $\bar{y}_4$ и затраты на 1 руб. товарной продукции — 101% своего минимума $\bar{y}_5$. Аналогично второй столбец содержит относительные значения критериев на плане $\bar{x}^2$, реализующем максимум балансовой прибыли $\bar{y}_2$, и т. д.

Далее система на рабочий кадр для ЛПР выдает первую компромиссную точку (табл. 5).

На кадре отражен результат решения задачи (7) (или (3)) при $\alpha_i = 0,25$. При запуске ДИСАМЗ показатель ЭФ просто отслеживался, а не максимизировался. В столбце «к идеалу» стоит решение, отнесенное к идеальным значениям, т. е. $(f_i(x)/\bar{y}_i) 100\%$, $i = 1, \dots, 5$; в столбце «к базе» — отнесенное к базовым значениям показателей (15), %.

Для того чтобы увидеть полученные данные в реальных единицах, ЛПР может вызвать справочную таблицу о величинах идеальных значений, базовых и полученного первого компромиссного решения (табл. 6).

Анализ решения вызывает у ЛПР желание немного увеличить показатель ВК за счет небольшого ухудшения остальных показателей. Для реализации своей стратегии ЛПР, просматривая кадр директив, управляющих решением задачи (табл. 2), выбирает, например, четвертую — плавно изменять коэффициенты α_i , причем по подсказке системы ЛПР на рабочем кадре букву Б ставит у показателя ВК, а буквой М отмечает показатели, значения которых он согласен ухудшить. Ответом на эту директиву ДИСАМЗ выдала рабочий кадр (табл. 7).

Из табл. 7 видно, что увеличить ВК на 0,6% от его максимума удалось за счет уменьшения ЧП на 0,2% от $\bar{y}_1$, БП на 0,01% от $\bar{y}_2$ и увеличения ЗА на 0,016 от $\bar{y}_5$. Для анализа полученного решения можно привлекать различные справочные таблицы с числовыми массивами, снабженные содержательными текстами.

Текущее решение				Предыдущее решение			
к базе	альфа	к идеалу	имена	к базе	альфа	к идеалу	
1 108,6	0,22	97,8	ЧП/МАХ	108,8%	0,25	98,0%	
2 102,5	0,22	99,2	БП/МАХ	102,6%	0,25	99,2%	
4 113,4	0,33	98,5	ВК/МАХ	112,8%	0,25	98,0%	
5 98,3	0,22	100,8	ЗА/MIN	98,2%	0,25	100,9%	
3 116,6		97,3	ЭФ/П	115,669		96,521	
реально							
(Ближайшее решение к идеальным значениям показателей)							
Максимальная свертка							
Для вызова справочника команд наберите «С» или «S» в левом верхнем углу кадра							
Для продолжения нажмите ввод							

Мы ограничились здесь описанием лишь одного примера директив, управляющих решением задачи. Более подробное описание можно найти в [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.
2. Борисова Э. П., Дубсон М. С., Ланцова Н. И., Татевосян Г. М. Машинные эксперименты с системами хозяйственного механизма на основе модели «Согласование интересов»//Измерение эффективности НТП. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1985.
3. Гольштейн Е. Г., Борисова Э. П., Дубсон М. С. Диалоговая система векторной оптимизации с дробно-линейными критериями и линейными ограничениями//Wissenschaftliche Zeitschrift. Ilmenau. 1984. Н. 5.

Поступила в редакцию
1 X 1987