кцией $\mu_c(x)$ естественным порядком на R'. Чтобы найти альтернативы задачи (8) — (9), степень недоминируемости которых не меньше α, необходимо решить задачу вида

$$f(x_{ij}, C'_{ij}) \to \max \tag{10}$$

при ограничениях

$$\varphi_i(x_{ij}, a_{ij}) \leqslant 0, \ i = \overline{1, m+n}, \ j = \overline{1, mn+1}; \tag{11}$$

$$x_{ij} \geqslant 0, \ i = \overline{1, m+n}, \ j = \overline{1, mn+1}; \tag{12}$$

$$\theta_{ij}(a_{ij}) \geqslant \alpha, \ i = \overline{1, m+n}, \ j = \overline{1, mn+1}; \tag{13}$$

$$\varkappa_{ij}(C'_{ij}) \geqslant \alpha, \ i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n}. \tag{14}$$

Наличие ограничений вида (13) — (14) указывает на то, что при поиске альтернатив, недоминируемых со степенью α, следует учитывать только те значения реализаций параметров задачи (1) — (4), которые принадлежат исходным нечетким множествам со степенью, не меньшей α.

Полученные в результате решения задач (8) — (9) и (10)—(14) оптимальные планы направляются к лицу, принимающему решение. Им осуществляется выбор рационального варианта.

Список литературы: 1. *Орловский С. А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации.— М.: Наука, 1981.— 208 с. 2. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с фр.— М.: Радио и связь, 1982.— 432 с. 3. *Голоскоков А. Е., Емельянов В. И., Гиттик Ю. Л.* Об одном подходе к решению распределительной задачи большой размерности.— Науч. тр. / ГосНИИГА, 1977, вып. 149, с. 63—68.

Поступила в редколлегию 03.10.83.

УДК 629.734

М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
Н. П. ЧЕРНЫШЕВА,
А. В. НИКИФОРОВ

АЛГОРИТМ РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТИ АЭРОДРОМОВ ПОД СТАРШИЙ ТИП С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА КАПИТАЛЬНЫЕ ВЛОЖЕНИЯ

Объем авиаперевозок ежегодно возрастает, вследствие чего расширяется сеть авиалиний, реконструируются старые и строятся новые аэродромы (АД). Реконструкция АД под старший тип включает в себя перестройку взлетно-посадочных полос, рулевых дорожек, мест стоянок для обеспечения эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) согласно перспективному плану движения самолетов (ППДС) [1]. Рассмотрим алгоритм реконструкции сети АД с учетом ограничений на капитальные вложения.

Пусть задан ППДС, который рассчитан при условии минимума эксплуатационных расходов. Задача заключается в коррекции исходного ППДС и реконструкции сети АД таким образом, чтобы минимально увеличить эксплуатационные расходы с учетом ограничений на капитальные вложения. В этом случае необходимо определить те АД, где экономически целесообразна реконструкция для приема старшего типа ЛА.

В матричной форме задача сводится к следующему: найти максимум целевой функции

$$Z = \boldsymbol{x}^{\mathrm{T}} \Delta S \boldsymbol{x}/2 \qquad (1)$$

при ограничении $\boldsymbol{k}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{x} \leqslant k_{\text{лим}}$ (2), где ΔS — неотрицательная симметричная матрица, элементами которой являются эксплуатационные расходы, возникающие в результате того, что на соответствующих авиалиниях не введен более тяжелый тип ЛА согласно ППДС; $\boldsymbol{x}$ — булев вектор, определяющий множество АД, где в соответствии с ППДС следует произвести реконструкцию,

$$\boldsymbol{x} = \begin{cases} 0, & \text{если реконструкция не осуществляется;} \\ 1 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$\boldsymbol{k}$ — вектор, его элементы — капитальные вложения для реконструкции каждого АД; $k_{\text{лим}}$ — ограничение на капитальные вложения.

Задача (1) — (2) является задачей квадратичного программирования с булевыми переменными и с одним ограничением. Для ее решения обычно применяется метод сведения к задаче целочисленного линейного программирования с булевыми переменными [2]. Затем модифицированная задача линейного программирования решается одним из методов дискретного программирования [3]. Некоторые из них реализованы в пакете прикладных программ линейного программирования (ППП ЛП) АСУ. Основная трудность, возникающая при использовании описанного подхода, заключается в том, что при увеличении размерности задачи n количество модифицированных неизвестных имеет порядок $2n^2$, а число ограничений — порядок n^2. В результате при реальных значениях n, используемых в практических задачах, поиск глобального экстремума затруднен.

Идея предлагаемого метода состоит в следующем. Пусть x — некоторый допустимый вектор, т. е. $\boldsymbol{x}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{k} \leqslant k_{\text{лим}}$. Рассмотрим вектор $\bar{\boldsymbol{x}}_1$, отличающийся от $\boldsymbol{x}$ только тем, что некоторая l-я его компонента равна единице, в то время как l-я компонента вектора $\boldsymbol{x}$ равна нулю. Очевидно, что значение целевой функции, определенной на векторе $\boldsymbol{x}_1$, не меньше, чем на векторе $\boldsymbol{x}$. Увеличив количество отличных от нуля булевых компонент (начиная с нулевого вектора), придем к следующей ситуации: вектор, все компоненты которого равны единице, оптимален; на некотором шаге, меньшем n, будет нарушено ограничение.

Для того чтобы на шаге, предшествующем выходу за ограничение, обеспечить глобальный максимум целевой функции, предлагается каждый шаг алгоритма (добавление одной единичной компоненты) осуществлять таким образом, чтобы увеличение целевой функции было наибольшим. Если в процессе перебора возникнет нарушение ограничения на некотором векторе, то этот вектор не принимается к дальнейшим вычислениям. Если же на некотором шаге алгоритма прибавление единичной компоненты вектора не увеличивает значения целевой функции, необходимо расширить шаг алгоритма. Расширение заключается в проверке значений целевой функции на векторах x_2, отличающихся от вектора x двумя дополнительными единицами на тех местах, где у x были нули. Аналогично следует поступать и тогда, когда добавление двух единичных компонент не дает увеличения значения целевой функции.

Применение предложенного метода значительно сокращает объем оперативной памяти ЭВМ, необходимый для запоминания исходной информации и решения задачи. Верхняя граница общего числа арифметических операций рассчитывается по формуле $n(n+1)(n^2+n+2)/2$, где n — размерность задачи. Контрольный пример был просчитан на ЭВМ ЕС-1033; при $n=100$ время работы центрального процессора составило восемь минут. Программы, реализующие данный метод, написаны на алгоритмическом языке $PL/1$. При использовании тестовых примеров с размерностью пять, семь и десять получено соответствие с результатами решения задачи методом, реализованным в ППП ЛП АСУ. Сравнение результатов при больших n затруднено, так как стандартный метод неприменим для решения задач реальных размерностей.

Список литературы: 1. *Методика* расчета пропускной способности аэропортов различных классов / ГосНИИГА.— М.: Б. и., 1977.— 60 с. 2. *Митев И. Г.* Модификация метода ветвей и границ для решения задач нелинейного целочисленного программирования.— Сообщ. ОИЯИ, 1976, Р11-9557, с. 1—10. 3. *Ляшенко И. Н., Карагодова Е. А., Черникова Н. В., Шор Н. З.* Линейное и нелинейное программирование.— К.: Вища шк. Головное изд-во, 1975.— 372 с.

Поступила в редколлегию 17.10.83.