

## Система моделирования и интеллектуализации задач принятия решений

З.Н. Русакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрен программный инструментальный системы поддержки принятия решений МАТПРОГ. Система является инструментальным средством моделирования и интеллектуализации задач принятия решений. Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение реализует решение поисковых задач на графах, экспертных систем и решателей, задачи линейного программирования, транспортной задачи, моделирование потоков в сетях и определение дерева разрезов сети, оценивание параметров линейных регрессий.*

**E-mail:** z.n.rusakova@mail.ru

**Ключевые слова:** интеллектуализация, моделирование, база знаний, графы, экспертные системы, потоки в сетях, метод потенциалов.

Разработанная система МАТПРОГ — это проблемно-ориентированное средство для автоматизации процесса решения инженерных задач, задач планирования вычислений при логическом синтезе программ, поиска в семантических сетях, описывающих произвольную предметную область. Планирование вычислений на семантической модели предметной области задачи рассматривается как решение задачи поиска пути на графах И-ИЛИ. Данная система включает в себя инструментальное средство для создания баз знаний и системы поиска решений, представляющее собой оболочку для формирования проблемно-ориентированных систем.

Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение позволяет решать следующие прикладные оптимизационные задачи: линейного программирования, транспортную задачу, потоков в сетях, построения деревьев разрезов сети, поисковые задачи на графах, экспертных систем и решателей, оценивания параметров линейных регрессий для заданной матрицы плана и вектора наблюдений.

Формализация описания знаний предметной области осуществляется посредством использования комбинации продукционной модели знаний и семантической сети, а также путем выделения множества информационных параметров и правил продукции для описания модуля знаний. Информационный параметр описывается атрибутивной парой атрибут — значение. Математическая модель предметной области представляет собой совокупность отношений, связанных общими атрибутами. Схеме модели предметной области соответствует семантическая сеть, описываемая графом И-ИЛИ: сеть представляет композицию схем отношений, составляющих модель.

Формализованные знания хранятся в базе знаний, которая формируется в виде списка в динамической памяти, звено соответствует описанию элементарного модуля знаний. В качестве модели модуля используется структура, описывающая интерфейс, содержащий входные и выходные переменные, их свойства, условия применения и перечень действий модуля. Этой модели соответствует правило продукции.

В основу системы логического вывода положен механизм алгоритмов планирования вычислений на семантической модели предметной области, который можно рассматривать как решение задачи поиска пути на графе И-ИЛИ, ведущего из начального состояния в конечное (целевое состояние). Построение дерева решения задачи для заданной цели адекватно решению задачи построения плана.

При использовании этой стратегии в процессе поиска формируются все альтернативные деревья решения. Для формирования деревьев решения, полученных в процессе поиска, разработана структура специального вида, позволяющая выделить из множества деревьев поиска оптимальное дерево решения.

Разработаны и реализованы алгоритмы автоматизации процесса моделирования потоков в сетях, определения наименьшей пропускной способности сетей, моделирования дерева разрезов сети. Решение базируется на методе Форда — Фалкерсона, основное содержание которого заключается в алгоритме поиска дополняющих путей.

Этот метод позволяет определить максимальный поток, величина которого зависит от минимальной пропускной способности разреза, отделяющего сток от истока. Решение задачи обеспечивает итерационный процесс определения максимального потока. На текущем шаге алгоритма формируется дополняющий путь, который используется для увеличения потока.

Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока существует дополняющий путь, по которому можно увеличить величину потока. Максимальный поток зависит от минимальной пропускной способности разреза, отделяющего сток от истока. Решение данной задачи позволяет определить ребра разреза, для чего разработан модифицированный алгоритм поиска, использующий стратегию в ширину в условиях ограничения на выбор потомков.

Описание структуры графов основано на представлении в виде динамического списка: звено списка содержит описание ребра графа. Для минимального описания ребра сети используются следующие основные параметры:  $i, j$  — номера узлов, инцидентных ребру;  $r$  — стоимость ребра.

Файл описания можно создать в двух режимах — текстовом и графическом. Графический интерфейс позволяет отобразить граф сети и ветви минимального разреза. Графическое описание создают в окне графического редактора: выбирают опцию «Создать графическое описание сети», после чего открывается окно графического ре-

доктора. Создание графа начинается с ввода всех вершин графа, при этом осуществляется их нумерация и подсчет. Режим ввода вершин или ребер переключается одноименными кнопками.

К основным структурам и методам иерархии классов решения задачи относят: массив вершин сети, матрицу для хранения полученных в процессе поиска дополняющих путей; массив для хранения вершин дополняющего пути на  $i$ -й итерации и формирования разреза; метод формирования списка вершин пути; метод определения минимального разреза сети. Результаты решения задачи моделирования потоков в сети отображаются в системе как в табличном виде, так и в графическом.

Исходное описание сети с заданными вершинами стока — истока в графическом виде приведено на рис. 1.

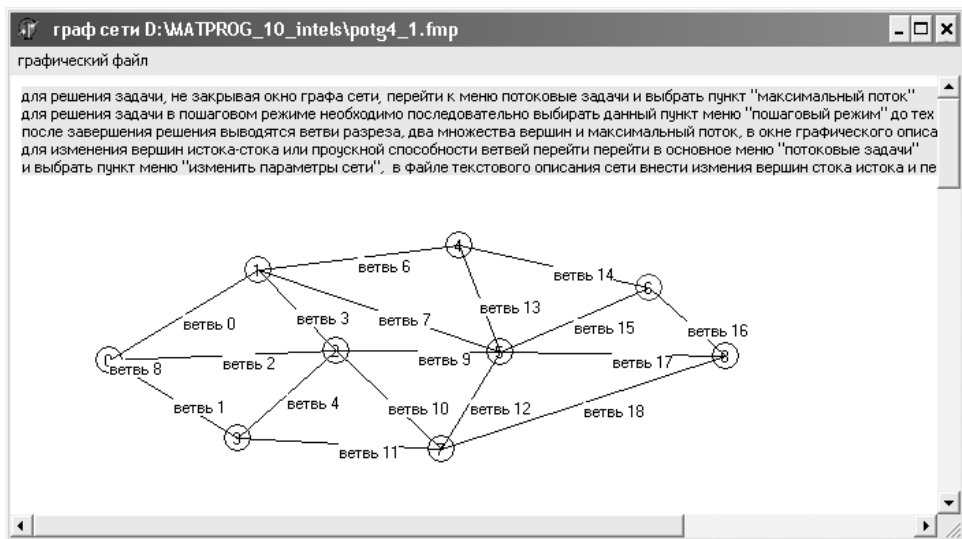


Рис. 1. Исходное описание сети с заданными вершинами стока — истока

Результаты расчета так же, как исходные данные, выводятся на двух вкладках: текстовое описание и графическое описание. В графическом описании (в редакторе) ветви, входящие в минимальный разрез, выделяются при выводе красным цветом, вершина истока — синим, стока — красным цветом. Отсюда можно определить множества вершин, относящихся к истоку и стоку (A и B). Разработанный графический интерфейс отображает граф результата, в котором ветви разреза выделены красным цветом (рис. 2).

На другой вкладке приводится числовое (текстовое) описание результатов (рис. 3), в котором для каждой ветви выводится следующая информация: пропускная способность; поток; остаточная пропускная способность, равная нулю для ветвей разреза. Далее отображаются вершины, принадлежащие ветвям разреза, и величина максимального потока.

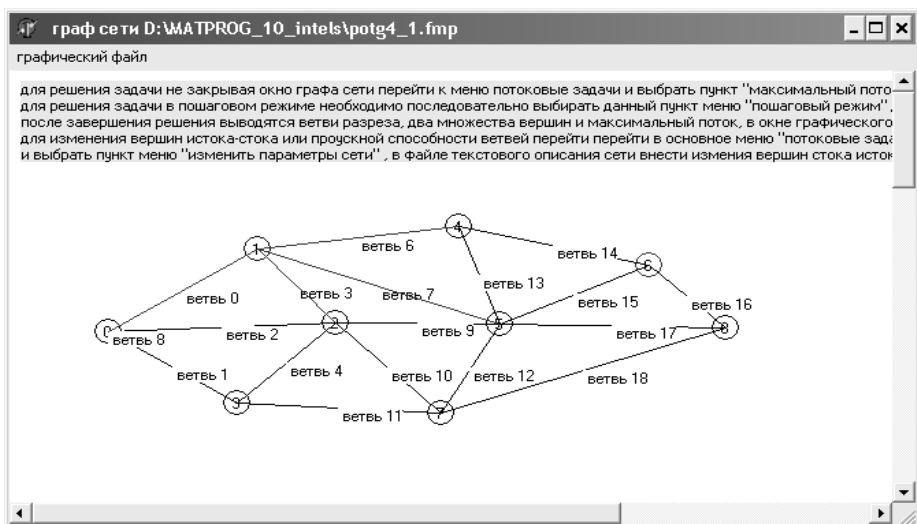


Рис. 2. Графический интерфейс для отображения графа результата

Симплекс-метод    Транспортная задача    Поточковые задачи    Сетевые задачи    Матричные игры    Справка

решение задачи 5    описание каждой ветви графа, вершины истока, стока

| N ветвей      | Начальный узел | Конечный узел      | Пропускная способность ребра R | Поток F    | C=f-f |
|---------------|----------------|--------------------|--------------------------------|------------|-------|
| 0             | 0              | 1                  | 4                              | 4          | 0     |
| 1             | 0              | 3                  | 10                             | 4          | 6     |
| 2             | 0              | 2                  | 8                              | 0          | 8     |
| 3             | 1              | 2                  | 2                              | 2          | 0     |
| 4             | 2              | 3                  | 5                              | 0          | 5     |
| 5             | 0              | 0                  | 0                              | 0          | 0     |
| 6             | 1              | 4                  | 2                              | 2          | 0     |
| 7             | 1              | 5                  | 7                              | 7          | 0     |
| 8             | 0              | 0                  | 0                              | 0          | 0     |
| 9             | 2              | 5                  | 3                              | 2          | 1     |
| 10            | 2              | 7                  | 6                              | 0          | 6     |
| 11            | 3              | 7                  | 6                              | 4          | 2     |
| 12            | 7              | 5                  | 6                              | 0          | 6     |
| 13            | 4              | 5                  | 6                              | 6          | 0     |
| 14            | 4              | 6                  | 11                             | 8          | 3     |
| 15            | 5              | 6                  | 3                              | 3          | 0     |
| 16            | 6              | 8                  | 10                             | 4          | 6     |
| 17            | 5              | 8                  | 8                              | 0          | 8     |
| 18            | 7              | 8                  | 5                              | 4          | 1     |
| istok-stok    | 1              | 6                  |                                |            |       |
|               |                |                    |                                |            |       |
| N вершин граф | Вершины графа  | N доп. путей       | Дополняющие пути               | Дополняющи |       |
| 0             | 0              | 1                  | 6 > 4 > 1 >                    | 2          |       |
| 1             | 1              | 2                  | 6 > 5 > 1 >                    | 3          |       |
| 2             | 2              | 3                  | 6 > 4 > 5 > 1 >                | 4          |       |
| 3             | 3              | 4                  | 6 > 4 > 5 > 2 > 1 >            | 2          |       |
| 4             | 4              | 5                  | 6 > 8 > 7 > 3 > 0 > 1 >        | 4          |       |
| 5             | 5              |                    | Максимальный поток:            | 15         |       |
| 6             | 6              | Множество A(исток) | 1                              |            |       |
| 7             | 7              | Множество B(сток)  | 2 3 4 5 6 7 8 9 0              |            |       |

Status:

Рис. 3. Числовое описание результатов моделирования потока в сети

В системе реализованы алгоритмы моделирования поисковых задач в графах, использующих алгоритмы Дейкстры и Флойда, которые определяют все кратчайшие пути в графе.

В качестве одного из инструментальных средств моделирования и анализа ситуаций принятия решений в интеллектуальных системах принятия решений используются методы линейного программирования, имеющие много практических приложений. В описываемой системе реализовано решение следующих задач: симплекс-метода, транспортной задачи, потоков в сетях, поисковых задач в графах. Интерфейс программы для моделирования этих задач рассмотрен далее.

Решением транспортной задачи является определение оптимального плана перевозок от  $m$  источников к  $n$  стокам при минимальной стоимости. План описывается матрицей планирования.

По математическому описанию задачи создается текстовый файл, в который вводится такая информация, как число поставщиков, число потребителей, запасы поставщиков, заявки потребителей и матрица стоимости. Для получения опорной матрицы плана используются методы северо-западного угла или метод минимальной стоимости. На рис. 4 приведена отображаемая матрица планирования, в которой указаны исходные данные о запасах поставщиков и заявках потребителей. В опорной матрице плана отображены перевозки (рис. 4).

| Метод Северо-западного угла: Опорный план | Исходный план |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | Запасы |
|---|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|--------|
|   | 1             | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12 | 13  | 14  | 15  |        |
| 1   | 300           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 300    |
| 2   | 50            | 150 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 200    |
| 3   |               | 50  | 100 |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 150    |
| 4   |               |     | 80  | 110 |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 190    |
| 5   |               |     |     | 10  | 250 |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 260    |
| 6   |               |     |     |     | 50  | 100 | 175 | 25  |     |     |     |    |     |     |     | 350    |
| 7   |               |     |     |     |     |     |     | 100 | 150 | 110 | 40  |    |     |     |     | 400    |
| 8   |               |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 100 | 50 | 0   |     |     | 150    |
| 9   |               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 100 | 170 |     | 270    |
| 10  |               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     | 30  | 100 | 130    |
| Потребности                               | 350           | 200 | 180 | 120 | 300 | 100 | 175 | 125 | 150 | 110 | 140 | 50 | 100 | 200 | 100 | 2400   |

Рис. 4. Опорная матрица плана, полученная методом северо-западного угла

Для определения оптимального плана используется итерационный алгоритм вычисления оптимальной системы потенциалов для матрицы планирования. На каждой итерации осуществляется построение системы потенциалов и проверка условий оптимальности. Переход к новому плану состоит в следующем: определение цикла пересчета, поиск целевой клетки, определение величины перераспределения груза. Решение задачи возможно как в пошаговом режиме, так и режиме вывода результата оптимального плана.

В пошаговом режиме используются две закладки: на одной странице выводится текущая матрица плана и значения потенциалов с

отображением целевой клетки, которая обозначается символом «X» (рис. 5). На другой закладке (рис. 6) выводится цикл пересчета, с указанием текущей целевой клетки, куда следует переместить данные о минимальной перевозке.

|             | 1>f=61 | 2>f=49 | 3>f=48 | 4>f=2 | 5>f=19 | 6>f=3 | 7>f=24 | 8>f=35 | 9>f=93 | 10>f=37 | 11>f=78 | 12>f=46 | 13>f=46 | 14>f=49 | 15>f=21 | Запасы |
|-------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 1>u=66      | 300    |        |        |       |        |       |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 300    |
| 2>u=72      | 50     | 150    |        |       |        |       |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 200    |
| 3>u=72      |        | 50     | 100    |       |        |       |        | X      |        |         |         |         |         |         |         | 150    |
| 4>u=52      |        |        | 90     | 110   |        |       |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 190    |
| 5>u=15      |        |        |        | 10    | 250    |       |        |        |        |         |         |         |         |         |         | 260    |
| 6>u=0       |        |        |        |       | 50     | 100   | 175    | 25     |        |         |         |         |         |         |         | 350    |
| 7>u=22      |        |        |        |       |        |       |        | 100    | 150    | 110     | 40      |         |         |         |         | 400    |
| 8>u=9       |        |        |        |       |        |       |        |        |        | 100     | 50      | 0       |         |         |         | 150    |
| 9>u=22      |        |        |        |       |        |       |        |        |        |         |         | 100     | 170     |         |         | 270    |
| 10>u=21     |        |        |        |       |        |       |        |        |        |         |         |         | 30      | 100     |         | 130    |
| Потребности | 350    | 200    | 180    | 120   | 300    | 100   | 175    | 125    | 150    | 110     | 140     | 50      | 100     | 200     | 100     | 2400   |

Рис. 5. Текущая матрица плана и значения потенциалов с отображением целевой клетки

|   | 3   | 4   | 5   | 8   | 9   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3 | 100 |     |     |     | X   |
| 4 | 80  | 110 |     |     |     |
| 5 |     | 10  | 250 |     |     |
| 6 |     |     | 50  | 25  |     |
| 7 |     |     |     | 100 | 150 |

Рис. 6. Цикл пересчета, с указанием текущей целевой клетки «X»

Для вывода оптимальной матрицы планирования используются две закладки: на одной выводится оптимальная матрица плана (рис. 7), на другой — полученная матрица стоимости оптимального плана (рис. 8).

Для решения задач симплекс-методом каноническая модель задачи записывается в форме симплекс-таблицы, индексной строкой которой является строка целевой функции, при этом все свободные члены таблицы должны быть неотрицательными (рис. 9).

На основе симплексных преобразований определяется начальный опорный план. Полученные результаты выводятся на закладке «Опорное решение» (рис. 10).

МГТУ им.Н.Э. Баумана.МАТПРОГ: Исследование операций: Линейное программирование, сетевые задачи

Симплекс-метод | Транспортная задача | Поточковые задачи | Сетевые задачи | Матричные игры | Справка

Оптимальный план: стоимость 19700 итерация:26 | Матрица разности стоимости и псевдостоймости

|             | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12 | 13  | 14  | 15  | Залпас |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|--------|
| 1           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 150 |     |    |     |     | 150 | 300    |
| 2           |     |     |     |     | 35  |     | 165 |     |     |     |     |    |     |     |     | 200    |
| 3           | 140 |     |     |     |     |     | 10  |     |     |     |     |    |     |     |     | 150    |
| 4           |     | 0   | 180 |     |     |     |     |     |     |     | 10  |    |     |     |     | 190    |
| 5           |     | 60  | 200 |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 260    |
| 6           |     |     |     |     | 250 | 100 |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 350    |
| 7           |     |     |     | 120 | 15  |     |     | 125 |     |     |     | 50 | 90  |     |     | 400    |
| 8           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     | 150    |
| 9           | 150 |     |     |     |     |     |     |     |     | 110 |     |    | 10  | 50  | 100 | 270    |
| 10          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 130 |    |     |     |     | 130    |
| Потребности | 350 | 200 | 180 | 120 | 300 | 100 | 175 | 125 | 150 | 110 | 140 | 50 | 100 | 200 | 100 | 2400   |

Status:

Рис. 7. Оптимальная матрица плана

МГТУ им.Н.Э. Баумана.МАТПРОГ: Исследование операций: Линейное программирование, сетевые задачи

Симплекс-метод | Транспортная задача | Поточковые задачи | Сетевые задачи | Матричные игры | Справка

Оптимальный план: стоимость 19700 итерация:26 | Матрица разности стоимости и псевдостоймости

|    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | -7  | -11 | -43 | -39 | -5  | -24 | -28 | -39 | 0   | -89 | -11 | -23 | -14 | 0   | -15 |
| 2  | -10 | -19 | -29 | -7  | 0   | -65 | 0   | -2  | -26 | -22 | -8  | -17 | -44 | -50 | -12 |
| 3  | 0   | -19 | -19 | -47 | -10 | -27 | 0   | -25 | -1  | -6  | -14 | -17 | -42 | -25 | -12 |
| 4  | -23 | 0   | 0   | -57 | -26 | -73 | -18 | -22 | -7  | -32 | 0   | -10 | -1  | -31 | -13 |
| 5  | 0   | 0   | -74 | -17 | -25 | -94 | -30 | -21 | -9  | -40 | -22 | -23 | -4  | -12 | -10 |
| 6  | -12 | -10 | -29 | -17 | 0   | 0   | -3  | -14 | -39 | -19 | -9  | -46 | -54 | -53 | 0   |
| 7  | -18 | -48 | -19 | 0   | 0   | -72 | -76 | 0   | -61 | -8  | -45 | 0   | 0   | -16 | -8  |
| 8  | 0   | -25 | -9  | -4  | -4  | -27 | -15 | -11 | -45 | -51 | -57 | -33 | -20 | -9  | -7  |
| 9  | -14 | -60 | -1  | -24 | -27 | -4  | -35 | -43 | -18 | 0   | -19 | -8  | 0   | 0   | 0   |
| 10 | -41 | -44 | -34 | -6  | -31 | -21 | -1  | -28 | -31 | -28 | 0   | -18 | -12 | -16 | -15 |

Status:

Рис. 8. Матрица стоимости оптимального плана

МГТУ им.Н.Э. Баумана Информационные технологии: Исследование операций

Симплекс-метод | Транспортная задача | Поточковые задачи | Сетевые задачи | Матричные игры | Справка

Файл | прочитан | исходная система в каноническом виде

| индексы        | правая часть | 1    | 2   | 3    | 4    | 5  | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------|--------------|------|-----|------|------|----|----|----|---|---|----|----|
| целевая строка | 0            | 14,4 | 16  | 12,8 | 10,5 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0  | 0  |
| строка 1       | 21           | 26,5 | 7,8 | 0    | 0    | -1 | 0  | 0  | 0 | 0 | 0  | 0  |
| строка 2       | 30           | 51   | 26  | 45,7 | 0    | 0  | -1 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0  |
| строка 3       | 500          | 0    | 0   | 50   | 72,5 | 0  | 0  | -1 | 0 | 0 | 0  | 0  |
| строка 4       | 9            | 10   | 0   | 0    | 0    | 0  | 0  | 0  | 1 | 0 | 0  | 0  |
| строка 5       | 8            | 0    | 10  | 0    | 0    | 0  | 0  | 0  | 0 | 1 | 0  | 0  |
| строка 6       | 5            | 0    | 0   | 1    | 0    | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 1  | 0  |
| строка 7       | 6            | 0    | 0   | 0    | 1    | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0  | 1  |

Status:

Рис. 9. Симплекс-таблицы канонической модели задачи

МГТУ им.Н.Э. Баумана Информационные технологии: Исследование операций

Симплекс-метод | Транспортная задача | Поточковые задачи | Сетевые задачи | Матричные игры | Справка

Опорное решение получено | исходная система в каноническом виде

| индексы | 0      | 8            | 9           | 10           | 11          |
|---------|--------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 0       | 152,76 | -1,44        | -1,6        | -12,8        | -10,5       |
| 1       | 0,9    | 0,1          | 9,690056916 | 7,741881137  | 0           |
| 2       | 0,8    | 4,729831977  | 0,1         | 2,768781297  | 4,912791094 |
| 3       | 5      | -6,776263578 | 0           | 1            | -1,22819773 |
| 4       | 6      | -6,776263578 | 0           | -5,421010862 | 1           |
| 5       | 9,09   | 2,65         | 0,78        | 1,932373532  | 0           |
| 6       | 265,2  | 5,1          | 2,6         | 45,7         | 0           |
| 7       | 185    | 0            | 0           | 50           | 72,5        |

Status:

Рис. 10. Опорное решение

Найденный опорный план необходимо исследовать на оптимальность. Если условия оптимальности не выполняются, то путем определения разрешающего элемента по минимальному симплексному преобразованию осуществляется переход к новому опорному плану, более близкому к оптимальному. Поиск оптимального решения реализуется в двух режимах — в пошаговом режиме и режиме вывода оптимального плана (закладка «Оптимальный план»).

Для вывода в пошаговом режиме используются также две закладки: на одной странице выводится текущая симплекс-таблица с отображением целевой клетки, на другой — исходная симплекс-таблица. Для рассматриваемого примера на первом шаге в пошаговом режиме отображается симплекс-таблица, в которой выделяется разрешающий элемент (рис. 11). Переход на следующий шаг вычислений осуществляется по команде «Продолжить». Результаты преобразований текущего шага отображаются в таблице (рис. 12). Для данного примера в таблице  $X_{10}$  вводится в базис, а  $X_7$  выводится из базиса, в результате значение целевой функции уменьшается. Описанный процесс повторяется до получения оптимального плана либо до установления неразрешимости задачи.

| индексы | 0      | 8          | 9          | 10         | 11         |
|---------|--------|------------|------------|------------|------------|
| 0       | 152,76 | 1,44       | 1,6        | 12,8       | 10,5       |
| 1       | 0,9    | 0,1        | 9,69005691 | 7,74188113 | 0          |
| 2       | 0,8    | 4,72983197 | 0,1        | 2,76878129 | 4,91279109 |
| 3       | 5      | -6,7762635 | 0          | 1          | -1,2281977 |
| 4       | 6      | -6,7762635 | 0          | -5,4210108 | 1          |
| 5       | 9,09   | 2,65       | 0,78       | 1,93237353 | 0          |
| 6       | 265,2  | 5,1        | 2,6        | 45,7       | 0          |
| 7       | 185    | 0          | 0          | 50         | 72,5       |

Продолжить - на следующую итерацию

Status:

Рис. 11. Симплекс-таблица с выделением разрешающего элемента

В заключение отметим, что программная система МАТПРОГ предназначена для решения задач интеллектуализации систем моделирования и анализа ситуаций принятия решений. Она реализует основные методы принятия решений: оптимизационные, статистические, экспертные. Алгоритмическое и программное обеспечение



МГТУ им.Н.Э. Баумана Информационные технологии: Исследование опера...

Симплекс-метод    Транспортная задача    Поточковые задачи    Сетевые задачи    Матричные игры    Справка

оптимальное значение целевой функции = 92,6    исходная система в каноническом виде

| индексы | 0     | 8           | 9          | 7           | 11          |
|---------|-------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 0       | 105,4 | 1,44        | 1,6        | -0,256      | -8,06       |
| 1       | 0,9   | 0,1         | 9,69005691 | -1,54837622 | -1,12257276 |
| 2       | 0,8   | 4,72983197  | 0,1        | -5,53756259 | 8,98058211  |
| 3       | 1,3   | -6,77626357 | 0          | -0,02       | -1,45       |
| 4       | 6     | -6,77626357 | 0          | 1,08420217  | 1           |
| 5       | 9,09  | 2,65        | 0,78       | -3,86474706 | -2,80194162 |
| 6       | 96,11 | 5,1         | 2,6        | -0,914      | -66,265     |
| 10      | 3,7   | 0           | 0          | 0,02        | 1,45        |

Продолжить - на следующую итерацию

Status:

Рис. 12. Результаты преобразований текущего шага:  $X_{10}$  вводится в базис,  $X_7$  выводится из базиса

позволяет решить следующие прикладные оптимизационные задачи: поисковые задачи в семантических сетях, задачи линейного программирования, моделирования потоков в сетях, построения деревьев разрезов сети, оценки параметров линейных регрессий для заданной матрицы плана и вектора наблюдений.

Статья поступила в редакцию 25.10.2012