

УДК 622.458

Б. Д. ЯЛОВКИН

**РЕШЕНИЕ НА ЭЦВМ ЗАДАЧИ  
ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМЫ  
РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ В СЕТЯХ  
С УСТАНОВИВШИМИСЯ ПОТОКАМИ**

Решение на ЭЦВМ задачи оптимального выбора системы органов, регулирующих потокораспределение в водопроводных, газовых и вентиляционных сетях при комбинированном способе управления, представляет большой практический интерес как при проектировании новых сетевых структур, так и при модернизации эксплуатируемых сетей.

Постановка задачи, ее аналитическое описание и алгоритм решения приведены в работе [1]. При решении проблемы оптимального управления потоками в сетевых структурах возникает задача обеспечения требуемого потокораспределения в сети при минимальной затрате мощности на получение заданных потоков.



время. Представленная на рис. 1 блок-схема может быть использована для составления программ на языке конкретной машины, а также для написания программ на алгоритмических языках проблемно- или машинно-ориентированных (I — после первого попадания на блок 37 отключается (кончился I этап); II — подключается на II этапе). По данной блок-схеме была составлена система программ для ЭЦВМ М-20, с помощью которой решен ряд задач для шахтной вентиляционной сети (рис. 2).

Система включает также программы: 1) расчет функций  $B_1$ ; 2) метод детерминированного поиска  $B_2$ ; 3) расчет частных производных  $B_3$ ; 4) формирование симплекс-таблицы и настройки программы симплекс-метода  $B_4$ ; 5) симплекс-метод  $B_5$ . Существование блоков рассматриваемой системы программ следующее:

1. Ввод программы в МОЗУ ЭЦВМ и запись ее в МЗУ.

2. Перевод исходного числового материала из десятичной системы счисления в двоичную.

3. Вычисление  $q_i = \sum_{i=1}^s k_{2i} q_i (i = \overline{s+1, m})$ .

4. Пересылка на рабочее поле МОЗУ  $r_i^{(n)}$ ,  $r_i (i = \overline{1, m})$ .

5. Вычисление функций по формулам (2).

6. Восстановление исходного состояния программы расчета функций; передача управления блоку 7 до первого подключения блока 37, после чего управление передается только блоку 38.

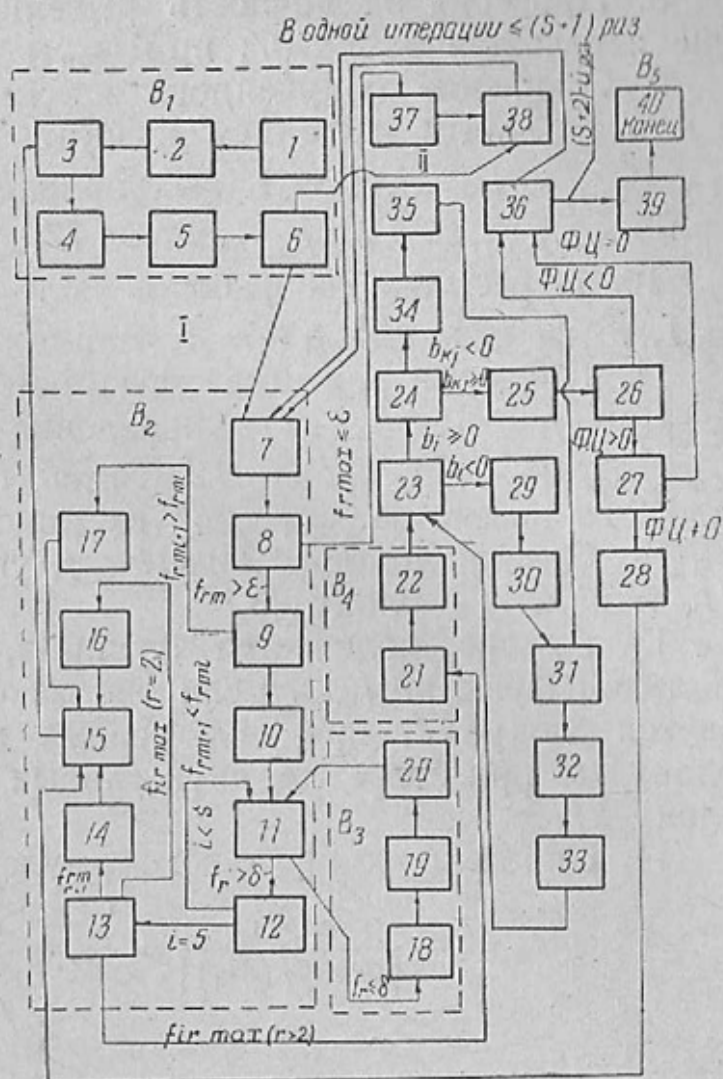


Рис. 1.

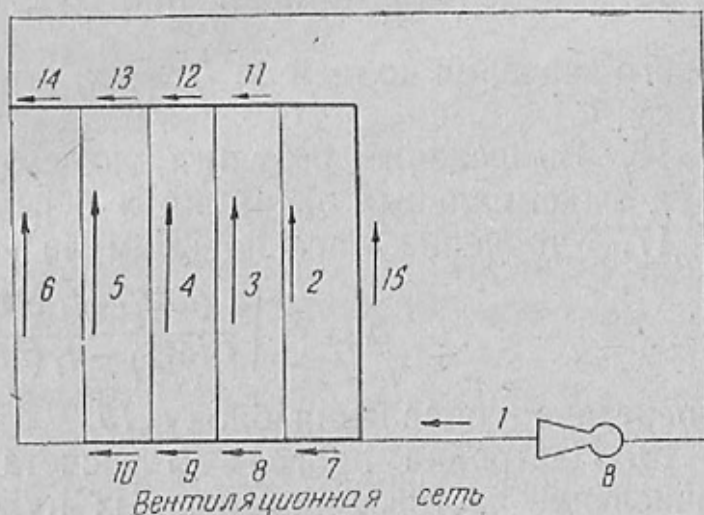


Рис. 2.

7. Нахождение максимального значения функции  $f_{i \max}$  ( $i = \overline{1, s}$ ).

8. Проверка на точность решения, если  $f_{i \max} \leq \epsilon$ , управление передается блоку 37; при  $f_{i \max} > \epsilon$  — блоку 9.

9. Сравнение полученного максимального значения функции с максимальным значением функции в предыдущей точке; если  $f_{i \max(k+1)} < f_{i \max(k)}$  ( $i = \overline{1, s}$ ), управление передается блоку 10; при  $f_{i \max(k+1)} \geq f_{i \max(k)}$  — блоку 17.

10. Пересылка на рабочее поле МОЗУ неизвестных  $x_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) и функций  $f_i$  ( $i = \overline{1, s}$ ).

11. Проверка равенства функций.

При  $f_i \leq f_{\max}(1 - \delta)$  управление передается блоку 18, при  $f_i > f_{\max}(1 - \delta)$  — блоку 12. Здесь  $i = \overline{1, s}$ ;  $\delta$  — относительная точность равенства функций их максимальному значению  $f_{i \max}$ .

12. Счетчик циклов. При  $i < s$ , управление передается блоку 11, при  $i = s$  — блоку 13.

13. Анализ количества функций, равных значению максимальной функции  $f_{\max}$ . Если она максимальна, управление передается блоку 14, при двух равных максимальных функциях — блоку 16; при более чем двух равных максимальных функциях — блоку 21.

14. Определение шага по формуле

$$t_k = - \frac{f_i(M_1)}{|\text{grad } f_i(M_1)|} = - \frac{f_i(M_1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \left[ \frac{\partial}{\partial x_i} f_i(M_1) \right]^2}}$$

15. Вычисление приращений  $\Delta x_j^{(k)} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j} t$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;  $i = \overline{1, s}$ , нового значения корней  $x_j^{(k+1)} = x_j^{(k)} + \Delta x_j^{(k)}$  и передача управления блоку 3.

16. Вычисление результирующего градиента при равенстве двух максимальных функций и передача управления блоку 15.

17. Уточнение шага по формуле

$$t_{k+1} = \left| \frac{f(M_1) - f_i(M_1)}{f(M_k) - f_i(M_1)} \right| (t_k - \gamma)$$

и передача управления блоку 15.

18. Настройка программы расчета частных производных на вычисление частных производных нужной функции.

19. Расчет частных производных по формулам

$$\frac{\partial}{\partial x_j} f_i(M_1) = \alpha_i k_{ij}, \quad j = \overline{1, m}; \quad i = \overline{1, s};$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} f_i(M_1) = 2 \sum_{j=s+1}^m k_{ij} k_{rj} |x_j| (r_j + \beta_j r_j^{(n)}),$$

$$r \neq i \neq j; \quad r, i = \overline{1, s};$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} f_i(M_1) = 2|x_i|r_i + 2 \sum_{j=s+1}^m k_{ij}^2 |x_j| (r_j + \beta_j r_j^{(n)}),$$

$$i = \overline{1, s}; \quad j = \overline{s+1, n}; \quad n < s;$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} f_i(M_1) = k_{ij} |x_j| |x_j|,$$

$$i = \overline{1, s}; \quad j = \overline{n+1, m}.$$

После присоединения функции цели к системе уравнений используются также формулы

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \Phi(M_1) = 3a_j x_j^2 \operatorname{sgn} x_j, \quad j = \overline{s+1, n},$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \Phi(M_1) = a_j, \quad j = \overline{n+1, m}.$$

20. Размещение частных производных в формируемой симплекс-таблице в качестве исходных данных для вычисления ее элементов и передача управления блоку 11.

21. Формирование симплекс-таблицы и расчет ее элементов по формулам

$$b_{ij} = \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(M_1) - \frac{\partial}{\partial x_j} f_k(M_1) \right],$$

$$i = \overline{1, k-1}; \quad j = \overline{1, m};$$

$$b_{kj} = \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} f_k(M_1) \right], \quad k = \text{const}; \quad j = \overline{1, m};$$

$$b_i = \sum_{j=1}^m \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(M_1) - \frac{\partial}{\partial x_j} f_k(M_1) \right],$$

$$i = \overline{1, k-1}; \quad k = \text{const}.$$

22. Настройка программы симплекс-метода.

23. Проверка знаков свободных членов симплекс-таблицы [2]. Если хотя бы один свободный член меньше нуля, управление передается блоку 29, при отсутствии отрицательных свободных членов — блоку 24.

24. Нахождение разрешающего столбца [2]. При наличии отрицательных элементов в последней строке управление передается блоку 34, при отсутствии отрицательного элемента — блоку 25.

25. Пересылка результатов решения симплекс-методом в ячейки для частных производных после предварительного вычисления:

$$\eta_1 = 1 - Y_{k+1} \geq 0;$$

$$\eta_m = 1 - Y_{k+m} \geq 0,$$

26. Проверка знака функции цели. Если функция цели меньше нуля, управление передается блоку 36, если больше — блоку 27.

27. Проверка функции цели на равенство нулю. При ф. ц. = 0 управление передается блоку 36, если ф. ц.  $\neq 0$ , — блоку 28.

28. Настройка относительной точности равенства функций  $\delta$  по величине  $f_{\max}$  и передача управления блоку 15.

29. Нахождение разрешающего столбца, соответствующего отрицательному элементу в строке симплекс-таблицы с отрицательным свободным членом.

30. Нахождение разрешающей строки и разрешающего элемента, которые соответствуют  $\min b_i/b_{is} > 0$  [2].

31. Настройка программы симплекс-метода на проведение модифицированных жордановых преобразований.

32. Вычисление новых элементов симплекс-таблицы методом модифицированных жордановых исключений по формулам, приведенным в работе [2].

33. Восстановление исходного состояния программы симплекс-метода и передача управления блоку 23.

34. Настройка на поиск разрешающей строки.

35. Отыскание разрешающей строки, соответствующей  $\min b_i/b_{is} > 0$ , и передача управления блоку 31.

36. Ужесточение точности  $\delta_2 = \delta_{1/2}$  и передача управления блоку 7 в одной итерации  $(s + 1)$  раз,  $(s + 2)$ -й раз — передача управления блоку 39.

37. Настройка программы для нахождения оптимального решения, т. е. присоединение неравенства, представляющего функцию цели [1, 3], к системе уравнений (2) для дальнейшего совместного решения и последующего уменьшения функции цели (1), представленной в виде неравенства [1], на величину  $\Delta_i$ .

38. Вычисление значений ф. ц. по формуле (1) и передача управления блоку 7.

39. Перевод числового материала из двоичной системы счисления в десятичную и печать результатов решения.

40.  $\Omega$  — останов, конец решения.

**Пример.** Вентиляционная сеть, изображенная на рис. 2, состоит из 15 ветвей, 10 узлов, цикломатическое число сети  $S = 6$ . Кодировка ее произведена в соответствии с методом контуроразделения [4]. В первой ветви находится вентилятор главного проветривания, дросселирующие устройства предварительно размещены с 5-й по 15-ю ветвь включительно, потоки заданы в пятой и шестой связях. Коэффициенты турбулентности  $n_i = n_j^{(n)} = 2 (i = \overline{1,15}; j = \overline{5,15})$ . Матрица контуров сети представлена в табл. 1. Величины аэродинамических сопротивлений приведены в табл. 2. Необходимо найти режим работы вентилятора  $h_1^{(b)}$ , значения дебитов  $q_2, q_3, q_4$  и величины аэродинамических сопротивлений  $r_i^{(n)} (i = \overline{5,15})$ , при которых установившееся потокораспределение в сети будет достигнуто при минимальной затрате мощности

на ее проветривание. Исходные данные, начальные значения  $r_i^{(п)}$  и результаты решения помещены в табл. 3.

Задача была решена с помощью системы программ, составленных по блок-схеме, представленной на рис. 1.

Таблица 1

$i$	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
3	1	1	0	0	-1	0	0	0	-1
4	1	1	1	0	-1	-1	0	0	-1
5	1	1	1	1	-1	-1	-1	0	-1
6	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1

Таблица 2

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$r_i$	0,01	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05

Таблица 3

	$q_i^{(0)}$	Начальные значения $r_i^{(п)}$	Результаты решения	
			$q_i$	$r_i^{(п)}$
1	48*	0	48,0*	0
2	8	0	7,6633	0
3	8	0	7,8389	0
4	8	0	8,0746	0
5	8*	0,001	8,0*	0,1527
6	8*	0,001	8,0*	0,1536
7	40	0,001	39,5768	-0,4976
8	32	0,001	31,914	0,0006
9	23	0,001	24,075	0,08014
10	16	0,001	16,0	0,1535
11	16	0,001	16,086	0,1811
12	24	0,001	23,925	0,1131
13	32	0,001	32,0	0,0402
14	40	0,001	40,0	-0,00797
15	8	0,001	8,423	0,172

Энергозатраты  $z = 22\ 698$ .

Примечание. Значения дебитов, отмеченные звездочкой, заданы и должны быть сохранены в процессе решения задачи. Напор вентиляторной установки  $h_1^{(п)} = 248$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стоян Ю. Г., Яловкин Б. Д. Оптимальный выбор системы регулирующих органов.— «Изв. АН СССР. Техн. кибернетика», 1971, № 3.
2. Зуховицкий С. И., Авдеева Л. И. Линейное и выпуклое программирование. М., «Наука», 1964.
3. Рвачев В. Л. Геометрические приложения алгебры логики. Киев, «Техника». 1967.
4. Волков А. А., Евдокимов А. Г. Математическое описание и дискретное моделирование на ЭВМ установившихся процессов потоко-распределения в гидравлических сетях. М., Гостехиздат, 1964.

УДК 622. 458

**Решение на ЭЦВМ задачи оптимального выбора системы регулирующих органов в сетях с установившимися потоками.** Яловкин Б. Д. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики», вып. 35, 1975, с. 25—32.

Рассматривается вариант программной реализации для ЭЦВМ задачи оптимального выбора системы органов, регулирующих потокораспределение в водопроводных, газовых и вентиляционных сетях при комбинированном способе управления. Задача формулируется как задача математического программирования, приводится алгоритм ее решения, состоящий из ряда самостоятельных подалгоритмов. Приводятся результаты решения для конкретной шахтной вентиляционной сети, полученные при помощи ЭЦВМ М-20.

Табл. 3. Ил. 2. Библиогр. 4.