

МЕТОД ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОЛЬЦЕВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРИ ЗАДАННОМ НАЧАЛЬНОМ НАПОРЕ

Э. Н. Рыбников

Х а р ь к о в

При проектировании кольцевых гидравлических систем с одной или несколькими точками питания, напоры в которых известны (например, самотечные водопроводы), возникает необходимость в решении задачи технико-экономического расчета сети. Рассмотрим метод ее решения.

Представим схему водопроводной сети в виде ливейного графа [1] и выберем на нем дерево таким образом, чтобы для каждого источника питания хотя бы один водовод, соединяющий его с сетью, стал ветвью дерева. Фиктивные участки, по которым происходит водопотребление из узлов сети, сделаем связями. Тогда реальные участки частично станут ветвями дерева, частично — связями. Связам реальных участков присвоим номера от 1 до l , фиктивных — от $l + 1$ до l_1 , связям с источниками питания (водоводам) — от $l_1 + 1$ до s ; ветвям дерева с источниками питания — от $s + 1$ до $s + l$. Остальные ветви дерева занумеруем от $s + l + 1$ до m .

В общем случае функция цели, представляющая собой суммарные капитальные затраты на строительство и эксплуатацию сети, будет иметь вид

$$V = \sum_{r=1}^l \left(\frac{M_r}{\frac{a}{h_r^m}} + C_r h_r \right) + \sum_{r=l+1}^{l_1} C_r \Delta h_r^c + \\ + \sum_{r=l_1+1}^s \left(\frac{M_r}{\frac{a}{h_r^m}} + C_r h_r \right) + \sum_{i=s+1}^{s+1} \left(\frac{M_i}{\frac{a}{h_i^m}} + C_i h_i \right) + \sum_{i=s+t+1}^m \left(\frac{M_i}{\frac{a}{h_i^m}} + C_i h_i \right), \quad (1)$$

где

$$M_i = (E + p) b k^{\frac{a}{m}} l_i^{\frac{a}{m}+1} \times \\ \times (|q_j| q_j)^{\frac{a}{m}} \cdot 10^{-6 \frac{a}{m}}, \quad (j = \\ = 1, \dots, l, s+1, \dots, m) \quad (2) \\ C_i = \frac{8760 \sigma \gamma + (E + p) \varphi \lambda}{102 \eta} q_i. \\ (j = 1, \dots, m). \quad (3)$$

Задача технико-экономического расчета заключается в минимизации этой функции при соблюдении следующих условий:

$$h_r = - \sum_{i=s+1}^m b_{ri} (h_i + \beta_i h_i^r + \alpha_i h_i^{(a)}) - \beta_r h_r^r; \quad (r = 1, \dots, l) \quad (4)$$

$$h_r = - \sum_{i=s+1}^m b_{ri} (h_i + \beta_i h_i^r + \alpha_i h_i^{(a)}) - \beta_r h_r^r - \alpha_r h_r^{(a)}; \quad (r = l_1 + 1, \dots, s) \quad (5)$$

$$\Delta h_r^c = h_i^{(a)} - \sum_{i=s+1}^m b_{ri} (h_i + \beta_i h_i^r) - h_r^{c*}; \quad (r = l + 1, \dots, l_1) \quad (6)$$

$$\sum_{i=s+1}^m b_{ki} (h_i + \beta_i h_i^r + \alpha_i h_i^{(a)}) + h_k^{c*} = 0. \quad (k = l + 1, \dots, l_1) \quad (6')$$

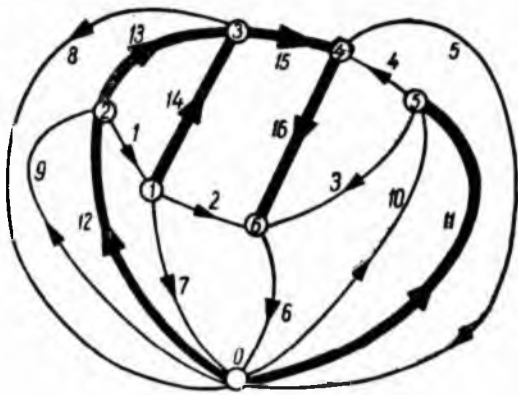
В формуле (6') индекс k соответствует номеру фиктивного участка, выходящего из диктующей точки.

При заданном начальном напоре выражение, учитывающее затраты энергии при эксплуатации сети, в функцию цели входить не должно. Математически задача технико-экономического расчета, с учетом сказанного выше формулируется следующим образом:

минимизировать функцию

$$V = \sum_{r=1}^l \frac{M_r}{\frac{a}{h_r^m}} + \sum_{r=l_1+1}^s \frac{M_r}{\frac{a}{h_r^m}} + \sum_{i=s+1}^m \frac{M_i}{\frac{a}{h_i^m}} + \\ + \lambda_k \left[\sum_{i=s+1}^m b_{ki} (h_i + \beta_i h_i^r + \alpha_i h_i^{(a)}) + h_k^{c*} \right]. \quad (7)$$

при соблюдении ограничений (4) и (5).



Взяв частные производные функции (7) по переменным h_i ($i = s + 1, \dots, m$) и λ_k с учетом (4), (5) и приравняв их нулю получим

$$f_i = \frac{\partial V}{\partial h_i} = \sum_{r=1}^l b_{ri} \frac{\frac{\alpha}{m} M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+1}} - \sum_{r=l_1+1}^s b_{ri} \frac{\frac{\alpha}{m} M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+1}} - \frac{\frac{\alpha}{m} M_i}{h_i^{\frac{\alpha}{m}+1}} + \lambda_k b_{ki} = 0. \quad (8)$$

$$f_k = \frac{\partial V}{\partial \lambda_k} = \sum_{i=s+1}^m b_{ki} (h_i + \beta_i h_i^r + \alpha_i h_i^{(a)}) + h_k^{c*} = 0.$$

Рассматриваемая задача технико-экономического расчета заключается в решении $m - s + 1$ уравнений (8) с учетом уравнений связи (4), (5), в результате которого определяются потери напора по участкам сети h_i ($j = 1, \dots, l, l_1 + 1, \dots, m$).

Алгоритм решения данной задачи при использовании метода скорейшего спуска [2] для решения системы нелинейных уравнений включает в себя следующие операции:

1) задаются начальные приближения λ_k и потерь напора в ветвях дерева сети $h_j^{(0)}$ ($j = s + 1, \dots, m$) и по формулам (4), (5) вычисляются потери напора в связях h_r

$$(r = 1, \dots, l, l_1 + 1, \dots, s).$$

2) Производятся вычисления по формулам (8) и определяются

$$f_j^{(0)} (j = k, s + 1, \dots, m);$$

3) сравниваются $f_j^{(0)}$ ($j = k, s + 1, \dots, m$) с заданной точностью решения ϵ . Если $|f_j^{(0)}| - \epsilon \leq 0$ для всех j , то производится переход к вычислениям, начиная с пункта 8.

Если $|f_j^{(0)}| - \epsilon > 0$, хотя бы для одного j , то

4) составляется матрица Якоби W_0 . Элементы матрицы вычисляются по формулам:

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial h_j} \right)_{i=j} = \sum_{r=1}^l b_{ri} \frac{\frac{\alpha}{m}}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} \left(\frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} + \sum_{r=l_1+1}^s b_{ri} \frac{\frac{\alpha}{m}}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} \left(\frac{\alpha}{m} + 1 \right) \times \\ \times \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} + \frac{\alpha}{m} \left(\frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{M_i}{h_i^{\frac{\alpha}{m}+2}}; \quad (i, j = s + 1, \dots, m). \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial h_j} \right)_{i \neq j} = \sum_{r=1}^l b_{ri} b_{rj} \frac{\frac{\alpha}{m}}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} \left(\frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} + \\ + \sum_{r=l_1+1}^s b_{ri} b_{rj} \frac{\frac{\alpha}{m}}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}} \left(\frac{\alpha}{m} + 1 \right) \frac{M_r}{h_r^{\frac{\alpha}{m}+2}}; \quad (i, j = s + 1, \dots, m)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial \lambda_k} = b_{ki}; \quad \frac{\partial f_k}{\partial h_i} = b_{ki}; \quad \frac{\partial f_k}{\partial \lambda_k} = 0.$$

5) Вычисляются $W_{off}^{(0)}$ и $W_0 W_{off}^{(0)}$.

6) Определяется значение μ_0 по формуле

$$\mu_0 = \frac{(\bar{f}_j^{(0)}, W_0 W_{off}^{(0)})}{(W_0 W_{off}^{(0)}, W_0 W_{off}^{(0)})}. \quad (10)$$

7) Вычисляются уточненные значения $h_i (i = s + 1, \dots, m)$:

$$\bar{h}_i^{(1)} = \bar{h}_i^{(0)} - \mu_0 W_{0f_i}^{*(\bar{h}_i^{(0)})} \quad (11)$$

и производится переход ко второму пункту вычислений. Итерационный процесс длится до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность вычислений ε .

8) Определяются диаметры участков сети D_j и по ним скорости потоков v_j

$$D_j = \left(\frac{kl_j |q_j| q_j}{h_j} \right)^{\frac{1}{m}}; \quad (j = 1, \dots, l, l_1 + 1, \dots, m). \quad (12)$$

$$v_j = \frac{4 |q_j|}{\pi D_j^2}. \quad (j = 1, \dots, l, l_1 + 1, \dots, m) \quad (13)$$

Для участков, у которых $v_j < 1,2$ м/сек, производится пересчет диаметров по формуле

$$D_j = \left(\frac{kl_j |q_j| q_j}{h_j} \cdot L \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (14)$$

где L — поправочный коэффициент, определяемый согласно работе [3];

9) По формуле (6) вычисляются $\Delta h_r^c (r = l + 1, \dots, l_1)$.

10) Определяется численное значение функции цели V по формуле (7).

Необходимо подчеркнуть, что в результате решения определяются потери напора, а по ним и диаметры не только участков сети, но и всех водоводов, т.е. задача решается комплексно.

Принятые обозначения:

q_j, h_j — расход и потери на j -м участке сети;

Δh_r^c — превышение свободного напора в узлах сети над требуемым;

E — коэффициент, учитывающий расчетный срок работы водопровода, принятый при проектировании;

b и α — коэффициенты, зависящие от материала труб и от местных условий;

p и p' — часть стоимости сети и насосной станции, выражающие затраты на текущий ремонт;

γ_i — коэффициент полезного действия источника питания;

D_j и l_j — диаметр и длина j -го участка;

φ — стоимость станции, приходящаяся на 1 квт установленной мощности;

λ — коэффициент запаса насосного оборудования;

γ — коэффициент, характеризующий неравномерность расходования энергии на подъем воды;

m — показатель степени;

σ — стоимость 1 квт·ч электроэнергии;

k — коэффициент потери напора;

h_r^c — свободный напор в узлах сети;

h_r^{c*} — требуемый свободный напор в узлах сети;

α_j — коэффициент, показывающий совпадение ($\alpha_j = -1$) ($\alpha_j = 1$) направлению нагнетания источника питания j -го участка с выбранным направлением этого участка;

β_j — коэффициент, учитывающий знак разницы геодезических высот начала и конца j -го участка; если эта разность отрицательна $\beta_j = 1$, положительна $\beta_j = -1$;

- h_j^r — разница геодезических высот начала и конца j -го участка трубопровода;
 $h_j^{(a)}$ — напор источника питания j -го участка;
 b_{ri} — элемент матрицы инцидентий независимых циклов графа.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Евдокимов, Э. Н. Рыбников. Математическая модель установившегося потокораспределения в водопроводных сетях. «Изв. Вузов, Строительство и архитектура», № 8, 1968.
2. Б. П. Демидович, И. А. Марон. Основы вычислительной математики. Физматгиз, 1963.
3. В. П. Сироткин. Схемы и расчет водоводов и водопроводных сетей. Гостройиздат, 1963.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ R -ФУНКЦИЙ В ЗАДАЧЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

*Л. А. Беленькая, В. А. Склепус, Ю. Г. Стоян,
В. М. Черепашин, Ю. В. Шагаев*

Х а р ь к о в

Техническая подготовка производства новых изделий на промышленном предприятии представляет собой сложный комплекс взаимоувязанных между собой работ, своевременное выполнение которых в большой степени зависит от используемых при их планировании методов. Все большее распространение при планировании технологической подготовки получают методы, основанные на использовании сетевых графиков, которые имеют существенные преимущества по сравнению с ранее применявшимися.

Одна из основных задач при планировании технической подготовки производства новых изделий — рациональное использование ресурсов на протяжении времени выполнения этого комплекса работ. Под рациональным использованием ресурсов понимается отсутствие значительных отклонений в их потребности на каждом отдельном календарном промежутке времени.

Анализ работ ряда авторов показывает, что при различии используемых алгоритмов по рациональному распределению ресурсов во времени в общей постановке решаемой задачи наметилось два основных направления.

Первый — оговариваются уровни (предельные значения) ресурсов, т.е. то количественное значение их, которым можно воспользоваться при выполнении работ. В этом случае ограничения по ресурсам (при условии их рационального использования во времени) определяют продолжительность выполнения всего комплекса работ.

Второй — оговаривается время окончания проекта при условии отсутствия ограничений на используемые ресурсы; производится такое распределение работ во времени, при котором отклонения в их потребности от среднего значения на протяжении всей разработки минимальны.

Из практики планирования крупных разработок видно, что в общей постановке задач по рациональному распределению ресурсов предпочтительнее должно быть отдано первому направлению, так как весьма редко исходными условиями решения задачи может быть оговорено отсутствие ограничений по используемым ресурсам. В этом случае всегда необходимо, чтобы выполнялось требование сведения к минимуму общей про-