

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

А. Д. ТЕВЯШЕВ, *д-р техн. наук*, **О. И. МАТВИЕНКО**, **Г. В. НИКИТЕНКО**

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166
e-mail: olga_mat@ukr.net*

Одна из наиболее острых проблем системы водоснабжения (СВ) в настоящее время - это потери воды за счет утечек, которые составляют иногда более 50 % объема подаваемой воды.

Величина утечек прямо пропорциональна величине избыточного давления в узлах водопроводной сети. Поэтому минимизация утечек осуществляется путем реинжиниринга водопроводных сетей и оптимального управления потокораспределением в СВ.

Известно [1], что оптимальное управление потокораспределением в СВ осуществляется в результате выполнения двух этапов: оперативного планирования режимов работы СВ; стабилизации давлений в глобальных диктующих точках водопроводной сети.

Детерминированные модели установившегося потокораспределения (УПР) в водопроводных сетях [2, 3] достаточно адекватно описывают потокораспределение в СВ в конкретный момент времени $t \in [0, T]$ и нашли широкое применение в задачах проектирования, развития и реконструкции СВ, но оказались не достаточно эффективными в задачах оперативного планирования режимов работы СВ. Это связано с тем, что фактические режимы работы СВ являются существенно нестационарными. В реальных условиях основными возмущающими факторами СВ являются стохастические процессы потребления воды, которые зависят от огромного количества не контролируемых и не управляемых факторов. Более того, параметры модели УПР, оцениваемые по выборкам экспериментальных данных конечной длины, сами являются случайными величинами. Поэтому использование детерминированных моделей УПР в водопроводных сетях для решения оперативного планирования режимов работы СВ приводило к тому, что даже незначительное изменение параметров модели УПР или граничных условий приводило к существенному изменению оптимального решения и выходу его из области допустимых режимов. Естественно, такие «оптимальные» решения оказались не приемлемые для практики.

Это привело к необходимости разработки и использованию более адекватных стохастических модели квазистационарных режимов подачи и распределения воды на заданном интервале времени $[0, T]$, учитывающих как стохастический характер процессов потребления воды, так и статистические свойства параметров модели.

В докладе рассматривается стохастическая модель и метод оперативного планирования режимов работы двух насосных станций (НС) при их совместной работе на водопроводную сеть. На содержательном уровне задача оперативного планирования режимов работы НС состоит в выборе такого состава работающего оборудования на НС и их режима работы, чтобы на интервале времени $[0, T]$ минимизировать математическое ожидание суммарных избыточных давлений в узлах водопроводной сети при условии, что вероятность того, что фактическое давление в узлах сети для любого момента времени $t \in [0, T]$ будет больше минимального допустимого, близка к единице.

Показано, что задача оперативного планирования режимов работы двух НС при их совместной работе на водопроводную сеть сводится к задаче нелинейного стохастического программирования М-типа с комбинированными статистическими и вероятностными ограничениями вида:

$$M_{\omega} \left(\sum_{i=v+\eta_2}^e (h_i^{(c)}(\omega) - h_i^{(c+)}) \right) \rightarrow \min_{Q1 \in \Omega}, \quad (1)$$

$$M_{\omega} \left(\operatorname{sgn} q_r(\omega) S_r(q_i(\omega)) q_r^2(\omega) + \sum_{i=1}^{v-1} b_{1ri} \operatorname{sgn} q_i(\omega) S_i(q_i(\omega)) q_i^2(\omega) \right) = 0, \quad (2)$$

$$(r = v, \dots, v + \eta_2 - 1),$$

$$M_{\omega} \left(h_r^{(c)}(\omega) - h_1^{(a)}(\omega) + \sum_{i=1}^{v-1} b_{1ri} (\operatorname{sgn} q_i(\omega) S_i(q_i(\omega)) q_i^2(\omega) + h_i^{(g)}) \right) = 0, \quad (3)$$

$$r = (v + \eta_2, \dots, e),$$

$$M_{\omega} \left(\operatorname{sgn} q_r(\omega) S_r(\omega) q_r^2(\omega) + h_r^{(c)} - h_2^{(a)}(\omega) + h_1^{(a)}(\omega) + \sum_{i=1}^{v-1} b_{1ri} (\operatorname{sgn} q_i(\omega) S_i(\omega) q_i^2(\omega) + h_i^{(g)}) \right) = 0$$

$$r = (e) \quad (4)$$

$$M(q_i(\omega)) = M_{\omega} \left(\sum_{r=v}^{v+\eta_2-1} b_{1ri} q_r(\omega) + \sum_{r=v+\eta_2}^e b_{1ri} q_r(\omega) \right), \quad (i = 1, \dots, v-1). \quad (5)$$

$$P(h_i^{(c)}(\omega) \geq h_i^{(c+)}) \geq \alpha, \quad (\alpha \cong 1), \quad i = (v + \eta_2, \dots, e), \quad (6)$$

где $q_i(\omega)$, $S_i(q_i(\omega))$, $h_r^{(c)}(\omega)$, $h_j^{(a)}(\omega)$ - случайные величины, характеризующие: $q_i(\omega)$ - расход воды на i -м участке трубопровода; $S_i(q_i(\omega))$ - гидравлическое сопротивление i -го участка трубопровода ($i = 1, \dots, v + \eta_2 - 1$); $h_r^{(c)}(\omega)$ - свободные напоры в узлах сети $r = (v + \eta_2, \dots, e)$; $h_j^{(a)}(\omega)$ - напоры насосных станций; $h_i^{(c+)}$ - минимальный допустимый напор в узле i , b_{1ri} - элемент цикломатической матрицы, $h_i^{(g)}$ - геодезическая отметка, $h_i^{(c+)}$ - минимальный допустимый напор в узле, $Q1(\omega)$, $Q2(\omega)$ - подачи (расходы) насосных станций, $\omega \in \Omega$, (Ω, \mathcal{B}, P) - вероятностное пространство, Ω — пространство элементарных событий; \mathcal{B} — σ -алгебра событий из Ω ; P — вероятностная мера на \mathcal{B} .

При построении стохастической модели квазистационарных режимов подачи и распределения воды на заданном интервале времени $[0, T]$ использовались следующие предположения: для представления структуры

водопроводной сети в виде орграфа $G(V,E)$, где V – множество вершин, E – множество дуг ($e=Card(E)$, $v=Card(V)$), реальная сеть добавляется нулевой вершиной и фиктивными хордами, соединяющими нулевую вершину со всеми входами и выходами сети; дерево графа сети выбирали таким образом, чтобы фиктивные участки сети стали хордами, при этом реальные участки частично стали хордами, а частично – ветвями дерева. Ветви дерева с насосом присвоен номер 1, остальным ветвям – от 2 до $v-1$, хордам реальных участков – от v до $v+\eta_2-1$, фиктивным с заданными узловыми расходами – от v до e , где η_2 - количество хорд реальных участков.

Весь интервал планирования $[0,T]$ (24 часа) разбивается на четыре подинтервала: период минимального водопотребления $[t_1,t_2]$, переход с минимального на максимальное водопотребление $[t_2,t_3]$, период максимального водопотребления $[t_3,t_4]$, и переход с максимального на минимальное водопотребление $[t_4,t_5]$.

Исходными данными для планируемого режима являются прогнозируемые значения объёмов водопотребления для каждого потребителя на интервале времени $[0,T]$ в виде условных математических ожиданий будущих объёмов водопотребления и их дисперсий. Предполагается, что прогнозируемые значения объёмов водопотребления являются случайными величинами, которые имеют нормальное распределение с известными математическими ожиданиями и дисперсиями: $\bar{q}_i = M(q_i)$, $\sigma_{q_i}^2 = D(q_i)$, $q_i(\omega) \cong N(\bar{q}_i, \sigma_{q_i}^2)$, $i = (v+\eta_2, \dots, e)$.

В докладе приведен эффективный алгоритм построения детерминированного эквивалента задачи (1) – (6) и метод её решения.

Использование такого подхода позволяет реально минимизировать суммарное избыточное давление в узлах водопроводной сети и при этом гарантировать, что вероятность обеспечения водой всех потребителей будет не ниже заданного α ($\alpha \cong 1$).

В докладе приводятся результаты анализа свойств решения задачи оперативного планирования режимов работы НС на интервале времени $[0,T]$.

Список использованных источников:

1. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение [Текст] / Н. Н. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1974. – 481 с.
2. Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. - М. : Стройиздат, 1979. - 199 с.
3. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – Харьков. : Вища школа, 1980. - 144 с.