

НОВЫЙ КЛАСС ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРИ ТРЕХЗОННОМ ТАРИФЕ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

*Тевяшев А.Д., Харьковский национальный университет
радиоэлектроники*

В докладе приведен новый класс задач оптимального стохастического управления режимами работы систем водоснабжения (СВС) и водоотведения (СВО), отличающийся от известных использованием стохастических моделей квазистационарных режимов транспорта и распределения воды в СВС и СВО и введением дополнительных вероятностных и экстремальных ограничений на фазовые переменные. Рассмотрим применение предлагаемого класса задач для СВС на примере магистрального водовода (МВ) и для СВО на примере КНС при трехзонном тарифе на электроэнергию, приведенном в табл. 1.

Таблица 1. Трехзонный тариф на электроэнергию

Часы	6.00-8.00	8.00-10.00	10.00-18.00	18.00-22.00	22.00-23.00	23.00-6.00
Коэффициент	1,02	1,68	1,02	1,68	1,02	0,35

Класс задач. Интервал управления $[0, T]$ (одни сутки) разбивается на 24 подынтервала, соответствующих каждому часу $k=0, \dots, 23$. При $k=0$ для МВ известны: прогнозы расходов в виде условных математических ожиданий, вычисляемых в момент времени $k=0$, с упреждением $l=1, 2, \dots, 23$ всех попутных потребителей $q_{ik}(l)$, получающих воду из МВ, и конечных потребителей $q_{jk}(l)$, получающих воду из резервуара на выходе МВ; уровень воды в z -ом РЧВ - H_{zk} ; структура МВ и параметры, характеризующие режим его работы (расходы по всем участкам и давления во всех узлах МВ). Для СВО прогнозы притока сточных вод в приемном резервуаре (ПР) КНС в виде условных математических ожиданий, вычисляемых в момент времени $k=0$, с упреждением $l=1, 2, \dots, 23$. Также известны статические данные: длины, диаметры, геодезические отметки участков трубопровода, оценки параметров моделей насосных агрегатов (НА) на каждой насосной станции (НС), размеры РЧВ и ПР КНС, оценки гидравлических сопротивлений регулируемых задвижек (РЗ) на каждой НС. Целевую функцию задачи оптимального стохастического управления режимами работы СВС И СВО за сутки представим в виде математического ожидания суммарной стоимости электроэнергии, затрачиваемой всеми НС на интервале управления $[0, T]$:

$$M_{\omega} \sum_{k=0}^{23} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} N_{ijk}(q_{ik}(\omega)) \cdot r_k \rightarrow \min_{u(k) \in \Omega} . \quad (1)$$

Область ограничений Ω определяется стохастической моделью квазистационарных режимов работы водопроводной сети [1]:

$$M_{\omega} \left(h_{rk}(q_{rk}(\omega)) + \sum_{i \in L} b_{1ri} h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) + \sum_{i \in R} b_{1ri} h_{RZik}(q_{ik}(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri} h_{ik}(q_{ik}(\omega)) \right) = 0,$$

$$(r = v, \dots, v + \eta_2 - 1; \quad k = 0, \dots, 23), \quad (2)$$

$$\mathbf{M}_{\omega} \left(h_{NSjk}(\omega) - H_{zk}(\omega) - h_{NAjrk}(q_{rk}(\omega)) + h_{RZjrk}(q_{rk}(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri}(h_{ik}(q_{ik}(\omega)) + h_i^{(g)}) \right) = 0, \quad (3)$$

$$(j = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, m; \quad z = 1, \dots, Z).$$

$$q_{ik}(\omega) = \mathbf{M}_{\omega} \left(\sum_{r=v}^{v+\eta_2-1} b_{1ri} q_{rk}(\omega) + \sum_{r=v+\eta_2}^e b_{1ri} q_{rk}(\omega) \right), \quad (i = 1, \dots, v-1), \quad (4)$$

$$q_{ik}(\omega) > 0, \quad i \in L. \quad (5)$$

$$h_{ik}(q_{ik}(\omega)) = \text{sgn } q_{ik}(\omega) S_i(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in M, \quad (6)$$

$$h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = a_{0i}(\omega) + a_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + a_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (7)$$

$$\eta_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = d_{0i}(\omega) + d_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + d_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (8)$$

$$N_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{9,81 \cdot h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) \cdot q_{ik}(\omega)}{0,9 \cdot \eta_{NAik}(q_{ik}(\omega))}, \quad i \in L, \quad (9)$$

$$h_{RZik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{q_{ik}(\omega) C_i(\omega)}{E_{ik}^2}, \quad i \in R, \quad (10)$$

и моделями резервуаров

$$H_{zk}(\omega) = H_{zk-1}(\omega) + c_{zk}(q_{zvkh}(\omega) - q_{zvhk}(\omega)), \quad (z = 1, \dots, Z), \quad (11)$$

с вероятностными ограничениями на фазовые переменные:

$$P(H_{zk}(\omega) \leq H_z^{\max}) \geq \alpha, \quad P(H_{zk}(\omega) \geq H_z^{\min}) \geq \alpha, \quad \alpha \approx 0,97, \quad (12)$$

и экстремальными значениями ограничений для фиксированных моментов времени $k=6$ и $k=23$ для МВ (для КНС экстремальные значения ограничений должны быть заменены на противоположные) :

$$\mathbf{M}_{\omega} \{ H_{z6}(\omega) \} \rightarrow \max_{q_{zvhk} \in \Omega}, \quad (k = 0, \dots, 6), \quad (13)$$

$$\mathbf{M}_{\omega} \{ H_{z23}(\omega) \} \rightarrow \min_{q_{zvhk} \in \Omega}, \quad (k = 0, \dots, 23), \quad (14)$$

где $u(k)$ - вектор управления, определяющий количество работающих НА, положение РЗ; $H_{zk}(\omega)$ - уровень воды в z -ом РЧВ на заданном k -ом интервале времени, H_z^{\min} - минимально допустимый уровень воды в z -ом РЧВ, H_z^{\max} - максимально допустимый уровень воды в z -ом РЧВ.

Использование предлагаемого класса задач для одного из крупнейших МВ Украины дало экономический эффект по стоимости электроэнергии до 8,16%, что в абсолютных величинах для рассматриваемого примера составило 608 тыс. грн. в месяц, а для одной из наиболее крупных КНС Украины затраты электроэнергии на перекачку сточных вод при переходе на трёхуровневый тариф снизились на 40%.

Литература

1. Teviashev A.D., Matvienko O.I. 2014. About One Approach to Solve the Problem of Management of the Development and Operation of Centralized Water-Supply Systems. Econtechmod. An International Quarterly Journal. Vol. 3, №3., 61-76.