

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Гриценко К.Г.
Украинская академия банковского дела
Червяков В.Д.
Сумский государственный университет

Введение. В настоящее время в Украине повышенную актуальность имеет задача экономного использования энергоресурсов. В большинстве случаев на насосных станциях (НС) городского водоснабжения несколько насосных агрегатов (НА) работают параллельно на общую сеть, характерной особенностью которой является зависимость гидравлического сопротивления от водопотребления, имеющего стохастический характер. Вследствие этого рабочие режимы насосных агрегатов оказываются вне рабочих зон их характеристик, и необходимо изменять режим работы НС, включая в работу только те НА, которые обеспечивают требуемую производительность НС при минимальных энергозатратах. Высокие показатели энергоэффективности систем городского водоснабжения могут быть достигнуты только при использовании регулируемого электропривода (РЭП) насосных агрегатов, позволяющего оптимально распределить нагрузку между НС.

Предложенный в [1] метод оперативно-диспетчерского управления режимами работы НС, использующий модель установившегося потоко-распределения, требует от системы автоматизации в реальном масштабе времени идентифицировать состояние этой модели. В системах городского водоснабжения, характеризующихся сложной структурой трубопроводов и стохастическим характером процессов водопотребления, это представляет достаточно сложную техническую задачу. Для выбора оптимального режима работы НС в большинстве случаев нецелесообразно проводить гидравлический расчет водопроводной сети [2]. Это объясняется трудностью получения данных о фактических и требуемых значениях узловых расходов для каждого часа предстоящих суток. Для выбора оптимального режима работы НС требуются, в первую очередь, данные о требуемом давлении в диктующей точке водопроводной сети и на выходе НС, а значение требуемой подачи НС во многих случаях можно спрогнозировать с достаточной для практики точностью, имея в наличии предысторию работы НС. На этой основе метод оперативно-диспетчерского управления режимами работы НС, предложенный в [1], может быть модифицирован с приемлемой для практики точностью, что позволит существенно расширить сферу его использования.

Цель работы. Основной целью исследований в данной статье является разработка принципов энергоэффективного управления системой городского

водоснабжения и практических рекомендаций по их технической реализации в автоматизированной системе управления городским водоснабжением, предложенной в [3].

Материал и результаты исследования. Энергоэффективность системы городского водоснабжения с несколькими НС второго подъема и подкачки, работающими на общую водопроводную сеть, в первую очередь зависит от распределения нагрузки между НС. В общем случае для работающих на общую водопроводную сеть насосных станций НС1 и НС2 условие оптимального с точки зрения энергоэффективности распределения нагрузки между НС записывается в виде

$$\left(H_{НС1} - \frac{h_1}{3} \right) - \left(H_{НС2} - \frac{h_2}{3} \right) = \frac{2}{3} (Z_2 - Z_1), \quad (1)$$

где: h_1, h_2 – давление на входе насосных станций; $H_{НС1}, H_{НС2}$ – давление на выходе насосных станций; Z_1, Z_2 – геодезические отметки осей насосов.

Для насосных станций второго подъема, осуществляющих забор воды из источников, уровень воды в которых меняется по сравнению с давлением на выходе насосов незначительно, можно принять $h_1=0$ и $h_2=0$. Тогда условие (1) принимает следующий частный вид:

$$H_{НС1} - H_{НС2} = \frac{2}{3} (Z_2 - Z_1). \quad (2)$$

Условия (1)-(2) позволяют оптимально распределить нагрузку между произвольным количеством насосных станций. Для этого необходимо использовать принцип управления «ведущий-ведомый», рассмотренный в [4]. Кроме того, необходимо обеспечить в водопроводной сети давления, не превышающие требуемые. Превышение давления в диктующей точке ведет к перерасходу электроэнергии на подачу воды, повышенному расходу воды и авариям в сети, а снижение — к потерям системы водоснабжения вследствие неполной обеспеченности водой потребителей. Таким образом, система энергоэффективного управления водоснабжением должна обеспечивать два условия: оптимальное распределение нагрузки между насосными станциями по формулам (1)-(2) и стабилизацию давления в диктующей точке водопроводной сети

$$h_{ом}(t, U) = h_{ом}^{TP}(t), \quad (3)$$

где $t \in [0, T]$ – интервал времени, на котором осуществляется управление системой водоснабжения; $U(t)$ – вектор управления; $h_{ом}^{TP}(t)$ – давление, кото-

рое необходимо обеспечить в диктующей точке водопроводной сети.

На практике, чтобы обеспечить выполнение условий (1)-(3), необходимо использовать РЭП. Его стандартное программное обеспечение позволяет реализовать закон ПИ-регулирования давления в диктующей точке водопроводной сети. Необходимо лишь определить параметры ПИ-регулятора давления. Методика определения параметров ПИ-регулятора давления рассмотрена в [5]. Исходя из математического описания гидросети [6], основанного на волновых уравнениях, определена передаточная функция гидросети $W_z(p)$, связывающая величины давлений на выходе регулируемого НА (h_{HA}^{pez}) и в диктующей точке гидросети (h_{dm}):

$$W_z(p) = \frac{\Delta h_{dm}}{\Delta h_{HA}^{pez}} = \frac{R_2}{p^2 L_2 R_2 C_2 + p(L_2 + C_2 R_1 R_2) + R_1 + R_2}, \quad (4)$$

где $R_i, i=1,2$ – эквивалентное гидравлическое сопротивление трубопроводов от регулируемого НА до места расположения датчика давления ($i=1$) и на остальном участке ($i=2$); C_2 и L_2 – соответственно, гидравлические емкость и индуктивность водопроводной сети. Формулы для расчета указанных параметров приведены в [6].

Если в состав водопроводной сети входят накопительные резервуары, то импеданс ее приобретает ярко выраженный емкостной характер и можно принять гидравлическую индуктивность $L_2=0$. При этом передаточная функция (4) упрощается и принимает вид

$$W_z^*(p) = \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1},$$

$$\text{где } k_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad T_2 = \frac{R_1 \cdot C_2}{k_2}.$$

С точки зрения теории управления центробежный насос представляет собой преобразователь входной величины ω в выходную h_{HA}^{pez} . При этом расход Q_{HA} относится к возмущению со стороны нагрузки – водопроводной сети. Особенностью центробежного насоса как элемента системы управления является то, что его коэффициент передачи $K_{ин}$ зависит от скорости вращения ω и расхода Q_{HA} :

$$K_{ин} = \frac{\partial h_{HA}^{pez}(Q_{HA})}{\partial \omega}.$$

Известно, что инерционность водопроводной сети намного превышает длительность переходных процессов РЭП. Поэтому РЭП допустимо описать следующей передаточной функцией, связывающей скорость вращения РЭП ω с заданием ω_z по этой переменной:

$$W_{ЭП}(p) = \frac{\Delta \omega(p)}{\Delta \omega_z(p)} = \frac{1}{T_{ЭП} \cdot p + 1},$$

где $T_{ЭП}$ – постоянная времени РЭП.

Передаточная функция неизменяемой части системы имеет вид

$$W_{н.ч.}(p) = W_{ЭП}(p) \cdot k_{ин} \cdot W_z^*(p) = \frac{1}{T_{ЭП} \cdot p + 1} \cdot \frac{k_{ин} \cdot k_2}{T_2 \cdot p + 1}.$$

Для водопроводной сети (объекта управления с одной большой инерционностью $T_2 > T_{ЭП}$) ПИ-регулятор давления можно настроить на модульный оптимум. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид

$$W_{ПИ}(p) = \frac{\Delta \omega_z(p)}{\Delta h_{dm}(p)} = k_{ПИ} \frac{T_{ПИ} \cdot p + 1}{T_{ПИ} \cdot p}.$$

Здесь параметры $k_{ПИ} = \frac{T_2}{2 \cdot k_{ин} \cdot k_2 \cdot T_{ЭП}}$ и $T_{ПИ} = T_2$

выбраны из условия настройки на модульный оптимум.

На практике из-за изменения параметров водопроводной сети k_2 и T_2 точной компенсации инерционности водопроводной сети достичь невозможно. Поэтому задача синтеза ПИ-регулятора давления в диктующей точке водопроводной сети сводится к выбору параметров регулятора $k_{ПИ}$ и $T_{ПИ}$, при которых для известного диапазона изменения параметров водопроводной сети k_2 и T_2 достигается наименьшее отклонение перерегулирования σ и времени переходного процесса $t_{н.н.}$ от их оптимальных значений $\sigma^{onn} = 4,3\%$ и $t_{н.н.}^{onn} = 4,1 \cdot T_{ЭП}$, соответствующих условию настройки системы на модульный оптимум в номинальном режиме.

В [5] сформулированы общие рекомендации по настройке параметров ПИ-регулятора давления в диктующей точке водопроводной сети: постоянная времени $T_{ПИ}$ должна равняться большему из возможных значений T_2 , а коэффициент усиления $k_{ПИ}$ лучше устанавливать заниженным, исходя не из номинального, а из среднего значения параметров гидросети k_2 и T_2 . Для тех случаев, когда пренебрежение гидравлической индуктивностью L_2 водопроводной сети недопустимо, необходимо использовать закон ПИД-регулирования давления. Стандартное программное обеспечение РЭП позволяет успешно его реализовать.

В [1] показано, что для повышения эффективности управления режимами работы НС необходимо рассматривать НС как объект, функционирующий в стохастической среде. В общей постановке задача энергоэффективного управления режимами работы НС на интервале времени $[0, T]$ состоит в минимизации математического ожидания функционала вида

$$F(T) = p \cdot M \left\{ \int_0^T c(t) \cdot P_{HC}(Q_{HC}(t), U(t)) \cdot dt \right\} \rightarrow \min_{U(T) \in D},$$

характеризующего стоимостные затраты на процесс управления водоснабжением. Здесь p – действующий тариф на потребление электроэнергии; $c(t)$ – тарифный коэффициент, учитывающий изменение

стоимости электроэнергии, потребляемой НС в течение интервала $[0, T]$; D – область допустимых управлений НС.

Как технологический объект, НС городского водоснабжения характеризуется территориальной близостью насосных агрегатов и подключением выходов НА к общему напорному коллектору. НА представляет собой комплекс оборудования, состоящий из насоса в совокупности с электроприводом. Регулируемый электропривод представляет собой электродвигатель с подключенным к нему управляемым преобразователем (частоты или напряжения). К энергетическим характеристикам НА относятся зависимости «потребляемая мощность-подача» ($P_{НА}-Q_{НА}$) и «к.п.д.-подача» ($\eta_{НА}-Q_{НА}$). Известно, что в диапазоне мощностей от $P_{ном}$ до $(0,4-0,5)P_{ном}$ к.п.д. электродвигателя $\eta_{дв}$ и к.п.д. преобразователя $\eta_{п}$ практически не изменяются, а при снижении потребляемой мощности НА изменяются в значительно меньшей степени, чем к.п.д. насоса η_i , поэтому при фиксированной подаче НС различия в значениях потребляемой НС мощности $P_{НС}$ можно с приемлемой для практических расчетов точностью объяснить изменением к.п.д. регулируемых и нерегулируемых насосов [7].

В момент времени $\forall k \in [0, T]$ при управлении $U(k)$ к.п.д. НС с параллельно работающими НА вычисляется по формуле [8]:

$$\eta_{iN}(k) = \frac{\sum_{i \in M_{НА}^{рег}} A_i(k) Q_{НАi}(k) + \sum_{j \in M_{НА}^{нерег}} A_j(k) Q_{НАj}(k)}{\sum_{i \in M_{НА}^{рег}} A_i(k) \frac{Q_{НАi}(k)}{\eta_{НАi}(Q_{НАi}, \omega_i)} + \sum_{j \in M_{НА}^{нерег}} A_j(k) \frac{Q_{НАj}(k)}{\eta_{НАj}(Q_{НАj})}},$$

где ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; $M_{НА}^{рег}$, $M_{НА}^{нерег}$ — соответственно множество регулируемых и нерегулируемых НА; $Q_{НАi}(k)$, $\eta_{НАi}(Q_{НАi}, \omega_i)$ и $Q_{НАj}(k)$, $\eta_{НАj}(Q_{НАj})$ — подача и к.п.д., соответственно i -го регулируемого и j -го нерегулируемого НА; $U(k)$ – вектор управления, который содержит следующие переменные: булевы переменные $A_i(t) \in [0; 1]$, описывающие состояние (включен/выключен) i -го НА, $i \in M_{НА}$, где $M_{НА}$ – множество НА; $\omega_i(k)$, $i \in M_{НА}^{рег}$, – скорость вращения i -го регулируемого НА; булевы переменные $E_{P3j}(k) \in [0; 1]$, описывающие состояние j -ой регулирующей задвижки (открыта/закрыта), $j \in M_{P3}$, где M_{P3} – множество регулирующих задвижек; булевы переменные $E_{O3j}(k) \in [0; 1]$, описывающие состояние j -ой отсекающей задвижки (открыта/закрыта), $j \in M_{P3}$, где M_{P3} – множество отсекающих задвижек.

Если известна вся предыстория работы НС, т.е. известны значения подачи НС $Q_{НС}(k)$, $k=0, -1, -2, \dots$, где k – шаг управления, то для $k=1, 2, \dots, T$ с использованием моделей авторегрессии или проинте-

грированного скользящего среднего можно получить прогнозы подачи НС $Q_{НС0}(k)$ и вектора управления НС $U_0(k)$ (траекторию поведения НС), которые рассчитываются в начальный момент времени с упреждением $k=1, 2, \dots, T$. В связи с этим, решение задачи энергоэффективного управления городским водоснабжением (1-3) можем разбить на два этапа [8]. На первом этапе решается задача планирования режима работы насосных станций. На втором этапе решается задача стабилизации режима работы насосных станций, осуществляемая средствами РЭП.

Целевая функция планирования режима работы НС записывается в виде [8]:

$$F_1(T) = p \cdot \sum_{k=1}^T c(k) \cdot P_{НС}(Q_{НС}(k), U(k)) = p \rho g \sum_{k=1}^T \frac{c(k) Q_{НС}(k) H_{НС}(Q_{НС}(k), U(k))}{\eta_{НС}(k)} \rightarrow \min_{U(T) \in D} \quad (5)$$

при соблюдении следующих технологических условий:

– для диктующей точки водопроводной сети

$$h_{ом}(k, U) = h_{ом}^{TP}(k); \quad (6)$$

– для выходов насосных станций, работающих на водопроводную сеть

$$\left(H_{НСi}(Q_{НСi}(k), U_i(k)) - \frac{h_i(k)}{3} \right) - \left(H_{НСi+1}(Q_{НСi+1}(k), U_{i+1}(k)) - \frac{h_{i+1}(k)}{3} \right) = \frac{2}{3} (Z_{i+1} - Z_i) \quad i = 1, 2, \dots, N_{НС} - 1, \quad (7)$$

где $h_{ом}^{TP}(k)$ – давление, которое необходимо обеспечить в диктующей точке водопроводной сети; $N_{НС}$ – количество насосных станций, работающих на водопроводную сеть; $h_i(k)$ – давление на входе i -ой НС; $H_{НСi}(Q_{НСi}(k), U_i(k))$ – давление в напорном коллекторе i -ой НС; Z_i, Z_{i+1} – геодезические отметки осей насосов насосных станций; D – область допустимых управлений НС, включающая следующие ограничения, сформулированные в [1]:

– для каждого входного резервуара НС

$$\left| \sum_{k=1}^T Q_{вхj}(k) - \sum_{k=1}^T \sum_{i \in M_{НА}} A_i(k) Q_{НАi}(k) \right| \leq \left| \int_{h_{Pj}(0)}^{h_{Pj}(T,U)} S_j(h_{Pj}) dh_{Pj} \right|, \quad j \in I_1; \quad (8)$$

– для каждого выходного резервуара НС

$$\left| \sum_{k=1}^T \sum_{i \in M_{НА}} A_i(k) \cdot Q_{НАi}(k) - \sum_{k=1}^T Q_{выхj}(k) \right| \leq \left| \int_{h_{Pj}(0)}^{h_{Pj}(T,U)} S_j(h_{Pj}) dh_{Pj} \right|, \quad j \in O_1; \quad (9)$$

– для каждого резервуара НС ограничение на уровень воды в резервуаре имеет вид

$$h_{P_i}^{\min} < h_{P_i}(k, U) < h_{P_i}^{\max}, \quad i \in I_1 \cup O_1; \quad (10)$$

– для каждого регулируемого НА ограничение на скорость вращения имеет вид

$$\omega_i^{\min} \leq \omega_i(k) \leq \omega_i^{\max}, i \in M_{HA}^{pez}, k = 1, 2, \dots, T; \quad (11)$$

– ограничения на количество включений/выключений НА:

$$N_{вкл/выкл i}(T, U) \leq N_{вкл/выкл i}^{\max}, i \in M_{HA}; \quad (12)$$

– ограничение на давление в напорном коллекторе НС:

$$H_{НС}^{\min} \leq H_{НС}(Q_{НС}(k), U(k)) \leq H_{НС}^{\max}, \\ k = 1, 2, \dots, T; \quad (13)$$

– ограничение на подачу НА:

$$Q_{HAi}^{\min} \leq Q_{HAi}(k) \leq Q_{HAi}^{\max}, i \in M_{HA}, \\ k = 1, 2, \dots, T; \quad (14)$$

– ограничение на потребляемую мощность НА:

$$P_{HAi}^{\min} \leq P_{HAi}(Q_{HAi}(k), U(k)) \leq P_{HAi}^{\max}, i \in M_{HA}, \\ k = 1, 2, \dots, T; \quad (15)$$

В постановке (5)–(15) I_l, O_l – множество входов и выходов НС, оборудованных резервуарами. Зависимости (8)–(9) представляют собой уравнения баланса масс резервуаров в интегральном виде. Их соблюдение позволяет не допустить значительного отклонения между уровнями в резервуарах в начале и в конце управления, т.е. отклонений между $h_{p_j}(0)$ и $h_{p_j}(T, U)$. $S_j(h_{p_j})$ – функция площади зеркала j -го резервуара в зависимости от уровня h_{p_j} . $Q_{вх j}(k)$ – поступление воды в j -ый резервуар. $Q_{вых j}(k)$ – расход воды из j -го резервуара.

Ограничения (8)–(10) охватывают разные по структуре типы НС («резервуар – машинный зал – гидросеть», «гидросеть – машинный зал – резервуар», «резервуар – машинный зал – резервуар», «гидросеть – машинный зал – гидросеть»). Переход к конкретному типу НС осуществляется путем удаления части соответствующих ограничений (8)–(10).

Задача (5)–(15) планирования режима работы НС относится к задачам вариационного исчисления на условный экстремум функционала, и укладывается в схему динамического программирования. Входными данными алгоритма решения этой задачи для НС структуры «резервуар – машинный зал – гидросеть» являются следующие величины [8]:

1) требуемое значение давления в напорном коллекторе насосной станции $H_{НС}(Q_{НС}(k), U(k))$, $k = 1, 2, \dots, T$, получаемое в результате решения задачи (1)–(3) оптимального распределения нагрузки между НС;

2) требуемое значение подачи НС, получаемое либо в результате прогноза на основе предыстории работы НС либо в результате гидравлического расчета водопроводной сети;

3) прогнозы поступления воды $\hat{Q}_{вх}(k)$, $k = 1, 2, \dots, T$, во входной резервуар;

4) значение уровня $h_p(0)$ воды во входном резервуаре в начальный момент времени;

5) параметры ограничений (10)–(15);

6) значение Δh_p – допустимого отклонения $h_p(T, U)$ от $h_p(0)$;

7) набор возможных режимов работы НС, которые определяются соединениями из работоспособных НА. Каждое такое соединение НА определяет подачу насосной станции $Q_{НС}(k)$ и затраты электроэнергии $W_{НС}(Q_{НС}(k), U(k))$, $k = 1, 2, \dots, T$;

8) начальная конфигурация НС (включенные в работу НА и режимы их работы).

Под возможным управлением НС на r -ом шаге понимаем такой набор режимов работы НС: $U(k)$, $k = 1, \dots, r$, при котором только $h_p(k)$, $k = 1, \dots, r-1$, удовлетворяют ограничениям (10), и выполняются

$$N_{вкл/выкл i}(U(r-1)) \leq N_{вкл/выкл i}^{\max}, \\ i \in M_{HA}; \quad \omega_i^{\min} \leq \omega_i(r-1) \leq \omega_i^{\max}, \quad i \in M_{HA}^{pez}.$$

Под допустимым управлением НС на начало $r+1$ -ого шага управления понимаем такой набор режимов работы НС: $U(k)$, $k = 1, \dots, r$, при котором все $h_p(k, U)$, $k = 1, \dots, r$, удовлетворяют ограничениям (10), и выполняются неравенства

$$N_{вкл/выкл i}(r, U) \leq N_{вкл/выкл i}^{\max}, \quad i \in M_{HA};$$

$\omega_i^{\min} \leq \omega_i(r) \leq \omega_i^{\max}$, $i \in M_{HA}^{pez}$, обеспечиваются заданные подача и давление на выходе НС.

Алгоритм решения этой задачи рассмотрен в [8]. Насосная станция на всем интервале планирования должна обеспечивать требуемую величину давления $H_{НС}(Q_{НС}(k), U(k))$ и подачу $Q_{НС}(k)$, определяемую водопотреблением. Требуемое значение подачи $Q_{НС}(k)$ либо прогнозируется на основе предыстории работы НС либо рассчитывается по модели установившегося потокораспределения в системе водоснабжения [1], составленной в соответствии с вектором управления $U(k)$. Входными данными для расчета потокораспределения являются $h_p(k-1, U)$, $h_{от}^{TP}(k)$, $H_{НС_i}(k)$, $i = 1, 2, \dots, N_{НС}$, а также требуемые значения узловых расходов и параметры идентифицированных по экспериментальным данным элементов системы водоснабжения (насосных агрегатов, участков трубопровода, регулирующих и отсекающих задвижек, обратных клапанов и т.д.). Интервал планирования разбивается на подынтервалы планирования $k = 1, 2, \dots, T$, отличающиеся требуемыми значениями подачи и давления на выходе НС. На каждом k -ом подынтервале планирования из допустимых конфигураций (управлений) НС, полученных на предыдущих $k-1$ шагах, выбираются возможные. Потом из них выбираются допустимые конфигурации НС, для каждой из которых рассчитывается оптимальный режим работы (состав включенных НА и скорости вращения регулируемых НА). Далее, среди допустимых управлений выбирается то, у которого значение $\eta_{НС}(Q_{НС}(k), U(k))$ максимальное. Этот режим является оптимальным на k -ом подынтервале

планирования. После выполнения процедур T шага переходим к заключительному шагу, на котором вначале отсеиваем те допустимые управления T шага, при которых нарушаются ограничения (8), т.е. $|h_p(0) - h_p(T, U)| > \Delta h_p$. Далее, среди допустимых управлений выбираем то, у которого значение $\eta_{НС}(Q_{НС}(T), U(T))$ максимальное. Полученное состояние принимается в качестве решения задачи планирования режима работы НС. Дальнейшая стабилизация режима работы НС осуществляется средствами РЭП.

По принципу управления и подчиненности система управления городским водоснабжением является многоуровневой иерархической системой. Функциональная структура автоматизированной системы управления городским водоснабжением, позволяющей реализовать предложенные принципы энергоэффективного управления, рассмотрена в [3]. В ее состав входят компьютеризованные подсистемы: формирования технологического задания для насосных станций, управления режимом работы технологического оборудования насосной станции, координации режимов работы регулируемых насосных агрегатов насосной станции.

Выводы. Повышение энергоэффективности систем городского водоснабжения возможно, в первую очередь, за счет совершенствования методов управления водоснабжением с использованием средств управляющей компьютерной техники. В условиях стохастической среды, характерных для городского водоснабжения, задача энергоэффективного управления водоснабжением решается путем планирования режима работы насосных станций и последующей его стабилизации.

Разработаны основные принципы управления системой городского водоснабжения, позволяющие оптимизировать ее энергозатраты. Сформулированы условия (1)-(3) оптимального с точки зрения энергоэффективности распределения нагрузки между НС и целевая функция (5) планирования режима работы НС, позволяющая осуществлять выбор насосных агрегатов (дискретное управление), которые способны с минимальными энергозатратами выполнить технологическое задание по давлению и подаче на выходе НС. Сформулированы технологические условия (6)-(7) решения задачи планирования режима работы НС. Область D допустимых управлений НС сформулирована в виде ограничений (8)-(15). На этой основе разработан алгоритм планирования оптимального режима работы НС, позволяющий без гидравлического расчета водопроводной сети с приемлемой для практики точностью оптимизировать состав работающих НА по критерию минимизации затрат электроэнергии.

Непрерывное управление режимом работы НС заключается в изменении скорости вращения регулируемых НА с целью обеспечения стабилизации режима работы НС. Для этого необходимо использовать РЭП, реализующий закон ПИ-регулирования

давления в диктующей точке водопроводной сети. Рассмотрен порядок расчета и сформулированы общие рекомендации по настройке параметров ПИ-регулятора давления в диктующей точке водопроводной сети.

На сегодняшний день разработаны эффективные средства контроля технологических параметров системы городского водоснабжения и плавного регулирования технологических параметров насосных агрегатов. Современная НС имеет все необходимые измерители: давления, подачи, мощности, расхода электроэнергии. Следовательно, имеются все необходимые предпосылки для создания автоматизированных систем управления городским водоснабжением, реализующих предложенные принципы энергоэффективного управления водоснабжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тевяшев А.Д., Шулик П.В., Никитенко Г.В. Стохастическая модель и метод оптимального управления режимом работы насосной станции // АСУ и приборы автоматики. Х.: Изд-во ХТУРЭ. – 2002. – №3. – С.48-57.
2. Пособие по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения (к СНиП 2.04.02-84).
3. Гриценко К.Г., Червяков В.Д. Системный подход к решению проблемы энергосбережения при автоматизации процессов водоснабжения // Вісник Сумського державного університету. – 2002. – №12. – С.10-14.
4. Гриценко К.Г., Червяков В.Д. Экстремальное управление системой водоснабжения // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. – Кременчуг: КГПИ, 1999. Вып.1. — С.65-69.
5. Гриценко К.Г., Червяков В.Д. Энергоэффективный метод дискретно-непрерывного управления насосными станциями системы водоснабжения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – №6/2(18). — С.4-8.
6. Бердников В.В. Прикладная теория гидравлических цепей. – М.: Машиностроение, 1977. – 192с.
7. Чебанов В.Б. Системы автоматического управления насосными установками // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника. Наустechn. – 1994. – №1. – С.14-16.
8. Гриценко К.Г., Червяков В.Д. Энергоэффективный алгоритм управления режимами работы насосной станции системы водоснабжения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006 – №1/2(19). — С.17-21.