

поверхностных сточных вод. СН 496-77. — М., 1978. — 40 с. 5. Г а т и л л о П.Д., О д и н е ц А.Н. Распределение периодов однократного превышения сумм осадков за дождь на территории Белоруссии. — В кн.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1984, вып. 13, с. 25—34.

УДК 628.143.001.2

В.П.СТАРИНСКИЙ, канд. техн. наук (БПИ)

## ОБ УТОЧНЕНИИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ УСЛУГ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Системы водоснабжения являются крупнейшими потребителями электроэнергии. Стоимость услуг энергообеспечения этих систем относится к важнейшим показателям, определяющим расчетные параметры их основных элементов. Это обстоятельство заставляет постоянно совершенствовать и уточнять методики определения стоимости указанных услуг. Необходимость такой работы диктуется введением в 1982 г. новых тарифов на электроэнергию, некоторыми изменениями в условиях оплаты услуг энергообеспечения, а также постоянно растущими требованиями к повышению достоверности стоимости этих услуг. Согласно новому прейскуранту на электроэнергию [1], оплата услуг энергообеспечения осуществляется по одно- или двухставочному тарифу в зависимости от присоединенной к энергосистеме мощности энергопотребителей. При этом в качестве энергопотребителей системы водоснабжения выступает каждая насосная станция системы в отдельности или связанный с нею и питаемый от одной тарифной трансформаторной подстанции комплекс энергопотребляющих водопроводных сооружений. Их присоединенную к энергосистеме мощность (при условии, что для привода разнотипных насосов и другого оборудования могут использоваться одновременно низковольтные и высоковольтные электродвигатели) можно определить по формуле

$$P = \frac{K_{с.п} K_{т.р} \sum_{i=1}^{n_1} P_i}{\eta_{т.р} \cos \varphi} + \frac{\sum_{j=1}^{n_2} P_j}{\cos \varphi} ,$$

где  $K_{с.п}$  — коэффициент, учитывающий нагрузку сопутствующих потребителей (освещение, привод вспомогательного оборудования и т.п.) и принимаемый равным 1,05—1,08;  $K_{т.р}$  — коэффициент (1,5), учитывающий трансформаторный резерв;  $\eta_{т.р}$  — КПД трансформатора (0,97);  $\sum_{i=1}^{n_1} P_i$  — суммарная

мощность низковольтных двигателей у рабочих агрегатов станции или водопроводного комплекса;  $\sum_{j=1}^{n_2} P_j$  — суммарная мощность электродвигателей

высокого напряжения у рабочих агрегатов станции;  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности — 0,90;  $n_1, n_2$  — число рабочих агрегатов соответственно с низковольтными и высоковольтными электродвигателями.

Для наиболее часто встречающихся насосных станций с низковольтными двигателями

$$P_n = \frac{9,81 K_{c.n} K_{т.р}}{\eta_{т.р} \eta_n \eta_d \cos \varphi} Q_p H_p,$$

где  $\eta_n$  и  $\eta_d$  — КПД соответственно насосов и их электродвигателей;  $Q_p$  и  $H_p$  — расчетные подача и напор насосной станции.

Для комплекса сооружений, объединяющего группу водозаборных скважин и насосную станцию второго подъема,

$$P_n = \frac{9,81 K_{c.n} K_{т.р}}{\eta_{т.р} \cos \varphi} \left( \frac{Q_p H_p}{\eta_n \eta_d} + \sum_{i=1}^{n_c} \frac{Q_i H_i}{\eta_i} \right),$$

где  $Q_i$  и  $H_i$  — подача и напор скважин водозабора;  $\eta_i$  — полный КПД насосных агрегатов скважин;  $n_c$  — число скважин в водозаборе.

По одноставочному тарифу определяется стоимость энергообеспечения тех энергопотребителей системы водоснабжения, присоединенная мощность которых меньше 750 кВА. Стоимость этих услуг определяется как плата за годовое количество отпущенной потребителю активной электроэнергии. Для проектируемых систем водоснабжения она исчисляется по расчетным затратам энергии каждого ее потребителя и определяется по формуле

$$Z_э = E_c \sigma = T_0 \sigma \sum_{i=1}^n P_{p.i} \gamma_i,$$

где  $E_c$  — количество отпущенной системе за год активной энергии;  $T_0$  — число часов в году;  $P_{p.i}$  — расчетные (активные) мощности отдельных потребителей энергии системы водоснабжения;  $\gamma_i$  — коэффициент использования этих мощностей в году или коэффициент неравномерности энергопотребления;  $\sigma$  — тариф на потребляемую электроэнергию.

Применительно к системам, основными потребителями энергии которых являются насосные станции, с расчетными параметрами  $Q_{p.i}$  и  $H_{p.i}$

$$Z_э = 9,81 T_0 \sigma \sum_{i=1}^{n_n} \frac{K_{c.n.i} Q_{p.i} H_{p.i} \gamma_i}{\eta_{т.р.i} \eta_{n.i} \eta_{d.i}}, \quad (1)$$

где  $n_n$  — число насосных станций в системе водоснабжения.

Если присоединенная мощность энергопотребителей системы водоснабжения составляет 750 кВА и выше, то стоимость услуг их энергообеспечения

определяется по двухставочному тарифу. При этом оплате подлежит как заявленная (абонированная) мощность потребителей, так и отпущенное им за год количество активной энергии (но уже по более низкому тарифу). Стоимость услуг энергообеспечения системы водоснабжения в этом случае будет определяться по формуле

$$Z_3 = P_{c.3} \delta + E_c \sigma = \sum_{i=1}^n (P_{3.i} \delta + E_i \sigma),$$

где  $P_{c.3} = \sum_{i=1}^n P_{3.i}$  – суммарная заявленная мощность энергопотребителей системы;  $P_{3.i}$  – заявленная мощность отдельных потребителей;  $E_i$  – количество потребляемой за год активной энергии каждым потребителем системы водоснабжения;  $\delta$  – ежегодная плата за заявленную мощность энергопотребителя.

Под заявленной мощностью понимается абонированная потребителем наибольшая получасовая электрическая мощность, соответствующая периоду максимальной нагрузки энергосистемы. Поскольку максимум нагрузки энергосистемы во всех случаях совпадает с максимумом водопотребления системы водоснабжения, заявленная мощность последней должна определяться из условия обеспечения подачи в водопроводную сеть наибольших хозяйственно-питьевых расходов воды. Это значит, что ее можно найти по расчетным рабочим параметрам насосных станций системы водоснабжения  $K_{сн.i}$ ,  $Q_{p.i}$ ,  $H_{p.i}$ ,  $\eta_{тр.i}$ ,  $\eta_{н.i}$  и  $\eta_{д.i}$ , используя зависимость

$$P_{3.i} = \frac{9,81 K_{сн.i} Q_{p.i} H_{p.i}}{\eta_{тр.i} \eta_{н.i} \eta_{д.i}}.$$

Режим подачи воды в сеть в период пожаротушения для определения заявленной мощности в расчет не принимается ввиду его исключительности. Таким образом, для системы водоснабжения под заявленной мощностью следует понимать рабочую мощность трансформаторов насосных станций на стороне высокого напряжения. От нее с помощью  $\gamma$  и  $T_0$ , как это показано выше, достаточно просто перейти к расчету годовой потребности в активной электроэнергии насосных станций и системы водоснабжения в целом.

С учетом изложенного, применительно к системам водоснабжения, основными потребителями энергии которых являются насосные станции с параметрами  $Q_{p.i}$  и  $H_{p.i}$ ,

$$Z_c = 9,81 \sum_{i=1}^{n_n} \frac{K_{сн.i} Q_{p.i} H_{p.i}}{\eta_{тр.i} \eta_{н.i} \eta_{д.i}} (\delta + T_0 \gamma_i \sigma). \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что зависимость (2) является обобщающей, так как пригодна к использованию для определения  $Z_c$  при одно- и двухставочных тарифах на электроэнергию. В частности, при одноставочном тарифе ( $\delta = 0$ ) она превращается в зависимость (1). Поэтому в дальнейшем с помощью формулы (2) рекомендуется производить все расчеты стоимости услуг энергообеспе-

чения систем водоснабжения. Входящие в выражение (2) величины вполне конкретно могут быть определены на любой стадии проектирования системы водоснабжения. Исключение составляет коэффициент  $\gamma_1$ , величина которого зависит от многих факторов, и в частности от схемы системы водоснабжения, динамики ее развития во времени, режима работы водопитателей сети, соотношения статической и динамической составляющих их напоров, наличия и особенностей расположения водонапорных башен в системе и т.д. Диапазон изменения  $\gamma_1$  — от 0,10 до 1,0, поэтому обоснованный выбор его иногда вызывает затруднения. Вместе с тем, базирясь на опыте работы систем водоснабжения, а также на последних разработках в области режима их водопотребления, можно дать достаточно точные рекомендации по определению коэффициента  $\gamma$  в зависимости от конкретных условий работы этих систем. Например, для скважинных водозаборов можно принимать  $\gamma = 0,80-0,90$ . Аналогично можно использовать его и для многих систем производственного водоснабжения с коэффициентом неравномерности работы  $K_H = 1,1-1,3$ . Для насосных станций, подающих воду в сеть совместно с расположенными в начале ее водонапорными башнями,  $\gamma$ , в соответствии с рекомендациями Н.Н.Абрамова [1], приближенно определим по формуле  $\gamma = 1/K_0 K_H$ , где  $K_0$  — коэффициент, учитывающий изменение водопотребления по годам в течение расчетного срока окупаемости капиталовложений, принимаемый обычно равным  $1,01 \div 1,03$ . Если насосная станция работает совместно с водонапорными башнями, расположенными в конце сети (схема с контррезервуарами), то

$$\gamma = \gamma_1 \tau_1 + \gamma_2 \tau_2 = \frac{a_1 \tau_1}{K_0 K_{H1}} + \frac{a_2 \tau_2}{K_0 K_{H2}},$$

где  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — коэффициенты неравномерности энергопотребления соответственно за периоды транзита воды в башни и обеспечения водой потребностей при совместной работе насосов с башнями;  $a_2$  и  $a_1$  — параметры, значения которых можно принимать в пределах 0,7—0,9 и 1,1—1,6 соответственно;  $K$  — коэффициент суточной неравномерности водопотребления;  $K_{H1}$  — коэффициент неравномерности подачи воды насосами в период транзита (отношение наибольшей подачи воды насосами к средней);  $K_{H2}$  — коэффициент неравномерности подачи воды насосами в период совместной их работы с башнями;  $\tau_1$  и  $\tau_2$  — относительная продолжительность периодов работы насосной станции в первом и втором режимах.

Таблица 1. Характер изменения коэффициента  $\gamma$  для безбашенных систем водоснабжения в зависимости от  $N$  и  $e$

$e = N_{ст}/N_p$	Значения коэффициента $\gamma$ для систем водоснабжения населенных пунктов с числом жителей $N$ , тыс. чел.					
	$\geq 1000$	500	100	25	10	5
1,00	0,710	0,550	0,400	0,300	0,270	0,240
0,75	0,620	0,473	0,330	0,250	0,230	0,200
0,50	0,530	0,390	0,270	0,200	0,180	0,160
0,25	0,440	0,310	0,210	0,150	0,130	0,120
0,00	0,350	0,230	0,140	0,100	0,080	0,070

Для безбашенных систем водоснабжения Н.Н.Абрамовым рекомендуется приближенно определять  $\gamma$  по формуле  $\gamma = 1 / (K_o K_k)^3$ , где  $k$  — максимальный коэффициент часовой неравномерности водопотребления системы.

Ориентировочно  $\gamma$  для башенных систем водоснабжения можно назначать в пределах 0,6–0,8 — при расположении башен в начале сети; 0,4–0,6 — по схеме контррезервуаров и 0,15–0,50 — для безбашенных систем.

Более точное значение коэффициента  $\gamma$  с учетом местных условий и особенностей режима работы водопитателей определим специальным расчетом, в частности на основании данных [2, 3]:

$$\frac{9,81 Q_p H_p \gamma (t_2 - t_1)}{\eta_p} = 9,81 \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q(t) H(t) dt}{\eta(t)}$$

или

$$\begin{aligned} \frac{9,81 Q_p H_p T_o \gamma}{\eta_p} &= 9,81 \int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} \frac{QH(Q) \tau(Q) dQ}{\eta(Q)} = \\ &= 9,81 T_o \sum_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} \frac{Q_i H_i \tau_i \Delta Q}{\eta_i}, \end{aligned}$$

откуда

$$\gamma = \frac{\eta_p \sum_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} \frac{Q_i H_i \tau_i \Delta Q}{\eta_i}}{Q_p H_p} = \frac{q_{\max}}{q_{\min}} \frac{\sum q_i h_i \tau_i \Delta q}{\eta'_i}, \quad (3)$$

где  $Q(t)$ ,  $H(t)$  и  $\eta(t)$  — функции изменения во времени подач воды в системе водоснабжения, напоров и полного КПД насосных станций;  $H(Q)$  и  $\eta(Q)$  — функции изменения требуемого напора насосных станций системы водоснабжения и их полного КПД (с учетом потерь энергии в насосе, электроприводе и на регулирование подач воды) в зависимости от подач воды в сеть;  $\tau(Q)$  — функция вероятности или частоты подаваемых в сеть расходов воды насосных станций;  $Q_{\max}$  и  $Q_{\min}$  — максимальный и минимальный расходы водопотребления системы;  $q_{\max}$  и  $q_{\min}$  — их относительные величины, выраженные в долях от  $Q_p$ ;  $Q_i$  и  $q_i$  — абсолютные и относительные величины подачи воды в систему, соответствующие выделенным  $i$ -полосам изменения  $Q$  и  $q$ ;  $\Delta Q$  и  $\Delta q$  — ширина выделенных для  $Q$  и  $q$  полос;  $\tau_i$  — вероятность появления расходов  $Q_i$  и  $q_i$ ;  $\eta_i$  и  $\eta'_i$  — абсолютные и относительные (в долях от  $\eta_p$ ) значения КПД насосных агрегатов станции, соответствующие рассматриваемым значениям  $Q_i$  и  $q_i$ .

Функции  $Q(t)$  и  $\tau(Q)$  зависят от режима подачи воды в сеть системы водоснабжения, характеризующегося числом обслуживаемых ею жителей и других потребителей,  $H(t)$  и  $H(Q)$  — от условий подачи этой воды (и в первую очередь от соотношения статической и динамической составляющих

расчетного напора или его структуры по этим составляющим);  $\eta(t)$  и  $\eta(Q)$  — от технического совершенства применяемого для подачи воды насосного оборудования и его электропривода, числа установленных рабочих агрегатов и способа регулирования подачи воды в сеть.

От перечисленных факторов зависит и значение коэффициента  $\gamma$ . Наибольший интерес представляет эта зависимость для широко применяемых в Советском Союзе безбашенных систем водоснабжения населенных пунктов (табл.1). Данные этой таблицы получены автором по формуле (3) с использованием изложенной в [2] и [3] методики построения кривых  $H(Q)$ ,  $\tau(Q)$  и  $\eta(Q)$  для систем водоснабжения, обеспечивающих потребности различного числа жителей и имеющих неодинаковую структуру расчетных напоров по их составляющим.

Анализ таблицы показывает, что в зависимости от местных условий  $\gamma$  изменяется в довольно значительном диапазоне, чего нельзя не учитывать.

В заключение отметим, что стоимость энергообеспечения систем водоснабжения можно определить и несколько иным, более точным, по нашему мнению, способом, и в частности по формуле

$$Z_c = 0,00273 \sum_{i=1}^n \frac{W_i H_i K_{ст.i}}{\eta_{тр.i} \eta_i} \left( \frac{K_{н.i}}{T_0} \delta + \xi_i \sigma \right), \quad (4)$$

где  $W_i$  — расчетное годовое количество воды, подаваемой в сеть системы водоснабжения ее отдельными насосными станциями;  $H_i$  — расчетный напор насосных станций;  $\eta_i$  — полный КПД их рабочего оборудования;  $K_{н.i}$  — коэффициент неравномерности работы станций;  $\xi_i$  — коэффициент перевода расчетной величины напора в среднюю за год (остальные значения остаются без изменений).

Коэффициент  $\xi_i$  рекомендуется определять по зависимости

$$\xi_i = e_i + \gamma_e (1 - e_i) K_{н.i}^2,$$

где  $e_i = N_{ст.i} / N_{р.i}$  — коэффициент структуры напора;  $\gamma_e$  — коэффициент неравномерности энергопотребления системы водоснабжения, рассчитанный на основании табл.1 для данных  $e_i$  и  $N_{р.i}$ ;  $K_{н.i}$  — коэффициент неравномерности подачи воды в сеть рассматриваемой насосной станций. Для безбашенных систем водоснабжения подача воды в сеть должна соответствовать режиму водопотребления. Исходя из этого, для них  $K_{н} = K_k$ .

Значения величин, входящих в зависимость (4), определяются с большей достоверностью, чем величин, входящих в зависимость (2). Поэтому при расчетах  $Z_c$  зависимости (4) следует отдавать предпочтение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М. Расчет водопроводных сетей. — М., 1962, с. 300.
2. Старинский В.П., Буцкевич Т.И. Статистический метод определения проектного режима водопотребления населением городов. — В кн.: Проблемы водотведения и очистки сточных вод. Минск, 1980, с. 28—37.
3. Старинский В.П. Методика выбора насосного оборудования с минимальными затратами энергии на подачу воды потребителям. — В кн.: Водоотведение и охрана вод. Минск, 1982, с. 16—24.