

УДК 614.842.65(075.8)

МИНИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМА ПОЖАРНОГО ЗАПАСА ВОДЫ В НАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕМ СООРУЖЕНИИ

Красовский А.И.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: aliv220469@tut.by

Определены дополнительные параметры для расчета объема пожарного запаса напорно-регулирующего сооружения, которые учитывают характеристики насосной станции, водоводов, напорно-регулирующего сооружения и водопроводной сети. Применение и полученных зависимостей позволит уменьшить объем пожарного запаса.

In calculation of volume of the fire stock of water tower's additional parameters which consider characteristics of a tunnel, a pumping station, a main, a water tower and a distribution system have been determined. Application of the received dependences will allow reducing volume of the fire stock of a water tower.

(Поступила в редакцию 11 декабря 2009 г.)

Введение

Обзор систем водоснабжения показывает, что для регулирования несоответствия подачи насосной станции и потребления воды в сети применяются напорно-регулирующие сооружения. Нормативные документы [1] предъявляют к ним определенные противопожарные требования. На современном этапе развития требуется пересмотреть вопрос об определении объема пожарного запаса в напорно-регулирующем сооружении.

Известно, что насосная станция комплектуется пожарными или дополнительными насосами, которые подразделяются на основные и резервные (табл. 1). Количество основных пожарных насосов m рассчитывается с учетом схем водоснабжения, расчетных расходов и характеристик насосов по паспортным (каталожным) данным. Для объединенного противопожарного водопровода с насосной станцией высокого давления, а также для специального противопожарного водопровода минимальное количество пожарных насосов – 1 (обычно равно нормативному количеству одновременных пожаров на защищаемом объекте). Для объединенного противопожарного водопровода с насосной станцией низкого давления количество насосов, подающих воду во время пожаротушения, определяется суммой хозяйственно-питьевых и дополнительных насосов [2].

Таблица 1 – Насосы, питающие сеть во время пожаротушения

Назначение водопровода	Назначение насосов и их минимальное количество	
	пожарные и дополнительные (*)	хозяйственно- питьевые
Специальный противопожарный водопровод	основных – ≥ 1 резервный – 1	нет в наличии
Объединенный противопожарный водопровод с насосной станцией высокого давления	основных – ≥ 1 резервный – 1	работа не предусмотрена
Объединенный противопожарный водопровод с насосной станцией низкого давления	основных* – ≥ 1 резервный* – 1	равно числу ступеней работы

Рекомендуется применять насосы малой производительности, но в большем количестве. Такой подход позволяет оперативно подстраивать значения подачи при суточных

и сезонных колебаниях водопотребления. Высокий уровень вибрации центробежных насосов большой производительности, работающих вне зоны оптимального КПД, отрицательно сказывается на межремонтном периоде, ускоряет разрушение фундаментов и повышает эксплуатационные затраты [3].

Резервные насосы являются элементом структурного резервирования насосной станции и предусматриваются для обеспечения бесперебойной подачи воды. Минимальное количество резервных пожарных насосов принимается равным единице. Для объединенного противопожарного водопровода с насосной станцией низкого давления предусматривается второй резервный насос, необходимый для замены одного из основных хозяйственно-питьевых насосов в случае его планового ремонта или технического обслуживания. Он относится к ремонтному резервированию насосной станции на случай ее работы в обычное время и не имеет отношения к рассматриваемому вопросу резервирования на случай пожаротушения [2].

Исходя из обзора конструктивных особенностей насосной станции, во время пожаротушения на водопроводную сеть может работать m основных насосов. Если в этот период нормативными документами предусматривается отказ только одного насоса, то следует предположить, что расход пожарного запаса из напорно-регулирующего сооружения должен быть достаточен для компенсации подачи именно отказавшего насоса. Действительно в насосной станции продолжают работать насосы в количестве $m - 1$. Их общая производительность, конечно, уменьшается, но не настолько, чтобы предусматривать в напорно-регулирующем сооружении 10-минутный пожарный запас в полном объеме.

Из вышесказанного следует, что с целью минимизации геометрических размеров напорно-регулирующего сооружения важно определить зависимость объема его пожарного запаса от характеристик других элементов водопровода.

Основные математические зависимости

В настоящем исследовании смоделирован процесс совместной работы на водопроводную сеть во время пожаротушения насосной станции (в режимах m и $m - 1$) и напорно-регулирующего сооружения. В режиме m в насосной станции работают все основные насосы в количестве m , где $m \geq 2$. Режиму $m - 1$ соответствует событие «отказ основного насоса».

В системах водоснабжения насосная станция и напорно-регулирующее сооружение включены в схему несимметрично и расположены на значительном расстоянии [2]. Чтобы оценить совместную работу этих сооружений, необходимо привести их характеристики к одной точке в водопроводе. В качестве таковой выбран ввод в водопроводную сеть, обозначенный точкой 0.

Учитывая вышесказанное, нами получены:

1. Уравнение главной рабочей характеристики насосной станции, приведенные к точке ввода в водопроводную сеть:

– с количеством насосов m

$$H_0 = a - (Z_0 - Z_{\text{п.ч.в}}) - Q^2 \left(\frac{b}{m^2} + s_{\text{в.в}} + s_{\text{н.в}} \right), \quad (1)$$

откуда

$$Q = \sqrt{\frac{a - (Z_0 - Z_{\text{п.ч.в}}) - H_0}{\frac{b}{m^2} + s_{\text{в.в}} + s_{\text{н.в}}}}, \quad (2)$$

– с количеством насосов $m - 1$

$$H_0 = a - (Z_0 - Z_{\text{п.ч.в}}) - Q^2 \left(\frac{b}{(m-1)^2} + s_{\text{в.в}} + s_{\text{н.в}} \right), \quad (3)$$

откуда

$$Q = \sqrt{\frac{a - (Z_0 - Z_{\text{п.ч.в}}) - H_0}{\frac{b}{(m-1)^2} + s_{\text{в.в}} + s_{\text{н.в}}}}, \quad (4)$$

где H_0 – свободный напор в начале водопроводной сети, м;
 a – напор, создаваемый насосом при нулевой подаче, м;
 Z_0 – планировочная отметка ввода в водопроводную сеть, м;
 $Z_{р.ч.в}$ – отметка уровня пожарного объема в резервуаре чистой воды, м;
 Q – подача насосной станции, м³/с;
 b – внутреннее гидравлическое сопротивление насоса, с²/м⁵;
 $s_{в.в}$ – сопротивление всасывающих водоводов, с²/м⁵;
 $s_{н.в}$ – сопротивление напорных водоводов, с²/м⁵.

2. Уравнение рабочей характеристикой напорно-регулирующего сооружения, выполняющего функцию водопитателя и расположенного в точке ввода в сеть

$$H_0 = H_E - s_1 Q_1^2, \quad (5)$$

где H_E – свободный уровень воды напорно-регулирующего сооружения, м;
 s_1 – сопротивление питающего трубопровода, с²/м⁵;
 Q_1 – расход жидкости по питающему трубопроводу, м³/с.

Уравнение линии потребных напоров в водопроводной сети принято в виде

$$h = s_2 Q_2^2 + H_{св}^{пож} + H_{г}, \quad (6)$$

откуда

$$Q_2 = \sqrt{\frac{h - (H_{св} + H_{г})}{s_2}}, \quad (7)$$

где s_2 – сопротивление водопроводной сети во время пожаротушения, с²/м⁵;
 Q_2 – водопотребление в водопроводной сети во время пожаротушения, м³/с;
 $H_{св}^{пож}$ – свободный напор в диктующей точке во время пожаротушения, м;
 $H_{г}$ – разность отметок земли в диктующей точке и в точке ввода в сеть, м.

Определение расхода пожарного объема

Решениями систем уравнений (1) и (6), (3) и (6), (2) и (7), (4) и (7) при условиях

$$Q = Q_2, \quad h = H_0 \quad (8)$$

являются координаты приведенных рабочих точек насосной станции в режиме работы m (точка A_0) и в режиме $m - 1$ (точка B_0):

1. Q_{A_0} – абсцисса приведенной рабочей точки A_0 :

$$Q_{A_0} = \sqrt{\frac{A - Z}{s_2 + B}}. \quad (9)$$

2. Q_{B_0} – абсцисса приведенной рабочей точки B_0 :

$$Q_{B_0} = \sqrt{\frac{A - Z}{s_2 + B'}}. \quad (10)$$

3. H_{A_0} – ордината приведенной рабочей точки A_0 :

$$H_{A_0} = \frac{s_2 A + BZ}{s_2 + B}. \quad (11)$$

4. H_{B_0} – ордината приведенной рабочей точки B_0 :

$$H_{B_0} = \frac{s_2 A + B' Z}{s_2 + B'}, \quad (12)$$

где A – напор, создаваемый насосной станцией при нулевой подаче, м,

$$A = a - (Z_0 - Z_{p.ч.в.}); \quad (13)$$

B – гидравлическое сопротивление на участке от резервуаров чистой воды до ввода в водопроводную сеть, c^2/m^5 ,

$$B = \frac{b}{m^2} + s_{в.в.} + s_{н.в.}; \quad (14)$$

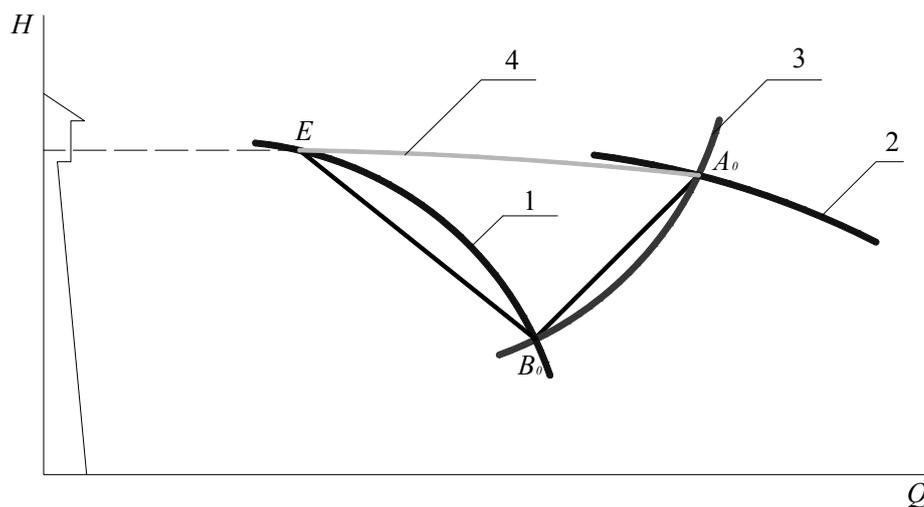
B' – гидравлическое сопротивление на участке от резервуаров чистой воды до ввода в водопроводную сеть в случае отказа основного насоса, c^2/m^5 ,

$$B' = \frac{b}{(m-1)^2} + s_{в.в.} + s_{н.в.}; \quad (15)$$

Z – геометрический подъем воды в диктующей точке, м,

$$Z = H_{св.} + H_{г.} \quad (16)$$

Из рис. 1 видно, что отказ пожарного насоса (событие соответствует режиму работы насосной станции $m - 1$) сопровождается смещением приведенной рабочей точки вниз по линии потребных напоров с позиции A_0 до позиции B_0 . На практике для обоснования прочностных показателей элементов системы водоснабжения требуется рассчитать переходные режимы, используя методики расчета гидравлического удара [4].



- 1 – линия главной рабочей характеристики насосной станции на режиме работы $m - 1$;
- 2 – линия главной рабочей характеристики насосной станции на режиме работы m ($m = 2$);
- 3 – линия потребных напоров в сети; 4 – линия рабочей характеристики напорно-регулирующего сооружения и насосной станции на режиме работы $m - 1$

Рисунок 1 – Характеристики водопитателей и водопроводной сети в случае расхода пожарного запаса

Для определения расхода пожарного объема Q_{1n} из напорно-регулирующего сооружения рассмотрена совместная работа на водопроводную сеть напорно-регулирующего сооружения, расположенного в начале водопроводной сети, и насосной станции, работающей в режиме $m - 1$. Следуя закону параллельного соединения, нами получено уравнение главной рабочей характеристики водопитателей, приведенное к точке ввода в сеть,

$$Q_2 = Q_{1n} + Q = \sqrt{\frac{H_{En} - H_0}{s_1}} + \sqrt{\frac{a - (Z_0 - Z_{п.ч.в}) - H_0}{\frac{b}{(m-1)^2} + s_{в.в} + s_{н.в}}}, \quad (17)$$

где H_{En} – свободный уровень пожарного объема напорно-регулирующего сооружения, м.
Решение системы уравнений (7) и (17)

$$\begin{cases} Q_2 = \sqrt{\frac{h - (H_{св} + H_r)}{s_2}}; \\ Q_2 = \sqrt{\frac{H_{En} - H_0}{s_1}} + \sqrt{\frac{a - (Z_0 - Z_{п.ч.в}) - H_0}{\frac{b}{(m-1)^2} + s_{в.в} + s_{н.в}}} \end{cases} \quad (18)$$

относительно H_0 при соблюдении условий 8 и $H_{En} > H_{B_0}$ позволяет определить ординату текущей приведенной рабочей точки P_0 (точки, произвольно расположенной на линии потребных напоров ниже или выше приведенной рабочей точки A_0). При выполнении практических расчетов целесообразно использовать прикладные математические программы (см., например, <http://www.wolframalpha.com>).

В зависимости от значений ординаты H_{P_0} приведенной рабочей точки P_0 наблюдается три случая: I – значение H_{P_0} равно ординате H_{A_0} приведенной рабочей точки A_0 или больше ее значения; II – значение H_{P_0} меньше ординаты H_{A_0} , но больше ординаты H_{B_0} приведенной рабочей точки B_0 ; III – значение H_{En} меньше ординаты H_{B_0} .

В I случае уровень пожарного объема в напорно-регулирующем сооружении будет находиться над линией требуемых напоров в водопроводной сети во время пожаротушения. Расход пожарного объема воды из напорно-регулирующего сооружения будет компенсировать недостаток подачи насосной станции на режиме работы $m - 1$.

Во II случае расход пожарного объема воды из напорно-регулирующего сооружения не сможет полностью компенсировать недостаток подачи насосной станции на режиме работы $m - 1$. Текущая рабочая точка P_0 будет занимать промежуточное положение на линии потребных напоров между точками A_0 и B_0 .

В III случае не выполняется условие $H_{En} > H_{B_0}$. Расход пожарного объема из напорно-регулирующего сооружения будет равен нулю. Подачу воды в напорно-регулирующее сооружение перекроет обратный клапан на питающем трубопроводе.

Расход пожарного объема из напорно-регулирующего сооружения можно определить из уравнения (5)

$$Q_{1n} = \sqrt{\frac{H_{En} - H_{P_0}}{s_1}}.$$

Требуемый расход пожарного объема из напорно-регулирующего сооружения, расположенного в диктующей точке, определяется из уравнения

$$Q_{1n} = Q_{A_0} - Q_{B_0}. \quad (19)$$

Фактический расход пожарного объема из контррезервуара зависит от сопротивления принятого питающего трубопровода s_1 и должен быть не менее требуемого

$$Q_{1n_{\text{факт}}} = \sqrt{\frac{H_{En} - H_d}{s_1}} \geq Q_{1n}, \quad (20)$$

где H_d – свободный напор в диктующей точке водопроводной сети, м.

В случае пожаротушения в диктующей точке требуемый напор в ней снижается до 10 м. В таком случае уравнение (20) примет вид

$$Q_{1n_{\text{факт}}} = \sqrt{\frac{H_{En} - 10}{s_1}} \geq Q_{1n}. \quad (21)$$

Уровень пожарного объема контррезервуара всегда находится выше линии требуемых напоров в водопроводной сети во время пожаротушения. Поэтому хранение пожарного объема в контррезервуаре обязательно.

Определение объема пожарного запаса

В основу определения объема пожарного запаса положен классический процесс опорожнения резервуара. Тогда время t расхода пожарного запаса напорно-регулирующего сооружения

$$t = \sqrt{s_1} \Omega \int_{H_{En2}}^{H_{En1}} \frac{dH_{En}}{\sqrt{H_{En} - H_0}}, \quad (22)$$

где Ω – площадь поперечного сечения емкости, м²;

H_{En1} – максимальный свободный уровень пожарного объема, м;

H_{En2} – минимальный свободный уровень пожарного объема, м.

1. Напорно-регулирующее сооружение расположено в начале водопроводной сети

В известном решении уравнения (22) параметр H_0 не зависит от H_{En} [5]. В случае расхода пожарного объема в водопроводную сеть из напорно-регулирующего сооружения, подключенного параллельно насосной станции, зависимость этих параметров определяется уравнением (18).

Для упрощения интегрирования, во-первых, пренебрегаем потерями напора в питающем трубопроводе напорно-регулирующего сооружения. Тогда выражение (22) при условии $H_{En} = H_0$ примет вид

$$t = \Omega \int_{H_{02}}^{H_{01}} \frac{dH_0}{Q_{1n}}, \quad (23)$$

где H_{01} – напор в начале водопроводной сети в начальный момент истечения пожарного объема, м;

H_{02} – напор в начале водопроводной сети в конечный момент истечения пожарного объема, м.

Во-вторых, предположим, что зависимость между параметрами H_0 и Q_{1n} линейная:

$$Q_{1n} = a_1 H_0 + c_1, \quad (24)$$

где a_1 и c_1 – коэффициенты.

Для этого криволинейные участки A_0B_0 и B_0E заменим прямыми линиями (см. рис. 1). По известным координатам точек A_0 , B_0 и E запишем уравнение прямой с угловым коэффициентом:

1) проходящей через точки B_0 и E :

$$H_0 = a_2 Q + c_2, \quad (25)$$

где a_2 и c_2 – коэффициенты,

$$a_2 = \frac{H_{B_0} - H_E}{Q_{B_0} - Q_E}; \quad (26)$$

$$c_2 = H_{B_0} - a_2 Q_{B_0}; \quad (27)$$

2) проходящей через точки A_0 и B_0 :

$$H_0 = a_3 Q_2 + c_3, \quad (28)$$

где a_3 и c_3 – коэффициенты,

$$a_3 = \frac{H_{A_0} - H_{B_0}}{Q_{A_0} - Q_{B_0}}; \quad (29)$$

$$c_3 = H_{B_0} - a_3 Q_{B_0}. \quad (30)$$

Согласно формулам (29) и (26) расход пожарного объема равен

$$Q_{1n} = Q_2 - Q = \frac{H_0 - c_3}{a_3} - \frac{H_0 - c_2}{a_2} = a_1 H_0 + c_1, \quad (31)$$

причем

$$a_1 = \frac{a_2 - a_3}{a_2 a_3}; \quad (32)$$

$$c_1 = \frac{a_3 c_2 - a_2 c_3}{a_2 a_3}. \quad (33)$$

Подставим полученную формулу в подынтегральное выражение (24)

$$t = \Omega \int_{H_{02}}^{H_{01}} \frac{dH_0}{a_1 H_0 + c_1}. \quad (34)$$

После интегрирования и преобразования получено уравнение

$$\Delta H_0 = \frac{e^{\frac{t a_1}{\Omega}} (a_1 H_{02} + c_1) - c_1}{a_1} - H_{02}, \quad (35)$$

где ΔH_0 – разница напора в начале водопроводной сети в начальный и конечный моменты истечения пожарного объема, м.

Из уравнения (5) с подстановкой предельных значений параметров

$$H_{En1} = s_1 Q_{1\max}^2 + H_{01}; \quad (36)$$

$$H_{En2} = s_1 Q_{1\min}^2 + H_{02}, \quad (37)$$

где $Q_{1\max}$ – максимальный расход жидкости по питающему трубопроводу, м³/с;

$Q_{1\min}$ – минимальный расход жидкости по питающему трубопроводу, м³/с,

находим ΔH_{En} – разницу между максимальным и минимальным свободными уровнями пожарного объема в напорно-регулирующем сооружении:

$$\Delta H_{En} = s_1 (Q_{1\max}^2 - Q_{1\min}^2) + \Delta H_0. \quad (38)$$

С учетом (36) получаем

$$\Delta H_{En} = s_1 (Q_{1\max}^2 - Q_{1\min}^2) + \frac{e^{\frac{ta_1}{\Omega}} (a_1 H_{02} + c_1) - c_1}{a_1} - H_{02}. \quad (39)$$

Объем пожарного запаса найдем из произведения площади поперечного сечения емкости напорно-регулирующего сооружения Ω на ΔH_{En} :

$$W_{\text{пож}} = \Omega \left(s_1 (Q_{1\max}^2 - Q_{1\min}^2) + \frac{e^{\frac{ta_1}{\Omega}} (a_1 H_{02} + c_1) - c_1}{a_1} - H_{02} \right). \quad (40)$$

2. Напорно-регулирующее сооружение расположено в диктующей точке

Контррезервуар подключается к водопроводной сети в диктующей точке, в которой во время пожаротушения в минимальный свободный напор равен 10 м. Поэтому уравнение (23) представим в виде

$$t = \sqrt{s_1} \Omega \int_{H_{En2}}^{H_{En1}} \frac{dH_{En}}{\sqrt{H_{En} - H_{\text{д}}}} = \sqrt{s_1} \Omega \int_{H_{En2}}^{H_{En1}} \frac{dH_{En}}{\sqrt{H_{En} - 10}}. \quad (41)$$

После интегрирования и преобразования получим

$$\Delta H_E = \frac{t^2}{2s_1 \Omega^2} + \frac{t}{\sqrt{s_1} \Omega} \sqrt{H_{En2} - 10}. \quad (42)$$

Умножим левую и правую часть на площадь поперечного сечения емкости Ω контррезервуара, получим формулу для определения объема пожарного объема в контррезервуаре:

$$W_{\text{п.з}} = \frac{t}{\sqrt{s_1}} \left(\frac{1}{2\Omega} \frac{t}{\sqrt{s_1}} + \sqrt{H_{En2} - 10} \right). \quad (43)$$

где $W_{\text{п.з}}$ – объем пожарного запаса.

Сопротивление водопроводной сети в период пожаротушения

В реальном водопроводе уравнение кривой потребных напоров в области между приведенными рабочими точками A_0 и B_0 , которые соответствуют режимам работы насосной станции m и $m - 1$, достоверно не известно. Поэтому не известны и координаты самой точки B_0 (см. рис. 1).

Реальные системы подачи и распределения воды имеют сложную структуру с промежуточными отборами воды. На величину потерь напора кроме водопотребления, влияет ме-

сто отбора воды из системы. В силу этих причин потери напора в разветвленных трубопроводных системах неоднозначно зависят от расхода воды, т.е. одному значению подачи соответствует множество значений потерь давления. Сравнение реальных и расчетных зависимостей напора и подачи показывает, что разброс достигает максимальных величин 20–25 % в средних значениях подачи и уменьшается при максимальном и минимальном водопотреблении [6]. Случаи водопотребления, рассматриваемые в статье, характеризуются максимальными значениями, и поэтому предполагается единственный вариант координат рабочих точек A_0 и B_0 .

Для получения уравнения кривой потребных напоров на указанном участке, необходимо выполнить последовательность увязок водопроводной сети с переменными значениями расхода на пожаротушение в диктующей точке. Далее для полученного ряда рабочих точек, используя метод аппроксимации, выводится уравнение полиномиального вида

$$h = k_0 Q_2^n + k_1 Q_2^{n-1} + k_2 Q_2^{n-2} + \dots + H_{\text{св}}^{\text{пож}}, \quad (44)$$

где k_0 , k_1 , k_2 и k_n – коэффициенты полиномиального уравнения.

Увязка водопроводной сети является трудоемкой задачей. Ряд увязок усложняет расчеты. Поэтому, заменив водопроводную сеть эквивалентным однородным тупиковым трубопроводом со смешанным отбором воды (постоянным путевым отбором расхода $Q_{\text{х.п}}$ и тупиковым отбором расхода $Q_{\text{пож}}$), исследовали поведение линии потребных напоров с использованием зависимости

$$h = s_2 (Q_{\text{пож}}^2 + Q_{\text{пож}} Q_{\text{х.п}} + \frac{1}{3} Q_{\text{х.п}}^2) + H_{\text{св}}^{\text{пож}} + H_{\text{г}}. \quad (45)$$

Приняв $H_{\text{св}}^{\text{пож}} = H_{\text{г}} = 0$ и разделив левую и правую части уравнения на $(Q_{\text{х.п}}^{\text{max}})^2$, получим линию потребных напоров в относительных величинах

$$\bar{h} = s_2 (\bar{Q}_{\text{пож}}^2 + \bar{Q}_{\text{пож}} \bar{Q}_{\text{х.п}} + \frac{1}{3} \bar{Q}_{\text{х.п}}^2), \quad (46)$$

где \bar{h} – относительные гидравлические потери, $\text{с}^2/\text{м}^5$,

$$\bar{h} = h / (Q_{\text{х.п}}^{\text{max}})^2; \quad (47)$$

$\bar{Q}_{\text{пож}}$ – относительный пожарный расход,

$$\bar{Q}_{\text{пож}} = Q_{\text{пож}} / Q_{\text{х.п}}^{\text{max}}; \quad (48)$$

$\bar{Q}_{\text{х.п}}$ – относительный расход на хозяйственно-питьевые и производственные нужды,

$$\bar{Q}_{\text{х.п}} = Q_{\text{х.п}} / Q_{\text{х.п}}^{\text{max}}. \quad (49)$$

Результаты расчета при $s_2 = 1 \text{ с}^2/\text{м}^5$ сведены в табл. 2.

На рис. 2 виден излом функции в точке C_0 . Это является следствием того, что в диапазоне значений относительного суммарного расхода \bar{Q}_{Σ} от 0 до 1, когда в водопроводной сети отбираются расходы $Q_{\text{х.п}}$, зависимость (47) имеет вид

$$\bar{h} = \frac{1}{3} \bar{Q}_{\Sigma}^2, \quad (50)$$

Таблица 2 – Результаты расчета эквивалентного трубопровода

$\bar{Q}_{x.п}$	$\bar{Q}_{пож}$	$\bar{Q}_{x.п} + \bar{Q}_{пож}$	\bar{h}	
			смешанные расходы	путевые расходы
1,0	2,0	3,0	6,33	3,00
1,0	1,8	2,8	5,37	2,61
1,0	1,6	2,6	4,49	2,25
1,0	1,4	2,4	3,69	1,92
1,0	1,2	2,2	2,97	1,61
1,0	1,0	2,0	2,33	1,33
1,0	0,8	1,8	1,77	1,08
1,0	0,6	1,6	1,29	0,85
1,0	0,4	1,4	0,89	0,65
1,0	0,2	1,2	0,57	0,48
1,0	0,0	1,0	0,33	0,33
0,8	0,0	0,8	0,21	0,21
0,6	0,0	0,6	0,12	0,12
0,4	0,0	0,4	0,05	0,05
0,2	0,0	0,2	0,01	0,01
0,0	0,0	0,0	0,00	0,00

а в диапазоне от 1 до 3 коэффициент при слагаемом \bar{Q}_x^2 увеличивается и в бесконечности, когда $\bar{Q}_{пож}$ начинает значительно преобладать над $\bar{Q}_{x.п}^{max}$, стремится к единице. Точному описанию зависимости $\bar{h} = f(\bar{Q}_x)$ во всем диапазоне значений способствует переход от квадратичного вида к полиномиальному.

Для полного представления моделируемого процесса водопотребления в эквивалентном однородном тупиковом трубопроводе на рис. 2 показана кривая 2 на случай, если относительные расходы $\bar{Q}_{пож}$ и $\bar{Q}_{x.п}$ отбираются в водопроводной сети как путевые (см. табл. 2, столбец 5).

На практике для выполнения гидравлического расчета достаточно линию потребных напоров в водопроводной сети на участке A_0C_0 представить в виде квадратного уравнения (рис. 2, кривая 3)

$$h = s_2 Q_2^2 - a_0, \tag{51}$$

где a_0 – коэффициент, м.

Значения параметра s_2 можно получить по координатам точек $A_0(Q_{A_0}; H_{A_0})$ и $C_0(Q_{C_0}; H_{C_0})$:

$$s_2 = \frac{H_{A_0} - H_{C_0}}{Q_{A_0}^2 - Q_{C_0}^2}. \tag{52}$$

Для нахождения приведенной рабочей точки A_0 необходимо ординату H_A уменьшить на величину потерь в напорных водоводах во время пожаротушения $h_{н.в.}$. Абсциссы точек A и A_0 равны $Q_A = Q_{A_0}$.

Для получения приведенной рабочей точки C_0 необходимо учесть изменение хозяйственно-питьевого и производственного водопотребления во время пожаротушения $\Delta Q_{x.п.}$. В системах водоснабжения I и II категории надежности подачи питьевой воды допускается снижение расчетного расхода питьевой воды во время пожаротушения до 30 %, на предприятии расходы воды на поливку территории, прием душа, мытье полов и мойку технологического оборудования, а также на полив растений в теплицах не учитываются [1].

Поэтому абсциссу Q_C рабочей точки C насосной станции в дежурном режиме уменьшаем на принятую при проектировании величину $\Delta Q_{x.п.}$:

$$Q_{C_0} = Q_C - \Delta Q_{x.n.} \quad (53)$$

Принимая во внимание сказанное выше и с учетом уменьшения свободного напора в диктующей точке во время пожаротушения, ординату рабочей точки C_0 определим по формуле

$$H_{C_0} = s_{2_{др}} Q_{C_0}^2 + H_{св}^{пож} + H_{г}, \quad (54)$$

где $s_{2_{др}}$ – сопротивление водопроводной сети в дежурном режиме в час максимального водопотребления, $с^2/м^5$.

Сопротивление $s_{2_{др}}$ допускаем постоянной величиной и определим из уравнения

$$s_{2_{др}} = \frac{h - H_{св} - H_{г}}{Q_C^2}. \quad (55)$$

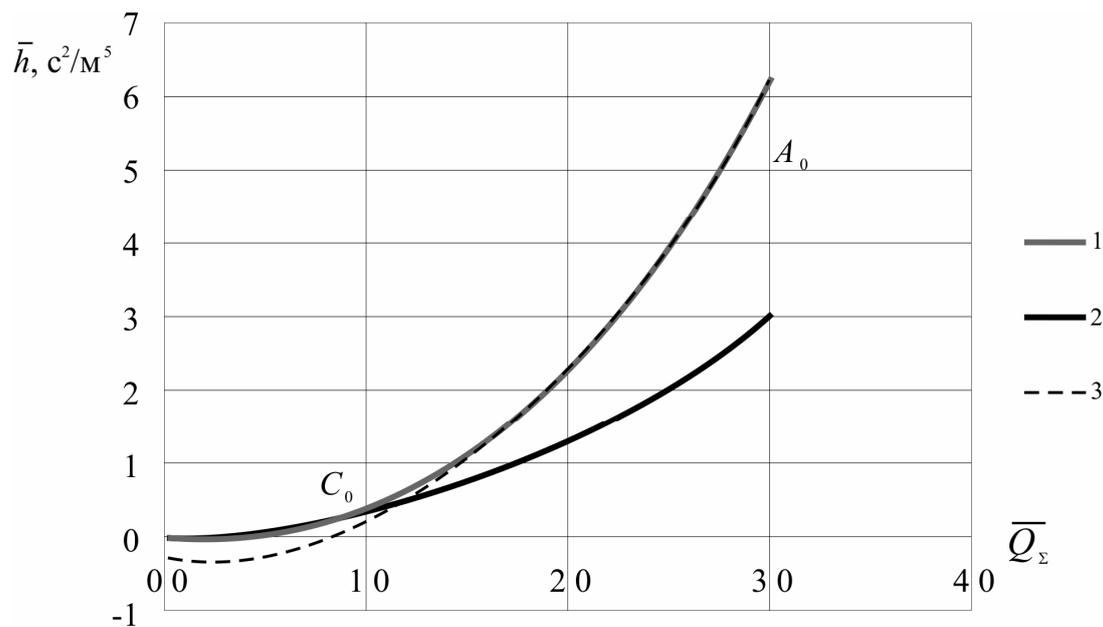
В зависимости от положения приведенной точки C_0 относительно линии главной рабочей характеристики насосной станции в режиме работы $m - 1$ можно рассмотреть два случая:

- 1) точка под линией;
- 2) точка над линией.

В первом случае при нахождении приведенной точки B_0 в качестве сопротивления водопроводной принимаем параметр s_2 , рассчитываемый по формуле (52), во втором – $s_{2_{др}}$ (уравнение (55)).

Заключение

В результате работы определены параметры, от которых зависит объем пожарного запаса напорно-регулирующего сооружения. Впервые в расчете использованы характеристики элементов водопровода: насосной станции второго подъема, всасывающих и напорных водоводов и водопроводной сети. Определены условия, устанавливающие необходимость хранения в напорно-регулирующем сооружении пожарного запаса.



1 – со смешанным отбором воды; 2 – с отбором путевых расходов; 3 – кривая, которой принадлежит линия A_0C_0

Рисунок 2 – Графики линий потребного напора эквивалентного трубопровода

ЛИТЕРАТУРА

1. Противопожарное водоснабжение. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.02-138-2009 (02250). – Введ. 02.09.2009. – Минск : Гостстандарт : Министерство строительства и архитектуры Беларуси, 2009. – 30 с.
2. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3 т. Т. 3 : Системы распределения и подачи воды / М.Г. Журба [и др.]. – М. : АСВ, 2004. – 256 с.
3. Хусаинов, С.К. Анализ эффективности работы центробежных насосов системы городских водоканалов / С.К. Хусаинов, Р.Н. Сулейманов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 7. – С. 21–24.
4. Бегляров, Д.С. Методика расчетов режимов пуска насосов при открытых задвижках на напорных линиях / Д.С. Бегляров, М.С. Козлова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 10. – С. 17–20.
5. Рабинович, Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович. – М. : Недра, 1980. – 278 с.
6. Лезнов, Б.С. Характеристики разветвленных трубопроводов с промежуточными отборами воды / Б.С. Лезнов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 12. – С. 37–39.