

## Методические подходы и результаты исследований по резервированию систем водоснабжения

*В.Г. Кушнир, д.т.н., профессор, О.А. Бенюх, к.т.н., Костанайский ГУ имени А. Байтурсынова; М.М. Константинов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ; А.С. Кушнир, студент, ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский НиУ ИТМО*

Чтобы обеспечить бесперебойное снабжение потребителей водой, необходима высокая надёжность водоподъёмной установки, а также наличие в системе механизированного водоснабжения (СМВ) резервирующих устройств, гарантирующих заданную обеспеченность потребителей водой, в том числе и при выходе из строя отдельных элементов системы водоснабжения.

В механизированном водоснабжении резервирование системы можно осуществлять в основном с помощью наземных резервуаров для запаса воды, запасных комплектов оборудования и комбинированной водоподъёмной установки, работающей от различных энергетических устройств в одной агрегатной схеме. В каждом конкретном случае для выбора способа резервирования СМВ проводятся сравнительные расчёты [1, 2].

При первой схеме механизированного водоподъёма – стационарный водоподъёмник с приводом от индивидуального энергетического источника – резервирование можно осуществлять с помощью наземного резервуара и резервного оборудования, которые предназначаются для группы водопотребительных пунктов (схема 1).

В случае использования комбинированной водоподъёмной установки (схема 2) возникает возможность многовариантного резервирования систем механизированного водоподъёма – наземный резервуар, индивидуальный энергетический источник и резервное оборудование.

При использовании передвижной энергетической установки (схема 3) на группе водоисточников также можно произвести запас воды в наземном резервуаре на каждом водопотребительном пункте.

Если резервирование СМВ осуществляется с помощью наземного резервуара  $W_n$ , то удельные приведённые затраты на резервуар можно определить так:

$$Z_p = \frac{\mathcal{E}_p + H_p B_p}{\sum B_c}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_p$  – эксплуатационные затраты на наземный резервуар, руб.;

$B_p$  – балансовая стоимость наземного резервуара, руб.;

$B_c$  – суммарное водопотребление на объекте, м<sup>3</sup>;

$H_p$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений в наземный резервуар.

В том случае, когда резервирование осуществляется дублированием резервного водоподъёмного оборудования, уравнение удельных приведённых затрат принимает вид:

$$Z_p = \frac{\mathcal{E}_k + H_k B_k + Z_{TO}}{\sum B_c}, \quad (2)$$

где  $Z_{TO}$  – затраты на техническое обслуживание резервного водоподъёмного оборудования за период использования.

**Материал и методы исследования.** В водосборной части водоисточника имеется запас воды, равный  $W_m$ . За время  $t_i$  эту воду водоподъёмник должен поднять в наземный резервуар  $W_n$ . За время работы водоподъёмника приток воды в колодец составит  $q_i$ . Тогда производительность водоподъёмника за время  $t_i$  будет:

$$Q_i = W_n + q_i t_i. \quad (3)$$

Отметим, что:

$$W_m + q_i t_i < V_c K_{\text{нер}}, \quad (4)$$

тогда недостающая вода берётся из  $W_n$ .

Следовательно,

$$V_c K_{\text{нер}} = W_m + q_i t_i + V_i. \quad (5)$$

Кроме того, определяя объём наземного резервуара, необходимо учитывать аварийные случаи в СМВ и время, затраченное для устранения аварий.

Учитывая расположение водопотребительных пунктов и различную дебитность водоисточников, объём наземного резервуара определяется по формуле:

$$W_n = (2 \dots 4) (W_m + q_i t_i + V_i) + W_{\text{нзт}}, \quad (6)$$

где  $W_{\text{нзт}}$  – необходимый объём наземного резервуара, объём которого не ниже суточного водопотребления на данном водопотребительном пункте, м<sup>3</sup>.

Если  $W_M \geq V_c K_{\text{нер}}$ , то  $W_H$  определяется из зависимости:

$$W_H = (2...4) V_c K_{\text{нер}} + W_{\text{нзтр}}, \text{ м}^3. \quad (7)$$

О.Б. Хелленов отмечал, что на стадии предпроектных изысканий объём наземного резервуара можно определить по формуле [1]:

$$W_H = V_c(1 + t_{3 \text{ max}}), \text{ м}^3, \quad (8)$$

где  $t_{3 \text{ max}}$  – максимальная для данного типа агрегата длительность энергетического затишья в сутки.

Основным расчётным уравнением является уравнение баланса объёмов подаваемой и потребляемой за истекший отрезок времени воды, которое можно представить в следующем виде:

$$W_H = W_{HO} + \int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{вы}} dt - \int_{t_1}^{t_2} B_c K_{\text{нер}} dt, \quad (9)$$

где  $W_{HO}$  – объём воды в резервуаре в начальный момент,  $\text{м}^3$ .

Уравнение (9) позволяет подсчитать для любого отрезка времени объём воды в наземном резервуаре, при этом в зависимости от  $Q$  и  $B_c$  за время  $\Delta t$ , могут быть три случая:

1) когда уровень воды в наземном резервуаре не изменяется:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{вы}} dt = \int_{t_1}^{t_2} B_c K_{\text{нер}} dt; \quad (10)$$

2) когда подача установки превышает водопотребление, избыток воды поступает в резервуар:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{вы}} dt > \int_{t_1}^{t_2} B_c K_{\text{нер}} dt; \quad (11)$$

3) когда подача воды меньше водопотребления и недостающее количество воды отбирается из наземного бака:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q_{\text{вы}} dt < \int_{t_1}^{t_2} B_c K_{\text{нер}} dt. \quad (12)$$

Определение объёма наземного резервуара производится в табличной форме методом балансовых расчётов [3, 4].

**Результаты исследования.** При определении объёмов наземных резервуаров были учтены данные районирования водопотребителей, так как значения  $W_H$  главным образом зависят от величины суточного водопотребления. Расчёты показали, что для водопотребителей в зонах при 95–97% обеспеченности водой необходимы следующие объёмы наземных резервуаров: при  $V_c = 9 \text{ м}^3/\text{сут}$  –  $W_H = 30\text{--}36 \text{ м}^3$ , а при  $V_c = 12 \text{ м}^3/\text{сут}$  –  $W_H = 40\text{--}48 \text{ м}^3$ . По данным обследования, эти объёмы наземных резервуаров больше фактических на 8–10  $\text{м}^3$ .

По водобалансовым расчётам определена величина наземного резервуара в зависимости от следующих основных параметров: типа водоподъёмных установок, глубины водоисточника, дебита

водоисточника, суточного водопотребления, нормы обеспеченности потребителей водой.

При использовании водоисточников наибольшее влияние на  $W_H$  оказывает объём водосборной части  $W_M$ . Увеличение нормы обеспеченности потребителей водой выше 95% (рис.) приводит к резкому увеличению необходимого объёма наземного резервуара.

В практике водохозяйственных расчётов для сравнения различных вариантов наиболее удобными являются простые эмпирические формулы. С этой целью сделана попытка нахождения аналитических описаний кривых  $W_H=f(O_6)$ ,  $W_H=f(B)$  и  $W_H=f(t_0)$ .  $B$  – относительное водопотребление, равное  $V_c K_{\text{нер}}/q$ , сут.

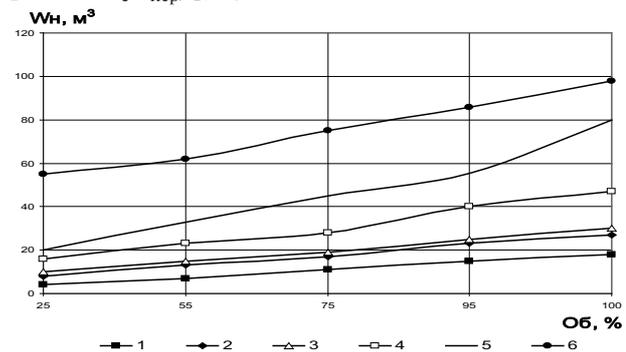


Рис. – Зависимость объёма наземного резервуара от степени обеспеченности потребителей водой,  $V_c=2,9 \text{ м/с}$ ,  $W_M=8,4 \text{ м}^3$ ,  $q_1=6,5 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $q_2=13 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $q_3=19,5 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; 1,2,4 –  $q_1, q_2, q_3$  при  $B_1=0,25q$ ; 3,5,6 –  $q_1, q_2, q_3$  при  $B_2=0,5q$

Характер кривых  $W_H=f(O_6)$  и  $W_H=f(t_0)$  показывает, что их можно выразить показательной функцией типа:

$$W_H = a + \nu e^{xO_6}, \text{ м}^3. \quad (13)$$

$$W_H = a + \nu e^{xt_0}, \text{ м}^3. \quad (14)$$

Для аналитического описания кривых  $W_H=f(B)$  были взяты различные типы функций. Однако наиболее близкое совпадение дала показательная функция вида:

$$W_H = a(B)^b, \text{ м}^3. \quad (15)$$

Коэффициенты  $a, \nu, x$  определяются хозяйственными, гидрогеологическими и другими условиями.

Эти формулы во всём диапазоне изменения аргумента дают погрешности по объёму  $W_H$ , не превышающие 10%, что приемлемо для практических расчётов.

Расчётные данные, подсчитанные с помощью эмпирических формул, сопоставлены с полученными данными от водобалансовых расчётов  $W_H$ . В результате выявлено, что эти данные во всём диапазоне изменения аргументов мало отличаются друг от друга и эти формулы можно применять для определения  $W_H$ .

Для сравнения расчётных и экспериментальных данных по  $W_H$  нами в производственных условиях

произведены длительные эксплуатационные исследования.

Расчёты и графический анализ показывают, что полученные объёмы наземных резервуаров расчётным путём и по фактическим данным оказались близкими и дают наименьшую погрешность по обеспеченности водоотдачи, соответственно 92,3 и 95,5%.

Произведены вариантные расчёты для определения схемы резервирования СМВ. Рассмотрены:

- резервирование воды в наземном резервуаре;
- работа водоподъёмника от различных энергетических источников в одной агрегатной схеме;
- резервная установка для группы водопотребительных пунктов и подъёма воды с помощью ёмкости с использованием передвижной энергетической установки.

Расчёты показали, что для нормального обеспечения потребителей водой по схеме 1 резервирование СМВ необходимо осуществлять наземным резервуаром, объём которого равен 3–4-суточному водопотреблению, необходимо также иметь резервное оборудование для группы водопотребительных пунктов.

По схеме 2 необходимо иметь наземный резервуар, равный 2-суточному водопотреблению.

Минимальные затраты на резервирование СМВ по схеме 3 имеет наземный резервуар объёмом, равным 4-суточному водопотреблению на объекте. Однако для надёжного водоснабжения потребителей необходимо иметь одну резервную установку хотя бы на 5–6 водопотребительных пунктов. Резервирование СМВ с использованием передвижной энергетической установки неэффективно, так как в этом случае в процессе водоподъёма участвуют два человека, что приводит к увеличению удельных приведённых затрат в зависимости от глубины водоисточников.

Из полученных данных видно, что резервирование СМВ несколько увеличивает удельные

приведённые затраты на подъём воды. Однако эффективный выбор схемы резервирования СМВ позволяет увеличить обеспеченность потребителей водой, поэтому затраты на резервирование СМВ окупаются в течение 1–1,5 года за счёт получения дополнительной продукции.

**Выводы.** При использовании водоисточников важнейшее значение для улучшения водоснабжения потребителей имеет система резервирования. Разработана методика определения и выбора наилучшего варианта резервирования в системах механизированного водоснабжения, учитывающая большое количество факторов, влияющих на их эффективность.

Введение в систему механизированного водоснабжения резервирования повышает обеспеченность водой потребителей на объекте. Оптимальным вариантом в случаях стационарного использования водоподъёмной установки является применение наземного резервуара, объём которого в большинстве случаев должен быть равным 2–3-суточному водопотреблению. В системах, где применяются ветроагрегаты, объём резервуара должен быть рассчитан на 3–4-суточное водопотребление. Наиболее надёжное водоснабжение потребителей достигается двойным резервированием систем механизированного водоснабжения, т. е. при использовании комбинированной установки.

#### Литература

1. Хелленов О.Б. Определение оптимального резерва системы механизированного водоснабжения на пустынных пастбищах // Проблемы освоения пустынь. 1981. № 1. С. 58–62.
2. Константинов М.М., Кушнир В.Г. Рекомендации по совершенствованию и использованию ленточных водоподъёмников в условиях отгонных пастбищ. Оренбург: ОГАУ, 2008. 48 с.
3. Колодин М.В. Методика выравнивания эмпирических распределений скоростей ветра на основе уравнения Гудрича // Методы разработки ветроэнергетического кадастра. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 25–30.
4. Шефтер Я.И. Ветроэнергетические агрегаты. М.: Машиностроение, 1972. С. 102–106.