

УДК 628.1

Н. Л. Дерюшева, Л. Г. Дерюшев

О РАСЧЕТЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Изложены предложения по совершенствованию нормативных требований по проектированию сооружений систем водоснабжения. Отмечены недостатки ряда формул СНиП 2.04.02—84* по расчету размеров, производительности и подачи водопроводных сооружений. Обоснованы предложения по совершенствованию требований надежности сооружений и расчету резервных насосных агрегатов на насосных станциях.

К л ю ч е в ы е с л о в а : сооружения систем водоснабжения, нормативные требования, расчет производительности сооружений, надежность

The proposals to improve the regulatory requirements for design of water supply structures are described. The deficiencies in a number of SNiP 2.04.02—84* formulas for calculating dimensions, performance and water flux of water works supply are noted. The proposals are explained for the reliability structures for water works supply and the analysis the unit pumps at pump stations.

К e y w o r d s : water supply structures, regulatory requirements, capacity calculation of structures, reliability.

Производительность сооружений систем водоснабжения рассчитывается для каждой очереди строительства с учетом нормативных требований СНиП 2.04.02—84* [1]. Согласно законопроекту о техническом регламенте (см. Российская газета. Выпуск № 4702 от 9 июля 2008 г.), до 2010 г. все строительные нормы должны быть переработаны (всего 99 наименований) Министерством регионального развития и включены в 17 первоочередных технических регламентов. Особое внимание уделялось техническому регламенту «О безопасности зданий и сооружений». Однако в существующих и вновь опубликованных нормативных документах [2] противоречивые требования по расчету производительности водопроводных сооружений сохранились. В табл. 1 приведены все пункты нормативных требований [1], в которых приводятся определения расчетных расходов и формулы по расчету водопроводных сооружений.

Если проанализировать формулы табл. 1, то можно убедиться, что они не достаточно полно моделируют работу сооружений в общей системе водоснабжения. Например, рассмотрим формулу расчета площади скорых фильтров:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T_{\text{ст}} v_{\text{н}} - n_{\text{пр}} q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \tau_{\text{пр}} v_{\text{н}}}. \quad (1)$$

Т а б л и ц а 1

Наименование сооружений	Расчетная формула	№ п. СНиП 2.04.02—84*
Водозаборные сооружения из поверхностных источников	$\Omega_{\text{бр}} = 1,25 q_{\text{р}} K_{\text{ст}} / v_{\text{вт}}$	5.95
Станция водо-подготовки	$Q = f(\alpha, Q_{\text{мах}} \cdot \text{сут})$	6.6, 6.7

О к о н ч а н и е т а б л. 1

Наименование сооружения	Расчетная формула	№ п. СНиП 2.04.02—84*
Вертикальные отстойники	$F_{в.о.} = \frac{\beta q_{в.о.}}{3,6 v_p N_p}$	6.63
Горизонтальные отстойники	$F_{г.о.} = \frac{\alpha_{об} q_{г.о.}}{3,6 u_o}$	6.63, 6.67
Радиальные отстойники	$F_{р.о.} = 0,2 \left(\frac{q_{р.о.}}{u_o} \right)^{1,07} + S$	6.63, 6.93
Скорые фильтры	$F_{\phi} = \frac{Q}{T_{ст} v_n - n_{пр} q_{пр} - n_{пр} \tau_{пр} v_n}$	6.98
Контактные осветлители	$F_{к.о.} = \frac{Q}{T_{ст} v_n - n_{пр} (q_{пр} + \tau_{пр} v_n + \tau_{ст} v_n / 60)}$	6.131
Насосные станции	Нет	7

Примечания: $\Omega_{бр}$ — площадь водоприемных отверстий, м²;
 q_p — расчетный расход одной секции оголовка водоприемника, м³/с;
 $K_{ст}$ — коэффициент, учитывающий стеснение отверстий;
 $v_{вт}$ — скорость втекания в водоприемные отверстия, м/с;
 α — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды станции;
 $Q_{\max \cdot \text{сут}}$ — максимальный суточный расход воды потребителей, м³/сут;
 $F_{в.о.}, F_{г.о.}, F_{р.о.}$ — площади вертикального, горизонтального, радиального отстойников, м²;
 $q_{в.о.}, q_{г.о.}, q_{р.о.}$ — соответствующие расчетные расходы для периодов максимального и минимального суточного водопотребления при расчете площадей отстойников, м³/ч;
 β — коэффициент, учитывающий соотношение между диаметром и высотой отстойника;
 v_p — расчетная скорость восходящего потока, мм/с;
 N_p — количество рабочих отстойников, шт.;
 $\alpha_{об}$ — коэффициент объемного использования отстойников;
 u_o — скорость выпадения взвеси, мм/с;
 S — площадь вихревой зоны радиального отстойника, м²;
 F_{ϕ} — площадь скорого фильтра, м²;
 Q — полезная производительность станции, м³/сут;
 $T_{ст}$ — продолжительность работы станции, ч;
 v_n — расчетная скорость фильтрования, м/ч;
 $n_{пр}$ — число промывок фильтра;
 $q_{пр}$ — удельный расход воды на одну промывку фильтра, м³/м²;
 $\tau_{пр}$ — время простоя фильтра на промывке, ч;
 $F_{к.о.}$ — площадь контактного осветлителя, м²;
 $\tau_{ст}$ — продолжительность сброса первого фильтрата, мин

Подставим в формулу (1) единицы измерения для каждого представленного параметра:

$$F_{\phi} = \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{ч} \cdot (\text{м} / \text{ч}) - \text{м}^3 / \text{м}^2 - \text{ч} \cdot (\text{м} / \text{ч})} = \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{м}} = \text{м}^2/\text{сут}.$$

Аналогично рассмотрим формулу расчета площади контактных осветлителей:

$$F_{\text{к.о}} = \frac{Q}{T_{\text{ст}} v_{\text{н}} - n_{\text{пр}} (q_{\text{пр}} + \tau_{\text{пр}} v_{\text{н}} + \tau_{\text{ст}} v_{\text{н}} / 60)}; \quad (2)$$

$$F_{\text{к.о}} = \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{ч} \cdot (\text{м} / \text{ч}) - (\text{м}^3/\text{м}^2 + \text{ч} \cdot (\text{м} / \text{ч}) + \text{мин} \cdot (\text{м} / \text{ч}) / 60)} =$$

$$= \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{м} - (\text{м} + \text{м} + \text{м})} = \text{м}^2/\text{сут},$$

т. е. полученные размерности не соответствуют понятиям площади сооружения, а математическая модель не отражает пропускную способность объекта. Если вода в течение суток поступает на сооружение, то она за это же время должна и отводиться от него. В моделях (1, 2) произведение времени работы сооружений на скорость фильтрования воды $T_{\text{ст}} v_{\text{н}}$ уменьшается. Спрашивается, где выполнение баланса расходов воды и закона сохранения энергии? Через фильтры необходимо пропустить не только полезный расход Q , но и дополнительный расход воды ΔQ , который должен накапливаться в резервуарах чистой воды для последующего использования при промывке фильтров. Если производительность станции равна αQ (где $\alpha = 1,03 \dots 1,08$), то куда пропали 3...8 % воды при подходе к фильтрам?

Рассмотрим требования по расчету подачи насосной станции I подъема. Насосная станция I подъема входит в состав водозаборных сооружений, соединенных последовательно, может подавать воду на очистные сооружения либо непосредственно в распределительную сеть. Согласно п. 5.109, п. 9.1—9.6 [1], расчетная подача насосной станции Q_1 должна назначаться с учетом обеспечения максимального суточного расхода воды потребителям $Q_{\text{max.сут}}$, расхода воды на собственные нужды водозаборных сооружений и дополнительного расхода воды на пополнение пожарного и аварийного (если он предусматривается) запасов воды в регулирующих емкостях. Если же учесть и требования п. 6.6 [1], то подача Q_1 должна быть увеличена дополнительно на величину пополнения запасов воды на промывку фильтров. Опытным проектировщикам все эти нормативные требования однозначно понятны. Для начинающих специалистов правильно учесть все требования [1] по расчету подачи воды насосной станцией весьма проблематично, поскольку в справочной и учебной литературе по проектированию водопроводных сооружений [3—5] подачу воды насосной станцией I подъема предлагается однозначно оценивать по формуле

$$Q_1 = \frac{\alpha Q_{\text{max.сут}}}{T},$$

где $\alpha = 1,01 \dots 1,08$ — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды водозаборных и очистных сооружений; $Q_{\text{max.сут}}$ — расход в сутки максимального водопотребления, $\text{м}^3/\text{сут}$; T — продолжительность работы сооружений в сутки наибольшего водопотребления, ч.

В [6—8] указывается, что если необходимо подавать воду в резервуары при пополнении пожарных запасов, то

$$Q_1^* = \frac{\alpha Q_{\max, \text{сут}}}{T} + \left(3Q_{\text{пож}} + \sum_{i=1}^3 Q_{i \max, \text{час}} - \frac{3Q_{\max, \text{сут}}}{24} \right) / T_{\text{поп}},$$

где $Q_{\text{пож}}$ — расчетный расход воды на тушение пожаров, м³/ч; $T_{\text{поп.}} = 24 \dots 72$ — максимальный срок пополнения пожарного запаса воды в резервуарах, ч.

Пополнение пожарного запаса рекомендуется выполнять за счет подключения резервных, противопожарных насосов, снижения подачи воды потребителям. Спрашивается, какой расчетный расход должен приниматься при проектировании водозаборных сооружений из поверхностных или подземных источников, если насосная станция не обеспечивает подачи воды Q_1^* без дополнительных насосов? Однозначного ответа в нормативах [1] не найти. Авторы [7] предлагают увеличивать количество резервных скважин для обеспечения подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды и на пополнение пожарного запаса в резервуарах. Форсированный режим работы скважин для этих целей может предусматриваться только в крайних случаях. Да и как обеспечить увеличение подачи воды артезианским насосом? Предусматривать установку насоса с заниженной частотой вращения рабочего колеса, а потом ее увеличивать? Но подобное решение не обеспечит эффективную работу насоса и заведомо приведет к снижению его КПД, избыточному расходу электроэнергии. Очевидно, что более логично увеличить число резервных насосных агрегатов для обеспечения требуемой подачи водозабора (насосной станции). Тем более, что в примечании табл. 10 п. 5.13 [1] указывается, что увеличение количества резервных скважин допускается при соответствующем обосновании.

Тогда, следуя логике, аналогичные требования необходимо ввести в [1] и для насосных станций, подающих воду из поверхностных источников. А следовательно, необходимо пересмотреть и требования по назначению количества резервных агрегатов на насосных станциях. Нельзя же признавать допустимым проектирование насосной станции без резерва дополнительной мощности на подачу пожарного или аварийного запаса воды в резервуар, надеясь на случай снижения водопотребления при равномерном режиме работы водозаборных и очистных сооружений. В этой связи нормативные требования по резервированию насосных агрегатов на насосных станциях необходимо пересматривать. Резерв насосов следует назначать с учетом вероятных ситуаций: на случай отказов насосных агрегатов, на случай подачи противопожарных расходов воды, на случай подачи дополнительного пожарного или аварийного запаса воды в резервуары и т. д. (возможно рассмотрение чрезвычайных ситуаций).

Выполненный анализ нормативных требований [1] по оценке подачи (производительности) сооружений позволяет сделать вывод, что требования по условиям функционирования и надежности сооружений систем водоснабжения необходимо систематизировать в полной их взаимосвязи. Любое водопроводное сооружение (водозабор, насосная станция, очистные сооружения, распределительная сеть, водоводы, регулирующие резервуары и т. д.) является элементом системы водоснабжения. Элементы в системе соединяются последовательно, параллельно. Они резервируются, ремонтируются, замещаются с определенными потоками отказов и восстановлений. Не останавливаясь

на подробностях формирования нормативных требований к системам водоснабжения, отметим, что требования по подаче воды, надежности должны регламентироваться для системы, а не для отдельного элемента. Поскольку понятие надежности отражает свойство объекта выполнять заданные функции, то и требования по его функционированию должны быть полностью сформулированы [9]. Надежность объекта или системы водоснабжения должна обосновываться расчетами, а не экспертными заключениями авторитетов. Методики оценки надежности объектов универсальны и применяются в системах энергоснабжения (аналоги систем водоснабжения), автоматики, авиации и т. д. Необходимы только данные о надежности составных элементов системы. К сожалению, в области водоснабжения и водоотведения проблеме формирования данных о надежности элементов систем в нашей стране с 1970-х годов не уделяется должного внимания.

Выводы: 1. Нормативные требования СНиП 2.04.02—84* по условиям функционирования и надежности сооружений систем водоснабжения необходимо скорректировать с учетом их систематизации и внесения дополнений по условиям функционирования. 2. Необходимо внести уточнения по п. 6.98, 6.131, 7 СНиП 2.04.02—84* в формулы по расчету расходов и площадей сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.02—84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., 1996.
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : принят Госдумой РФ 23 декабря 2009 г. : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г.
3. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / под ред. И. А. Назарова. М. : Стройиздат, 1977.
4. Сомов М. А., Журба М. Г. Водоснабжение : учеб. для вузов : в 3-х т. М. : АСВ, 2008.
5. Курганов А. М., Вуглинская Е. Э. Водозаборы подземных вод : учеб. пособ. СПб. : СПбГАСУ, 2009.
6. Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. 4-е изд., репринт. М. : БАСТЕТ, 2008.
7. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции. 3-е изд., перераб. М. : БАСТЕТ, 2010.
8. Турк В. И. Насосы и насосные станции. М., 1961.
9. ГОСТ Р 53480—2009. Надежность в технике. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2011.
1. СНиП 2.04.02-84*. Vodosnabzheniye. Naruzhniye seti i sooruzheniya. M., 1996.
2. Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy : prinyat Gosdumoy RF 23 dekabrya 2009 g. : odobren Sovetom Federatsii 25 dekabrya 2009 g.
3. Spravochnik proyektirovshchika. Vodosnabzheniye naselennykh mest i promyshlennykh predpriyati / pod red. I. A. Nazarova. M. : Stroyizdat, 1977.
4. Somov M. A., Zhurba M. G. Vodosnabzhenie : ucheb. dlya vuzov : v 3-kh t. M. : Izdatelstvo ASV, 2008.
5. Kurganov A. M., Vuglinskaya E. E. Vodozabory podzemnykh vod : ucheb. posob. S-Pb. : SPbGASU, 2009.
6. Kozhinov V. F. Ochistka pitevoy i tekhnicheskoy vody. 4-e izd., reprint. M. : BASTET, 2008.
7. Karelin V. Ya., Minayev A. V. Nasosy i nasosnye stantsii. 3-e izd., pererab. M. : BASTET, 2010.
8. Turk V. I. Nasosy i nasosnye stantsii. M., 1961.
9. GOST R 53480—2009. Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya. M. : Standartinform, 2011.

© Дерюшева Н. Л., Дерюшев Л. Г., 2011

Поступила в редакцию
в октябре 2011

Ссылка для цитирования:

Дерюшева Н. Л., Дерюшев Л. Г. О расчете производительности сооружений систем водоснабжения // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 4(19).