

С. Ш. САЙРИДИНОВ

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

HYDRAULIC AND TECHNOLOGICAL ENSURING OF EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION IN THE WATER SUPPLY SYSTEM OF HIGH-RISE BUILDINGS

Рассматриваются гидравлические и технологические пути повышения работоспособности системы водоснабжения высотных зданий с целью повышения эффективности подачи и распределения воды в заданном проектируемом объекте. Выполнен эксплуатационный, технологический и технико-экономический анализ применимости насосов современных производителей для повышения эффективности работы систем водоснабжения высотных зданий. Обосновываются каскадные технологии подачи воды с целью урегулирования гидравлического режима в системе водоснабжения высотных зданий. Обосновываются эксплуатационные особенности систем водоснабжения высотных зданий, факторы, влияющие на водо- и ресурсосбережение, эффективность работы насосных установок и особенности их регулирования.

Ключевые слова: водоснабжение, система водоснабжения, зонная система водоснабжения, внутренний водопровод, высотное здание, система водоснабжения высотных зданий, насосы и насосные станции, насосные установки, регуляторы давления

Высотные здания являются объектами повышенного риска [1, 2], значительно отличающимися от других типов зданий по требованиям к надежности, безопасности, ресурсосбережению систем водоснабжения и водоотведения. Высотными принято называть здания высотой более 75 м. Проектирование [2] и строительство высотного здания требует учитывать ряд факторов: расположение и геологию участка, обеспечение необходимой устойчивости и прочности сооружения, проблемы вертикальных коммуникаций, аэродинамику, ряд вопросов, связанных с безопасностью и надежностью постройки, а также средства спасения при чрезвычайных ситуациях, прежде всего при пожарах.

Высотное домостроение является привлекательным для инвесторов [2], а также позволяет более эффективно использовать городские территории. С архитектурной точки зрения такие здания обладают выразительностью и мо-

In this article, hydraulic and technological ways of increasing the efficiency of the water supply system for high-rise buildings are considered in order to improve the efficiency of water supply and distribution in a given projected facility. The operational, technological and feasibility analysis of the applicability of modern pumps to improve the efficiency of water supply systems in high-rise buildings has been completed. Cascade water supply technologies are justified with the aim of regulating the hydraulic regime in the water supply system of high-rise buildings. The operational features of water supply systems of high-rise buildings, the factors influencing water and resource saving, the efficiency of pump installations and the peculiarities of their regulation are substantiated.

Keywords: water supply, water supply system, zone water supply system, internal water supply, high-rise building, VHVZ (high-rise building water system), pumps and pumping stations, pump units, pressure regulators

гут выступать доминантами при формировании архитектурного облика застройки территорий. Большинство современных зданий, строящихся по индивидуальным проектам, являются многофункциональными комплексами. Для потребителей организуются самостоятельные системы инженерного обеспечения – холодного и горячего водоснабжения, бытовой и производственной канализации. При этом для зданий высотой более 10–12 этажей характерным является еще и зонирование систем [2] с целью создания оптимальных условий функционирования санитарно-технических приборов.

Проблемы надежности, безопасности, функциональности, ресурсосбережения, возникающие при проектировании, строительстве и особенно эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения высотных зданий в российских условиях, очень многообразны и не имеют необходимого научного, методического,

экспериментального обоснования и в недостаточной степени отражены в действующих нормативах, ориентированных в основном на мало- и среднеэтажную застройку, как отмечается в [3]. Для создания безопасной и комфортной среды в высотных зданиях в течение длительного срока эксплуатации системы водоснабжения и водоотведения должны обладать высокой надежностью подачи воды [4, 5] потребителям как на хозяйственно-питьевые цели, так и для пожаротушения.

В системах водоснабжения высотных зданий можно выделить следующие особенности:

- зонированием здания по высоте обеспечивается повышение гидравлической надежности систем хозяйственного и питьевого водоснабжения; зонные системы водоснабжения применяют в высотных зданиях высотой более 50 м (17 и более этажей), когда напор в сети превышает максимально допустимый (60 м для хозяйственно-питьевого водопровода и 90 м для противопожарного); высота зоны определяется максимально допустимым гидростатическим напором в самой нижней точке сети (резьбового соединения или арматуры);

- зонные системы внутреннего водопровода применяют в двух случаях; во-первых, при превышении допустимых пределов гидростатического давления в системе и, во-вторых, для обособления условий работы системы по гидравлическому режиму, что чаще происходит при отделении части системы по питанию или по величинам напоров;

- согласно СП 30.13330.2012 наибольшая величина гидростатического давления в системе хозяйственно-питьевого или хозяйственно-противопожарного водопровода на отметке наиболее низко расположенного санитарно-технического прибора не должна превышать 60 м; в системе отдельного противопожарного водопровода величина гидростатического напора допускается до 90 м; в противном случае необходимо разделить водопровод на вертикальные зоны. Как правило, в современном строительстве к двухзонной системе приходится переходить в зданиях высотой более 17 этажей. Обычно первую (нижнюю) зону устраивают таким образом, чтобы использовать гарантийный напор городского водопровода. Размеры последующих зон, число которых может быть различным, назначают в зависимости от величин допустимого давления в сети внутреннего водопровода. Выполняя эксплуатационный и технико-экономический анализ повышения напора в системе внутреннего водоснабжения, можно их разделить на три способа:

1. *С помощью напорно-запасных баков.* Достоинства этого способа заключаются в следующем: рациональное использование энергии насосов городской водопроводной сети; осреднение расчетных секундных расходов воды до величины среднечасовых, что влечет за собой снижение нерационального расхода электроэнергии. Недостатки: возможность ухудшения качества воды; необходимость усиления перекрытия, на котором приходится устанавливать баки, так как они с запасом воды представляют собой значительную сосредоточенную нагрузку; большие материальные потери при переливе воды и др.

2. *Насосные установки.* Достоинства: не нарушается герметичность подачи воды, что гарантирует ее высокое качество; удобны в эксплуатации и достаточно просты при монтаже. Недостатки: являются источниками шума и вибрации; нерационально расходуют электроэнергию.

3. *Гидроневматические установки.* Достоинства: рациональное использование энергии насосов; не нарушается герметичность подачи воды. Недостатки: требуют высокой технической культуры монтажа и обслуживания; относятся к категории оборудования высокого давления и поэтому подлежат контролю инспекции Госгортехнадзора.

В настоящее время можно определить общие типы систем водоснабжения этажных и высотных зданий следующим образом:

- *система прямого повышения давления* – насос (группа насосов) или установка повышения давления подает воду в здание непосредственно из питающей здание водопроводной сети;

- *система повышения давления с разрывом струи* – в данном случае между питающей водопроводной сетью и повышающими насосами или установкой размещается резервуар, заполняемый из водопроводной сети, т. е. насосная группа подает воду в систему водоснабжения здания, выкачивая ее из резервуара;

- *система повышения давления зданий с крышным баком* (верхним розливом); в данном случае насосы питаются непосредственно из водопроводной сети, но подают воду под давлением не прямо в систему водоснабжения здания, а в резервуар, расположенный в верхней точке здания – ближе к крыше. Таким образом, функция насосной группы сводится к своевременному заполнению крышного резервуара. Вода, если не требуется иного, сливается в систему водоснабжения здания из резервуара самотоком без использования дополнительных нагнетающих насосов.

- *Система повышения давления зонально-го типа* существенно повышает надежность

системы в целом, а также делает отдельные зоны (контура) практически независимыми друг от друга.

Для регулирования давления в магистрали используются два способа:

1) *регулирование с помощью дроссельной заслонки* (неполное открытие задвижки на напорном трубопроводе насоса);

2) *регулирование изменением скорости вращения рабочего колеса насоса.*

Первый способ представляет собой изменение параметров трубопровода, а именно его гидравлического сопротивления, при сохранении параметров и характеристики насоса. Второй способ наоборот – смещение характеристики насоса при сохранении параметров трубопровода. Большой недостаток первого способа заключается в том, что в любом случае насосы продолжают работать на полную (номинальную) мощность, при этом расходуя часть электроэнергии «впустую». Для примера можно привести жилой дом, в котором в ночные часы потребление воды намного меньше, чем в часы пик (утром и вечером).

Регулировка частоты вращения электродвигателя насоса обеспечивает поддержание давления в системе водоснабжения при переменном расходе, а также предотвращение гидроударов и провалов давлений. Принцип работы частотного регулирования основан на изменении производительности насоса за счет изменения его частоты вращения при постоянном моменте на валу электродвигателя этого насоса. Такой способ регулирования обеспечивает возможность плавного изменения напора и расхода в насосной системе.

Частотное регулирование насосов осуществляется за счет такого устройства, как частотный преобразователь. Его основная функция – плавное регулирование частоты вращения электродвигателя любого механизма (насоса, компрессора, привода и т. д.).

Регулировка дает возможность значительно снизить расход электроэнергии и воды на насосных станциях, обеспечить более высокий уровень автоматизации процессов, значительно повысить общее время службы электродвигателей, труб и других составляющих системы.

Устройство частотного регулирования неразрывно связано с электродвигателем и позволяет плавно, бесступенчато, без скачков мощности регулировать частоту вращения вала электродвигателя насоса в единицу времени. Регулировка осуществляется за счет изменения амплитуды и частоты подаваемого на электродвигатель трехфазного напряжения.

Обычно, когда расход воды снижается до 50 %, насосная установка управляется дроссе-

лированием и потребляет 80 % номинальной мощности. При использовании частотного преобразователя потребность в энергии составляет только 16 %, при этом экономия затрат на энергию составляет 84 %. Существует следующая зависимость между экономией и скоростью вращения двигателя насоса и потребляемой мощностью: при снижении скорости в два раза потребляемая мощность снижается в 8 раз. Это означает, что при снижении объема водопотребления в два раза скорость может быть снижена также в два раза, однако величина потребляемой электрической нагрузки снизится в 8 раз.

При установке частотного преобразователя (ЧП) скорость трехфазного асинхронного двигателя регулируется за счет преобразования напряжения питания переменного тока в напряжение постоянного тока, которое впоследствии снова преобразуется в напряжение с переменной частотой и амплитудой. Скорость двигателя изменяется в соответствии с получаемой частотой.

Системы, управляемые частотным преобразователем, имеют следующие преимущества:

- устраняется необходимость в регулирующих клапанах, которые неэффективно использовать для снижения расхода воды, и нет нужды недогружать насосы, что происходит при их работе с постоянной скоростью;

- плавный запуск, помогающий избежать пиков давления и вытекающей отсюда нагрузки на выходные трубы. Это снижает риск повреждений и утечки, а также внезапных колебаний давления, которые вызывают вибрацию труб, сопровождаемую звуками, напоминающими стук молотка и называемыми обычно «трамбовкой». Интенсивная трамбовка может даже вызвать разрыв труб, в то время как внезапное понижение давления может, наоборот, вызвать изгиб труб. Постепенная, а не внезапная остановка насосов к тому же предотвращает вредные для труб пики давления. Более того, она снижает износ подшипников и редукторов насоса. С помощью настройки длительности разгона и торможения можно оптимизировать процесс запуска и останова насоса;

- высокий коэффициент мощности ($\cos \varphi$) помогает снизить затраты на потребляемую электроэнергию;

- небольшие затраты на техобслуживание ЧП, так как он состоит из статических элементов;

- за счет ликвидации токовых пиков при запуске отпадает необходимость в электрических кабелях большого сечения, в то время как двигатели с прямым подключением к сети питания поглощают во время пуска ток, в 6–7 раз превышающий номинальное значение;

– насосные установки отличаются большими энергетическими затратами, которые могут быть существенно снижены за счёт применения регулирования скорости вращения в зависимости от величины водной нагрузки.

Большую популярность имеют комплексные насосные станции повышения давления различных производителей [6–8].

– *Vzlet (Омск)* – станции водоснабжения на центробежных насосах в количестве от 2 до 6 единиц компактны и полностью автоматизированы;

– *Grundfos (Дания)* – насосы и насосные станции для повышения давления представлены широким модельным рядом Вертикальные многоступенчатые насосы CR, CRN;

– *KSB (Германия)* – насосы и насосные станции для повышения давления представлены широким модельным рядом;

– *Wilo (Германия)* – производят насосы повышения давления с подачей от 0,8 до 2000 м³/ч и напором от 4 до 580 м. На официальном сайте компании представлено бесплатное программное обеспечение, с помощью которого можно спроектировать и рассчитать параметры установок и насосных станций.

Проектирование систем водоснабжения высотных зданий отличается от проектирования аналогичных систем обычных зданий. Оптимальный подбор насосов, схем управления и компоновки насосных установок для этих систем является новым и мало изученным [9]. Если проектировать системы обычным образом, то под действием гравитации в стояках систем водоснабжения высотных зданий давление жидкости будет значительно расти. Пользоваться холодной и горячей водой, находящейся под таким давлением, не только невозможно, но и опасно, а отопительные трубопроводы и сантехнические приборы, находящиеся под таким давлением, представляют серьезную опасность. Чтобы избежать указанную ситуацию, необходимо проектировать систему водоснабжения высотных зданий, разбивая их на зоны. Более детальная информация по особенностям проектирования и эксплуатации систем водоснабжения высотных зданий приводится в [9].

Зонирование осуществляется между соседними техническими этажами, которые располагают по высоте на расстоянии не более 50 м. Организация зонирования оказывает существенное влияние на требования, предъявляемые к насосам, и на потребление электроэнергии этими насосами, и все вопросы, возникающие при проектировании конкретных зданий, должны решаться совместными усилиями проектировщиков здания, а также изготовителей насосов, насосных установок и станций управления.

Водоснабжение зон можно построить по каскадной схеме (рис. 1). Насосы при этом располагаются на технических этажах и должны развивать напор, достаточный для того, чтобы обеспечить водоснабжение обслуживаемой зоны и поднять воду к следующей по высоте зоне. Чтобы избежать наращивания гидростатического давления по высоте здания, зоны разделены обратными клапанами, благодаря этому наращивание давления происходит только в пределах зоны (см. рис.1). Обратные клапаны при каскадной схеме водоснабжения лучше располагать перед насосами – это позволит избежать осушения насосов через водоразборную арматуру нижележащей зоны.

При назначении требований к трубопроводам, арматуре и насосам необходимо учитывать, что существует вероятность неисправности обратных клапанов, вследствие чего наращивание давления может охватить несколько зон или все здание по высоте. Поэтому с целью исключения аварийного затопления помещений необходимо, чтобы все элементы системы холодного и горячего водоснабжения выдерживали гидростатическое давление всех выше расположенных зон.

Известно, что два насоса с частотными приводами, управляемыми по давлению и соединенными последовательно, как правило, работают неустойчиво: один из насосов «задавливает» другой, а в ряде случаев возникают автоколебания в системе управления насосами. Причина в том, что изменение под действием случайных факторов, например напора одного из насосов, вызывает изменение показаний датчиков обоих насосов и, следовательно, изменение частоты вращения обоих насосов. В результате этого, в случае медленно протекающих процессов, возникает перераспределение напоров между насосами, а в случае быстро протекающих процессов возникает перерегулирование, нарушающее нормальную работу систем управления насосами и способствующее возникновению автоколебаний.

Для высотных зданий описанная цепочка последовательно соединенных насосов удлинняется, что повлияет на работу системы управления, увеличив ее склонность к автоколебаниям. Пояснить это можно следующим образом. Предположим, что произошло быстрое изменение расхода воды в последней, верхней зоне. Это вызовет цепную реакцию изменения частоты вращения насосов всех ниже лежащих зон, при этом изменение частоты вращения насоса каждой ниже лежащей зоны будет происходить с некоторой задержкой времени по отношению к предыдущей зоне. Эти временные задержки при определенных

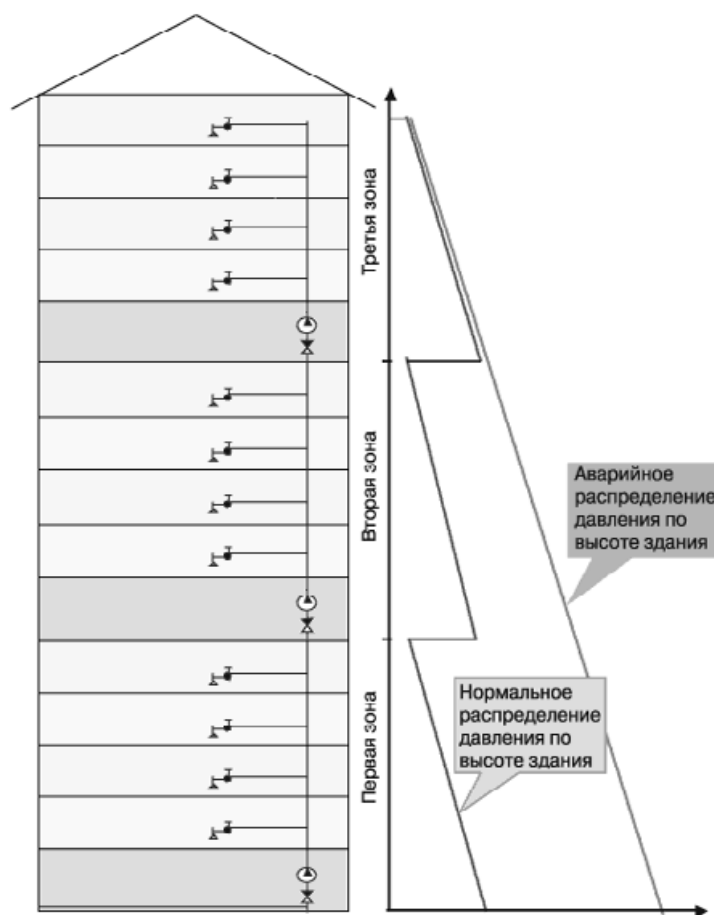


Рис. 1. Каскадная схема
холодного водоснабжения высотного здания

условиях вызывают такие колебательные явления в системе управления насосами, когда изменение частоты вращения насосов в разных частях трубопровода будет иметь разное направление, т. е. в одной части трубопровода частота вращения насосов увеличивается, а в другой в тот же момент времени уменьшается. Под воздействием этих колебаний частоты вращения насосов в трубопроводе возникнут интенсивные колебания давления и, если они совпадут с собственными частотами столба жидкости в трубопроводе, возникнет явление резонанса, сопровождающееся ростом амплитуд колебания давления до опасных значений. Из сказанного следует, что при каскадной схеме водоснабжения высотных зданий применять *частотный привод насосов надо с большой осторожностью*.

Энергосбережение в системах с каскадным зонированием водоснабжения обеспечивается правильным подбором насосов. При подборе насосов надо исходить из того, что насосы нижней зоны должны подать такое количество воды, чтобы обеспечить ею свою и все вышерасположенные зоны. В то время как насосы самой верхней зоны должны обеспечить водой только свою зону. Производительность насоса любой промежуточной зоны можно определить по формуле

$$Q_j = \sum_{i=j}^n q_i, \quad (1)$$

где j – номер зоны, где расположен насос; i – текущий номер зоны; q_i – расход воды i -й зоны; n – общее число зон.

Альтернативой каскадной схеме водоснабжения является параллельная схема зонирования, представленная на рис. 2. Здесь зоны

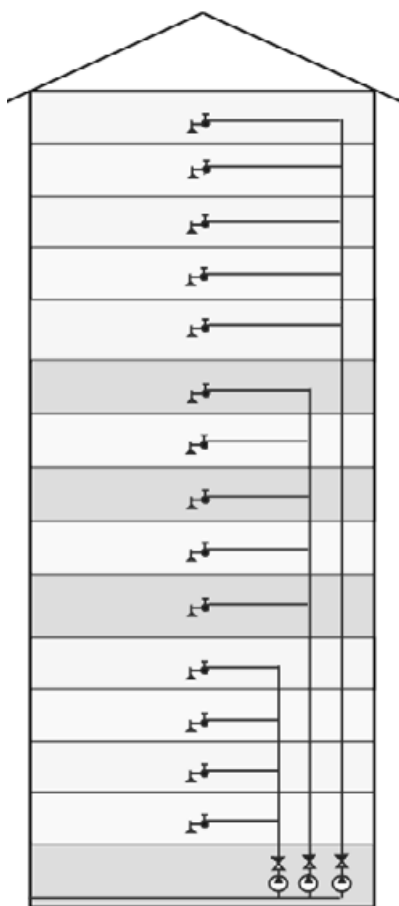


Рис. 2. Параллельная схема зонирования холодного водоснабжения высотных зданий

являются независимыми. Каждую из них обслуживают свои насосы, расположенные в нижней части здания и подающие воду только в свою зону. При использовании этой схемы воздействие высокого давления на арматуру и сантехническое оборудование, расположенные на этажах зоны полностью исключается.

Воздействию гидростатического давления подвергаются только насосы и трубопроводы, поднимающие воду из городского водопровода. Несмотря на требуемые высокие напоры насосов и на большие гидростатические давления, которые должен выдерживать насос, подобрать насосы для параллельных схем зонирования не составляет особого труда. Управление насосами при помощи частотных преобразователей [10], посредством плавного регулирования скорости вращения двигателей, обеспечивает превосходное качество регулирования давления, дает комфортное постоянное давление в системе и является наиболее эффективным и экономичным. С такими установками потребитель, задав определенную температуру воды

на смесителе, не ощутит никаких колебаний температуры, так как давление в системе будет всегда неизменным, даже при подключении дополнительных потребителей. Данные установки особенно рекомендуются для систем водоснабжения, где требуется постоянное, без перепадов давление. Частотный преобразователь меняет скорость вращения электродвигателей по сигналам электронного датчика давления. Включение повысительной установки происходит плавным разгоном «ведущего» (регулируемого) насоса с помощью преобразователя частоты [10, 11].

При параллельном зонировании энергосбережение обеспечивается путем оптимального выбора числа зон и применения насосов с частотным приводом.

Оптимизация числа зон основывается на том, что гидравлическая мощность, передаваемая насосом жидкости, определяется произведением подачи насоса на его напор. Если здание не разделяется на зоны, гидравлическая мощность, необходимая для его водоснабжения, будет равна

$$N = \frac{Q \cdot H}{367}, \text{кВт}, \quad (2)$$

где Q – подача насоса, м³/ч; H – напор насоса, м вод.ст.; 367 – коэффициент, связанный с принятыми единицами измерения.

При двух зонах половина потребляемой воды поднимается на всю высоту здания, а вторая половина – только на половину высоты. При трех зонах треть воды поднимается на всю высоту здания, треть – на две трети высоты и оставшаяся треть – на одну треть и т. д. Суммарная гидравлическая мощность насосов, подающих воду в здание, будет равна

$$N = \frac{Q}{n} \cdot \left(\frac{H}{n} + \frac{2H}{n} + \dots + \frac{i \cdot H}{n} + \dots + \frac{n \cdot H}{n} \right) \cdot \frac{1}{367}, \text{кВт}, \quad (3)$$

где n – общее число вертикальных зон водоснабжения; i – принимает значения от 1 до n .

Снижение гидравлической мощности при разбиении водоснабжения здания на зоны показано в табл.1.

Из табл.1 видно, что разбиение системы водоснабжения на две зоны дает эффект снижения мощности на 25 %, разбиение на три зоны – на 33 %, при дальнейшем увеличении числа зон рост эффективности замедляется. С точки зрения энергосбережения можно рекомендовать четырех- и пятизонные системы водоснабжения.

При реальном проектировании следует учитывать и другие факторы, такие как: высота зоны,

капитальные затраты на оборудование и т. п. Как уже упоминалось, высота зоны не должна превышать 50 м, и в то же время вряд ли целесообразно иметь зоны высотой один-два этажа.

Для водоснабжения помещений, расположенных на высоте менее 75 м, применение частотного привода насосов при параллельных схемах зонирования ничем не отличается от частотного регулирования насосов водоснабжения обычных зданий.

Для зон, расположенных выше 75 м, с целью снижения мощности преобразователя частоты можно рекомендовать две группы последовательно соединенных насосов (рис. 3). Первая группа (базовые насосы) располагается внизу. Базовые насосы поднимают воду до технического этажа соответствующей зоны. На техническом этаже расположена вторая группа насосов (зональные насосы) с гидроаккумулятором, подающих воду на этажи

зоны. Давление на этажах здания при этой схеме водоснабжения складывается из четырех составляющих – давления в городском трубопроводе P_1 , напора H_6 базовых насосов, напора H_3 зональных насосов и геометрической высоты расположения этажа H_2 (см. рис. 3).

Базовые насосы, расположенные в нижней части здания, работают с постоянной частотой вращения. Регулирование насосов каскадное. Насосы включаются и выключаются по сигналу от датчика давления или по сигналу от датчика расхода, расположенного в напорном трубопроводе базовых насосов. Управление насосами от датчика расхода является более предпочтительным, так как в этом случае изменение давления в городском водопроводе не будет влиять на момент подключения и отключения дополнительного насоса. Следует также иметь в виду, что датчики давления, рассчитанные на большие давления, имеют меньшую чувствитель-

Таблица 1

Зависимость гидравлической мощности от числа зон

Количество зон	1	2	3	4	5	6	7	8
Снижение гидравлической мощности %	0	25	33	37	40	42	43	44

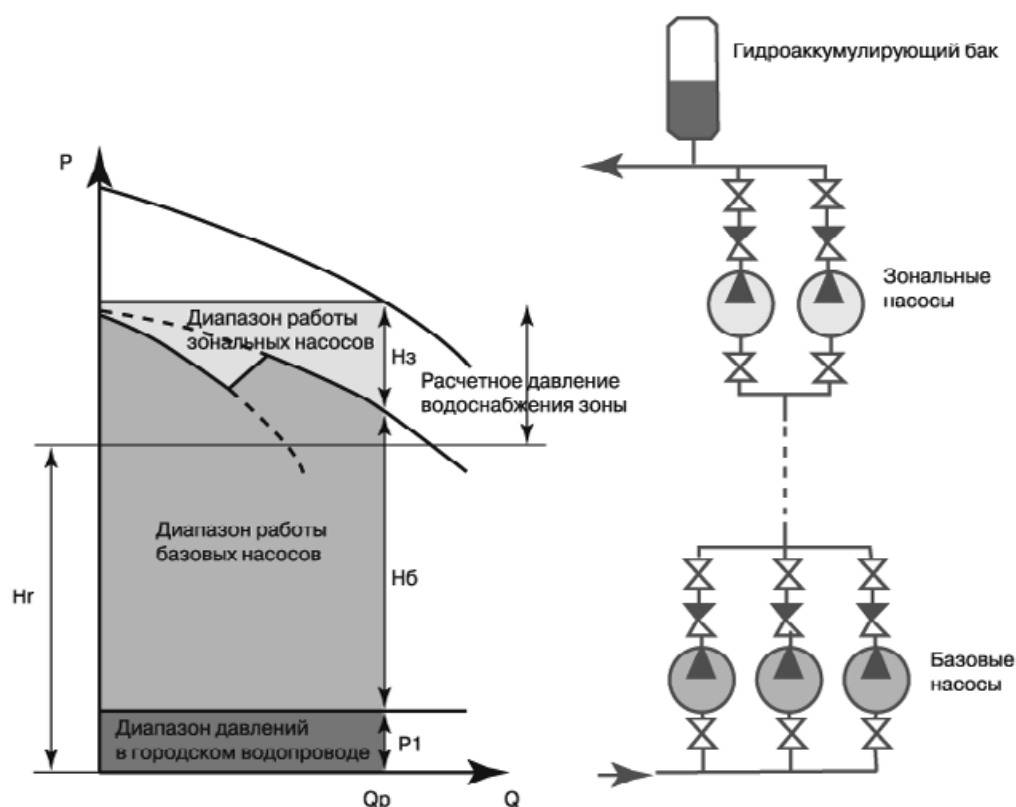


Рис. 3. Насосная установка с базовыми и зональными насосами

ность, а недостаточная чувствительность датчика не позволит своевременно производить переключение насосов.

Напор базовых насосов выбирается таким образом, чтобы на нулевой подаче насоса и при максимальном давлении в городском водопроводе давление на входе зональных насосов было на 0,05–0,1 МПа меньше расчетного, а при минимальном давлении в городском водопроводе было не менее 0,1 МПа.

Требования к зональным насосам такие же, как и к повысительным насосам обычных зданий, с той разницей, что они должны обладать пониженной шумностью, так как устанавливаются на перекрытиях технических этажей. С целью снижения шумности надо стремиться так подобрать базовые насосы, чтобы обеспечить минимальную мощность зональных насосов. Регулирование зональных насосов каскадно-частотное. Изменение частоты вращения зональных насосов компенсирует изменение собственного напора и напора базовых насосов при изменении расхода воды, а также колебания давления в городском водопроводе. Гидроаккумулирующий бак, подключенный к напорной линии зональных насосов, позволяет отключать зональные и базовые насосы в периоды малого водопотребления. Напор H_z (см. рис. 3) зональных насосов выбирается таким образом, чтобы при расчетном расходе воды Q_p и частоте тока 45–50 Гц обеспечивалось заданное давление в стояках зоны даже при минимальном давлении в городском водопроводе.

Исследуем водосбережение при изменении частотного регулирования насосов:

1. Электроэнергия, потребляемая насосом при регулировании путем дросселирования задвижки, вычисляется по формуле

$$W_1 = \frac{\rho \cdot \sum_{i=1}^4 (Q_i \cdot H_{i1} \cdot t_i)}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_o}, \quad (4)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; Q_i – подача насоса в i -й зоне суток, м³/с; H_i – напор, развиваемый насосом в i -й зоне, м; t_i – продолжительность i -й зоны, ч; η_n – КПД насоса, доли единицы.

2. Электроэнергия, потребляемая насосом при регулировании скорости вращения электродвигателя:

$$W_1 = \frac{1000 \cdot (74 \cdot 76,26 \cdot 4 + 78 \cdot 15,25 \cdot 7,5 + 74 \cdot 76,26 \cdot 7,5 + 71 \cdot 7,63 \cdot 5)}{102 \cdot 0,7 \cdot 0,83 \cdot 3600} = 356 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Электроэнергия, потребляемая насосом при регулировании скорости вращения электродвигателя:

$$W_2 = \frac{1000 \cdot (64 \cdot 76,26 \cdot 4 + 60 \cdot 15,25 \cdot 7,5 + 64 \cdot 76,26 \cdot 7,5 + 51 \cdot 7,63 \cdot 5)}{102 \cdot 0,7 \cdot 0,83 \cdot 3600} = 305 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$W_2 = \frac{\rho \cdot \sum_{i=1}^4 (Q_i \cdot H_{2i} \cdot t_i) \cdot 1,1}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_o}, \quad (5)$$

При расчете W_2 введен поправочный коэффициент 1,1, ориентировочно учитывающий потери мощности в частотном преобразователе.

3. В течение суток в сети наблюдается избыточное давление, превышающее давление в диктующей точке, снимаемое манометром. Как известно [12],

$$P = \rho \cdot g \cdot H, \quad (6)$$

Определяем величину избыточного напора:

$$H_{изб} = \frac{P_{изб}}{\rho \cdot g}, \quad (7)$$

$$H_{i1} = H_{i2} + H_{i-изб}, \quad (8)$$

Преобразователь частоты осуществляет регулирование частоты вращения двигателя насоса системы водоснабжения в функции поддержания давления на заданном уровне. Это позволяет снизить избыточное давление в сети.

4. Годовая экономия электроэнергии определяется из выражения

$$\Delta W = (W_1 - W_2) \cdot 365, \quad (9)$$

Рассчитаем эффективность установки преобразователя частоты на примере насосной станции. Данная станция подкачки оснащена 4 насосными агрегатами. Избыточное давление наблюдается:

утром – $P_{изб} = 1, 0$ атм с 05.00 до 09.00, итого 4, 0 ч;
 днем – $P_{изб} = 1, 8$ атм с 09.00 до 16.30, итого 7, 5 ч;
 вечером – $P_{изб} = 1, 0$ атм с 16.30 до 24.00, итого 7, 5 ч;
 ночь – $P_{изб} = 1, 9$ атм с 00.00 до 05.00, итого 5, 0 ч.

Требуемые расходы по зонам суток определяются с учетом количества жильцов данного здания и нормативного потребления холодной и горячей воды на человека (табл. 2).

Определяем суточный расход электроэнергии насосом при регулировании путем дросселирования задвижки:

Таблица 2

Численные значения расходов и напоров по зонам суток

Требуемые расходы, м ³ /ч	Требуемый свободный напор, м	Избыточный напор в сети, м
$Q_{\text{утр}} = 76,26$	Утром – $H_2 = 64$	Утром – $H_{\text{изб}} = 10$
$Q_{\text{дн}} = 15,25$	Днем – $H_2 = 60$	Днем – $H_{\text{изб}} = 18$
$Q_{\text{веч}} = 76,26$	Вечером – $H_2 = 64$	Вечером – $H_{\text{изб}} = 10$
$Q_{\text{ночь}} = 7,63$	Ночью – $H_2 = 52$	Ночью – $H_{\text{изб}} = 19$

Годовая экономия электроэнергии определяется из выражения

$$\Delta W = (W_1 - W_2) \cdot 365 = (359 - 305) \cdot 365 = 19170 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Выводы. 1. Указаны гидравлические и технологические пути повышения работоспособности системы водоснабжения высотных зданий с целью повышения эффективности подачи и распределения воды в заданном проектируемом объекте.

2. Выполнен эксплуатационный, технологический и технико-экономический анализ применимости насосов современных производителей для повышения эффективности работы систем водоснабжения высотных зданий.

3. Обоснованы каскадные технологии подачи воды с целью урегулирования гидравлического режима в системе водоснабжения высотных зданий.

4. Обоснованы эксплуатационные особенности систем водоснабжения высотных зданий, факторы, влияющие на водо- и ресурсосбережение, эффективность работы насосных установок и особенности их регулирования.

5. Рекомендовано, что при каскадной схеме зонирования системы водоснабжения высотных зданий для предотвращения наращивания гидростатического давления по высоте здания зоны следует разделять обратными клапанами.

6. Не рекомендуется при каскадной схеме зонирования применение частотного преобразователя для регулирования давления, в связи с возможностью возникновения автоколебаний в системе управления насосами.

7. Показано, что при параллельной схеме зонирования энергосбережение обеспечивается путем оптимального выбора числа зон и применения насосов с частотным приводом.

8. Определено, что наиболее рациональным способом регулирования давления в системах водоснабжения является регулирова-

ние с помощью частотного преобразователя, позволяющего значительно снизить расход электроэнергии и воды на насосных станциях, обеспечить более высокий уровень автоматизации процессов, значительно повышающий срок службы электродвигателей, труб и других элементов системы.

Сделанные выводы позволяют проектировщикам рассчитать гидравлические и технологические пути повышения работоспособности систем водоснабжения высотных зданий с целью повышения эффективности подачи и распределения воды в заданном проектируемом объекте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамсон Л.А. Развитие строительства высотных зданий // Жилищное строительство. 2005. № 10. С. 14–29.
2. Инженерные системы высотного здания. <http://www.vestnik.info/archive/15/article166.html> (дата обращения: 16.03.2017).
3. Исаев В.Н., Никонов С.А., Мхитарян М.Г. Водоснабжение и водоотведение высотных зданий (ч. II) // Сантехника. 2004. №6. С. 84–87.
4. Мельникова Е. Надежные системы водоснабжения и водоотведения высотных и сверхвысоких зданий // Технологии строительства. 2005. №6 (40). С. 84–87.
5. Надежные системы водоснабжения и водоотведения высотных и сверхвысоких зданий. <http://old.stroi.mos.ru/nauka/d26dr5741m2.html> (дата обращения: 16.03.2017).
6. Насосный завод Взлет. <http://www.vzlet-omsk.ru/nasosy> (дата обращения: 16.03.2020).
7. Насосы и насосные установки высотных зданий. http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2711 (дата обращения: 16.03.2017).
8. Grundfos. <http://ru.grundfos.com>; Grohe. <http://www.grohe.com/ru/>; KSB. <http://www.ksb.com>

com/ksb-ru; Rosa. <http://www.rosa-k.ru>; Wilo. <http://www.wilo.ru>

9. Сайриддинов С.Ш. Особенности проектирования и эксплуатации систем водоснабжения высотных зданий // Градостроительство и архитектура. 2017. № 2 С. 38–47. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.7.

10. Шаин И.Г. Установки повышения давления // Сантехника. 2004. №1. С. 26–28.

11. Частотное регулирование электроприводов. <http://www.e-audit.ru/chrp/rules.shtml>

12. Сайриддинов С.Ш. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения // АСВ. 2012. С.50–54.

9. Sayriddinov S.Sh. Hydraulics of water supply and sanitation (textbook for university students. Moscow, ASV, 2012, pp. 50-54.

10. Frequency regulation of electric drives. Available at: <http://www.e-audit.ru/chrp/rules.shtml> (accessed 16 March 2020).

11. Shain I.G., Pressure boosting installations. *Santekhnika* [Plumbing], 2004, no.1, pp. 26-28. (in Russian)

12. Grundfos. Available at: <http://ru.grundfos.com>; Grohe. <http://www.grohe.com/ru/>; KSB. <http://www.ksb.com/ksb-ru>; Rosa. <http://www.rosa-k.ru>; Wilo. <http://www.wilo.ru> (accessed March 16 2020).

REFERENCES

1. Abramson L.A. Development of the construction of high-rise buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2005, no. 10, pp. 14-29. (in Russian)

2. *Inzhenernyye sistemy vysotnogo zdaniya* [Engineering systems of a high-rise building]. Available at: <http://www.vestnik.info/archive/15/article166.html> (assessed 16 March 2020).

3. Isaev V.N., Nikonov S.A., Mkhitaryan M.G. Water supply and sanitation of high-rise buildings (part two). *Santekhnika* [Plumbing], 2004, no. 6. (in Russian)

4. Melnikova E. Reliable water supply and sanitation systems for high-rise and ultra-tall buildings. *Tekhnologii stroitel'stva* [Construction Technologies], 2005, no. 6 (40), 84-87. (in Russian)

5. Reliable water supply and sanitation systems for high-rise and ultra-tall buildings. Available at: <http://old.stroi.mos.ru/nauka/d26dr5741m2.html> (assessed 16 March 2020).

6. Pump plant take off. Available at: <http://www.vzlet-omsk.ru/nasosy> (assessed 16 March 2020).

7. Pumps and pumping units of high-rise buildings. Available at: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2711 (accessed 16 March 2020).

8. Sayriddinov S.Sh. *Features of the design and operation of water supply systems for high-rise buildings*. [Urban Construction and Architecture], 2017, no.2, pp. 38-47. (in Russian)

Об авторе:

САЙРИДДИНОВ Сайриддин Шахобович

кандидат технических наук, доцент Центра инженерного оборудования

Тольяттинский государственный университет

Архитектурно-строительный институт

445667, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. (8482)53-92-65, 53-91-35

E-mail: mrsso@yandex.ru

SAYRIDDINOV Sayriddin Sh.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Engineering Equipment Center

Togliatti State University

Architectural and Construction Institute

445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14,

tel. (8482)53-92-65, 53-91-35

E-mail: mrsso@yandex.ru

Для цитирования: Сайриддинов С.Ш. Гидравлическое и технологическое обеспечение эффективности подачи и распределения воды в системе водоснабжения высотных зданий // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 3. С. 35–44. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.6.

For citation: Sayriddinov S.Sh. Hydraulic and Technological Ensuring of Efficiency of Water Supply and Distribution in the Water Supply System of High-Rise Buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 3, Pp. 35–44. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.6.