

## Оптимизация модульных решений в системах водоснабжения и канализации

*О. А. Штейнмиллер, генеральный директор АО «Промэнерго»,  
В. В. Петров, руководитель комплектных продаж АО «Промэнерго»,  
А. С. Семенов, директор инженерного центра модульных решений АО «Промэнерго»*

*Тенденция применения модульных решений в проектной и строительной деятельности обусловлена сокращением затрат и сроков как на разработку и согласование проектных решений, так и на их реализацию в ходе строительно-монтажных работ. В области систем инженерного обеспечения строительства в последнее время увеличивается использование модульных решений в таких направлениях как вентиляция, отопление, водоснабжение и водоотведение. Данная практика корреспондируется с активно продвигаемым внедрением типовых проектных решений [3].*

В области систем водоснабжения и канализации наиболее распространенными примерами модульных решений, безусловно, следует признать применение комплектных канализационных насосных станций (КНС) на наружных сетях и модульных автоматических насосных станциях (МАНС) для повышения давления (напора) в сетях внутреннего водопровода жилых и общественных зданий (рис. 1).

*Рис. 1. Комплектные канализационные насосные станции (КНС) на наружных сетях и модульные автоматические насосные станции (МАНС) для повышения давления (напора) в сетях внутреннего водопровода жилых и общественных зданий*

Комплектные КНС, ставшие приоритетным решением водоотведения (канализования) за последние 5–10 лет, выпускаются готовыми к непосредственной установке в систему канализации. В наиболее распространенном варианте комплектные КНС представляют собой резервуар для подземной установки из армированного стеклопластика с точками подключения подводящего (подводящих) и отводящего (отводящих) стоки трубопроводов. Внутри такого резервуара размещено основное оборудование — насосные агрегаты (как правило, погружные), напорная трубопроводная обвязка с запорно-регулирующей арматурой, КИПиА (включая регуляторы уровней), вспомогательное оборудование и устройства (погружные соединители, подъемные цепи, лестница, площадка обслуживания, корзины/решетки для сбора крупного мусора, измельчители, мешалки, направляющие для монтажа-демонтажа оборудования), а также внутренние электросиловые и «сигнальные»/управляющие кабельные сети, выходящие за пределы резервуара и подключаемые к устанавливаемому вблизи резервуара шкафу управления, как правило, входящему в объем поставки.

Строительный монтаж стеклопластикового резервуара в котлован на фундаментную плиту (определенную проектом по отметке, габаритам и конструкции) с подключением подводящего коллектора и отводящих (напорных) трубопроводов занимает у строительной компании 1,5–2 недели. Установка насосов в резервуар КНС по направляющим трубам, установка регуляторов уровня (поплачков), расключение силовых и управляющих кабелей в шкафу управления занимают не более трех дней. При наличии электроснабжения и возможности подачи/отведения сточной воды весь период

монтажных и пусконаладочных работ (без учета сроков поставки комплектной КНС) вполне разумно ограничивается тремя неделями.

В водоснабжении применение в качестве повысительной насосной установки комплектной МАНС заводского изготовления, оснащенной стандартной системой управления, прошедшей первичные испытания и тестирование на производственных стендах предприятий-изготовителей, стало сложившейся практикой. Компоновка повысительной насосной установки на объекте, непосредственно в месте монтажа, из отдельных насосных агрегатов и шкафа управления может быть обоснована лишь массогабаритными характеристиками оборудования или особыми условиями работ, затрудняющими транспортировку и монтаж готовой МАНС к месту установки.

В общем случае модульное решение в системах водоснабжения и канализации — это конструктивно связанное изделие (или комплект изделий), представляющее собой единый технологический комплекс, в состав которого, как правило, входят: основные конструктивные элементы (при наличии; например, резервуар и/или павильон), основное оборудование (например, насосы), трубопроводная обвязка с запорно-регулирующей арматурой, КИПиА, вспомогательное оборудование и устройства, внутренние электросиловые и сигнальные кабельные сети, система/шкаф управления (электрические подключение и защита оборудования и КИПиА, автоматизация и диспетчеризация работы изделия), имеющее явно и однозначно определенные границы (присоединительные «входные» и «выходные» фланцы, вводные электрические клеммы и др.) при интегрировании его в инженерную инфраструктуру объекта, а также обеспечивающее определенные функциональные результаты, в соответствии с параметрами, требованиями, техническими условиями, установленными технической документацией (проектной и рабочей документацией, паспортом изделия или паспортами входящих в комплект изделий).

Накопившийся опыт применения модульных решений при строительстве и монтаже систем водоснабжения и канализации, в том числе по результатам их эксплуатации, приводит к дальнейшему совершенствованию и развитию таких решений как в конструктивной части, так и в технологической/функциональной части. Одной из основных движущих причин интереса к применению модульных решений на наружных сетях водоснабжения и канализации является сокращение сроков проектирования, а также объема вновь разрабатываемой проектной документации, в том числе в связи с отсутствием в ряде случаев части требований, предъявляемых экспертизой к объектам капитального строительства (сооружениям). При этом предполагается, что модульные решения заводской готовности отвечают всем обязательным требованиям, предъявляемым к соответствующим сооружениям, таким как степень огнестойкости, расчетная прочность конструкции (с учетом ветровых, снеговых, сейсмических и температурных нагрузок), герметичность и т.п.

Некоторые из таких новых решений вызывают большие споры об их экономической целесообразности и/или допустимости с точки зрения безопасности строительства и надежности эксплуатации. Такие споры в первую очередь связаны с отсутствием развернутой нормативной базы, регламентирующей применение различных модульных решений при строительстве и монтаже систем водоснабжения и канализации, в том числе с неопределенностью состава и обоснованности технических требований к таким решениям (к их конструктивной части, размещению основного и вспомогательного оборудования, точкам подключения к внешним сетям, уровню систем защиты, управления

и автоматизации). Вызывают вопросы допустимые условия их применения, порядок проведения шефмонтажных (сборочных) и наладочных работ, а также критерии необходимости проведения и объема испытаний по завершении монтажных работ на объекте, состав и формы исполнительной документации по работам, в ходе которых применялись модульные решения. Оставляет желать лучшего и детерминированность требований к составу и содержанию сопроводительной технической документации (паспортов изделий), а также фактическое соответствие поставляемых изделий техническим условиям, примененным при сертификации такой продукции.

Сокращение затрат в ходе строительства в случаях применения модульных решений обусловлено в первую очередь уменьшением сроков монтажных работ подрядчика на объекте, уменьшением объема испытаний, снижением риска затрат, связанных с ошибками при монтаже, нередко приводящих к выходу из строя монтируемого дорогостоящего оборудования. Однако зачастую подрядные организации прикладывают усилия к так называемой оптимизации затрат, что на деле означает существенное изменение в сторону снижения или исключения ряда технических требований к поставляемым модульным решениям, во изменение решений, предусмотренных проектной и рабочей документацией. В таких случаях формальное применение условно «аналогичного» модульного решения лишь прикрывает отклонение от проектных требований и зачастую приводит к существенному сокращению надежности и снижению предусмотренной проектом функциональности изделия. В связи с этим особое значение в случаях применения в проектах модульных решений следует уделять отражению в составе проектной документации всего объема существенных технических требований к предусматриваемому изделию.

Реальная оптимизация модульных решений в системах водоснабжения и канализации, с учетом всего комплекса факторов, влияющих на стоимость проектирования, строительства и последующей работы, а также на надежность и безопасность эксплуатации, достигается за счет выработки и внедрения в практику различных усовершенствований применяемых изделий. В общем случае можно говорить о следующих взаимосвязанных направлениях развития применяемых модульных решений:

- 1) увеличение технологических функций в составе модульного решения;
- 2) изменение конструктивной части модульного решения;
- 3) улучшение основных эксплуатационных показателей модульного решения.

Ниже будет представлен ряд примеров из опыта работы авторов, в которых будут отражены некоторые текущие тенденции развития модульных решений в системах водоснабжения и канализации, соответствующие указанным направлениям.

Опыт эксплуатации комплектных КНС привнес в практику необходимость дооснащения такого модульного решения в некоторых случаях дополнительным функционалом, таким, как:

- применение на входе в КНС измельчителей или решеток-дробилок (для предотвращения засорения и/или блокировки насосов поступающим в составе стока мусором, приводящим к остановке работы КНС и необходимости постоянного обслуживания, а в некоторых случаях — к выходу из строя насосных агрегатов);
- применение мешалки в нижней части корпуса КНС, работающей с определенной периодичностью во взаимосвязи с режимом пуска/останова насосов (для предотвращения заиливания с последующим ухудшением условий работы насосного оборудования и существенным сокращением сроков его службы).

В некоторых случаях из-за ограничений по габаритам резервуара КНС, обусловленных условиями транспортировки к месту монтажа и/или проектными решениями для условий объекта, это приводит к необходимости применения дополнительного резервуара в составе модульного решения (для размещения всего комплекта оборудования), т. е. к изменению конструктивной части модульного решения.

Имеются примеры «выноса» в отдельный резервуар (предшествующий по размещению на подводящем коллекторе основному резервуару с насосами) оборудования для измельчения мусора или размещения сороулавливающей корзины (с возможностью извлечения на поверхность); при этом такой резервуар фактически принимает на себя функцию дополнительного резервуара-отстойника, увеличивающего регулируемый объем для определения частоты включения/выключения насосов.

Для решения проблем с размещением насосного и сопутствующего оборудования в допустимых габаритах основного резервуара КНС в практике встречается «вынос» в отдельный резервуар (меньшей глубины заложения) запорно-регулирующей арматуры на напорных трубопроводах после насосов, что может быть признано весьма целесообразным решением с экономической и эксплуатационной точки зрения. Бывает также необходимо включение в состав комплектной КНС отдельного резервуара-отстойника, предшествующего по размещению на подводящем коллекторе основному резервуару с насосами, по причине недостаточности регулируемого объема в допустимых габаритах основного резервуара. При использовании такого решения проектом следует определить вопросы обслуживания этого резервуара, необходимость оснащения резервуара-отстойника решеткой и/или техническими средствами для очистки резервуара от накопившегося мусора (подъемные решетка или корзина, насос мобильной установки с режущим механизмом и т. п.).

Таким образом, зачастую увеличение технологических функций в составе модульного решения комплектной КНС приводит к изменению его конструктивной части.

За последнее время увеличилось количество запросов от проектных и строительных компаний на размещение шкафов управления и автоматизации в отдельном резервуаре, размещаемом на объекте в подземном положении, в непосредственной близости от основного резервуара КНС (с насосами). Такое решение, как правило, обусловлено требованиями проекта, обеспечивающими согласование экспертизой сокращения санитарных зон КНС, а также улучшение визуально-архитектурной составляющей.

На рис. 2 представлены фотографии, сделанные в ходе монтажа комплектных КНС (разработка, производство и поставка изделий в составе комплектов, шефмонтаж и наладка — АО «Промэнерго») при строительстве систем инженерного обеспечения объектов жилищной застройки квартала в районе Янино-1 (Ленинградская область, Всеволожский район). Каждая комплектная КНС ливневых стоков включает в себя три резервуара: резервуар-отстойник с решеткой, основной резервуар с тремя насосами и сороулавливающей корзиной, резервуар для размещения шкафа управления и автоматизации. Аналогичное решение применено для комплектных КНС хозяйственно-бытовых стоков, в основных резервуарах которых предусмотрено по два насоса.



*Рис. 2. Монтаж комплектных КНС (разработка, производство и поставка изделий в составе комплектов, шеф-монтаж и наладка – АО «Промэнерго») при строительстве систем инженерного обеспечения объектов жилищной застройки квартала в районе Янино-1 (Ленинградская обл., Всеволожский район)*

Приведенный пример комплектных КНС также подтверждает практику улучшения основных эксплуатационных показателей модульного решения. Кроме требования о размещении шкафа управления и автоматизации работы КНС в отдельном подземном резервуаре были определены расширенные требования к функционалу предусмотренного шкафа. На рис. 3 представлены фотографии одного из шкафов управления и автоматизации ЩУ 108 (производство — АО «Промэнерго») и перечень части требований, обеспечиваемых в соответствии с проектной документацией и технически заданием.



*Рис. 3. В щитах управления предусмотрено ручное и автоматическое управление работой насосов, АВР, возможность запуска от ДГ, плавный пуск насосов, организация коммерческого узла учета электроэнергии. Щит управления оборудован модулем для передачи в ЦДП сигнала «авария». Режим работы оборудования на КНС фиксируется на жестком диске с объемом памяти не менее чем на 240 часов и источником резервного питания не менее чем на пять часов работы записывающего устройства*

Применение резервуаров для подземной установки шкафов управления и автоматизации КНС требует внимательного отношения к деталям ряда связанных с этим технических решений. Особо следует отметить вопросы размещения и крепления шкафа в резервуаре, конструкции люка резервуара, вентиляции резервуара и связанного с этим обеспечения климата в пределах шкафа, наличие дренажного насоса и возможность его использования в резервуаре, герметичное обустройство кабельных вводов в резервуар, предназначенный для размещения шкафа. При поиске оптимального технического решения по каждому из перечисленных вопросов важна детальная проработка, с учетом различных возможных эксплуатационных ситуаций. Так, например, уже имеются случаи затопления резервуаров с размещенными в них шкафами управления. Представляется, что особо следует опасаться возможного неконтролируемого поступления жидкости в резервуар со шкафом управления из соседнего основного резервуара КНС (с насосами) в случае его временного аварийного затопления из-за различных причин (например, блокировки насосов поступившим мусором). В случае применения простых решений в части шкафа управления (например, без устройства удаленного аварийного оповещения с использованием системы диспетчеризации) информация о такой аварии может прийти настолько поздно, что сточные воды успеют затопить резервуар со шкафом управления при медленном протекании стоков по пространству внутри кабель-канала (зачастую реализуемого в виде гофро-кондуктора), в котором проложены кабели между резервуаром для размещения шкафа и основным резервуаром КНС. Фотография с примером «затопленного» в резервуаре шкафа управления представлен на рис. 4.



*Рис. 4. Пример «затопленного» в резервуаре шкафа управления*

Следует также отметить увеличение примеров использования частотного регулирования для управления работой насосов в комплектных КНС, как правило, ливневых стоков. Это обусловлено необходимостью вывода насосов в допустимые рабочие зоны по характеристике, что обычно является проблемой, если для КНС предусматривается возможность различных режимов работы на напорную сеть, т. е. с изменяемым количеством рабочих насосов. В этом случае зачастую насосное оборудование подбирается из расчета на максимальное количество одновременно работающих насосов (например, на ряде 2-резервуарных КНС ливневых стоков в аэропорту Пулково каждая из КНС включала шесть насосных агрегатов, четыре рабочих и два резервных, которые были распределены по три насоса в каждый резервуар; при этом системой управления предусматривалась возможность одновременной работы на сеть от одного до четырех насосов), а в случае работы на напорную сеть лишь одного насоса по причине низкого динамического сопротивления сети будет происходить так называемый «свал» рабочей точки насоса вправо от допустимой зоны его работы (кавитация и выход из строя). Соответственно, для таких задач применение частотного регулирования в ходе выбора оптимального решения обеспечивает улучшение основных эксплуатационных показателей такой КНС.

При рассмотрении вопросов оптимизации модульных решений в водоснабжении в первую очередь следует отметить применение в качестве повысительной насосной установки МАНС заводского изготовления, что стало общей практикой для внутренней инженерной инфраструктуры зданий.

Помимо этого, в последнее время значительно возросло применение так называемых блочно-модульных решений для насосных станций повышения давления на наружных сетях водоснабжения. Такое решение представляет собой выполненную в готовом корпусе насосную станцию, предназначенную для наружной установки. Наиболее распространенными являются блочно-модульные насосные станции наземного размещения, в этом случае они, как правило, имеют жесткую каркасную основу, обшиваемую сэндвич-панелями. Указанное конструктивное исполнение позволяет реализовывать модельное решение, состоящее из нескольких секций. Таким образом, общий размер поставляемой насосной станции не имеет ограничений. При этом размер секции ограничен требованиями транспортировки (наиболее распространенные варианты: длина — до 12 метров, ширина — до 2,5 метра, высота — до 2,5 метра).

На рис. 5 представлены фотографии 2-секционной повысительной водопроводной насосной станции (далее — ПВНС, разработка, производство, поставка, шефмонтаж и

наладка — АО «Промэнерго»), реализованной в соответствии с проектом при строительстве систем инженерного обеспечения объектов жилищной застройки квартала в районе Янино-1 (Ленинградская область, Всеволожский район). Общие габариты указанной станции составили 6000 x 4800 x 2600. Внутри станции размещена 6-насосная установка с одним насосом-жокеем МАНС 6 CR 150-3-2 + 1 CR 32-2, вводной электросиловой шкаф, шкаф собственных нужд и шкаф управления МАНС.



Рис. 5. 2-х секционная повысительная водопроводная насосная станция (разработка, производство, поставка, шеф-монтаж и наладка – АО «Промэнерго»), реализованная в соответствии с проектом при строительстве систем инженерного обеспечения объектов жилищной застройки квартала в районе Янино-1 (Ленинградская обл., Всеволожский район)

При разработке модульного решения ПВНС и размещении оборудования внутри станции необходимо учитывать множество факторов. Особо следует отметить такие моменты как:

- оптимизация габаритов с учетом транспортных ограничений при сохранении минимально необходимых зон обслуживания оборудования;
- определение каркаса для обеспечения конструктивной прочности и степени огнестойкости;
- определение необходимости оснащения корпуса станции (кроме стандартных по габаритам дверей) воротами с ручной или электрической талью и/или люками в верхнем перекрытии (крыше) для проведения ремонтных мероприятий в ходе эксплуатации;
- размещение «связанного» оборудования (например, насосы одной группы или основные шкафы управления и автоматизации) по возможности предусматривается в пределах одной секции;
- размещение групп насосного оборудования должно учитывать возможность предусмотреть их демонтаж через люк (люки), предусматриваемые в крыше насосной станции;
- размещение и конструктивное решение вводного электрического шкафа должно обеспечивать возможность подключения вводного электросилового кабеля (с учетом изгиба при определенном проекте сечения, а также расположения точек ввода этого кабеля в станцию);
- трассировка трубопроводов (включая опоры и другие способы закрепления) и кабельных сетей;



- технические решения по обеспечению соединений внутренних коммуникаций (трубопроводов, электросиловых и сигнальных кабелей) при «стыковке» секций в ходе сборки на объекте;
- конструктивные решения каркаса, пола и крыши станции с учетом всего комплекса требований (жесткость, прочность, снижение теплопотерь, аварийное водоотведение и др.);
- определение мероприятий, конструкции и материалов, обеспечивающих требуемую степень огнестойкости (что особенно существенно при размещении группы насосного оборудования, предназначенного для противопожарного водоснабжения);
- места и конструктивные решения по точкам подключения блочно-модульной станции к наружным коммуникациям (входному и выходному трубопроводу, электросиловым и сигнальным сетям);
- весь комплекс требований к фундаментной плите-основанию, включая габариты, конструкцию (расчет прочности с подбором характеристик армирующей сетки), организацию мест подведения и подключения наружных коммуникаций.

Разрабатываемая и поставляемая модульно-блочная повысительная насосная станция по сути определяется как комплект изделий. В ее состав могут входить: павильон насосной станции (включая внутренние системы обеспечения — освещение, обогрев, вентиляция и др.), МАНС хозяйственно-питьевого и/или МАНС противопожарного водоснабжения), шкафы (щиты) управления и автоматизации. Комплект изделий, поставляемых как модульное решение, должен определяться в соответствии с указаниями проектной документации. Особое внимание следует обращать на необходимый состав документации, поставляемый вместе с таким изделием (или комплектом изделий).

Одним из важных направлений оптимизации модульных решений в водоснабжении в целом и в оснащении таких решений для задач повышения давления является детальная проработка вопросов, связанных с энергоэффективностью и надежностью работы в первую очередь оборудования. Существенным является то, что стоимость затрат на электроэнергию за срок службы такой повысительной насосной системы, как правило, многократно превышает ее первоначальную стоимость. Другим фактором, определяющим затраты и надежность, является оптимальный и корректный подбор насосных агрегатов для реальных режимов эксплуатации (для обеспечения долговечной работы при низких ремонтных затратах).

При использовании МАНС хозяйственно-питьевого водоснабжения предусматривается автоматическое подключение/отключение рабочих насосов (по схеме параллельной работы) в соответствии с текущими условиями водопотребления (расхода воды). В системах водоснабжения, относящихся к пространственным системам водоснабжения, считается правилом управление работой по критерию поддержания постоянного давления на выходе МАНС. В целях обеспечения необходимого уровня энергоэффективности и плавности регулирования подачи при постоянном напоре (исходя из критерия поддержания постоянного давления при управлении работой), с учетом характера эксплуатации МАНС в системах водоснабжения обязательно применение частотного регулирования привода насосов в составе МАНС.

В ходе проектирования, для обеспечения максимального КПД работы насосной установки в целом, обеспечивается такой оптимальный подбор насосов, применяемых в составе МАНС, чтобы на большей части рабочей зоны, и в первую очередь в точке пересечения характеристики насоса (при номинальной частоте вращения рабочих колес) и

линии контролируемого постоянного давления (напора), обеспечивалось максимальное КПД насосов, что, в свою очередь, обеспечит высокую энергоэффективность такого решения.

В последнее время особо актуальной стала задача оснащения каждого из насосов частотно-регулируемым приводом. Причем на данной стадии развития повысительной тематики вопрос еще не идет об изменении выходного давления МАНС в соответствии с изменяемой подачей (так сказать, по обеспечению необходимого давления в каждой точке потребления). Поэтому в большинстве случаев альтернатива критерию постоянного давления на выходе МАНС на данный момент еще не реализуема за разумные денежные средства.

Потребность в ЧРП на каждом насосе обуславливается, как правило, изменчивыми параметрами подпора на входе в МАНС, что при постоянном критерии давления на выходе, приводит к необходимости эксплуатации МАНС в режимах с весьма переменным напором, выдаваемым насосами в составе МАНС. При существенном снижении напорных характеристик, обеспечиваемых насосами, возникают ситуации с выходом работающих на номинальной частоте насосов в недопустимые зоны характеристики (вправо). Поэтому при вероятности изменчивости напоров на подводящем трубопроводе рекомендуется предусматривать применение ЧРП на каждом из насосов соответствующим обеспечением системой управления и автоматизации МАНС алгоритмов контроля и учета рабочей зоны.

Кроме того, передовые решения при разработке программного обеспечения контроллера в составе МАНС позволяют в каждый момент времени оптимизировать работу такой установки, выбирая наилучшее сочетание количества работающих насосов и их частоты вращения с точки зрения минимизации затрат электроэнергии. Такое решение, разработанное и внедренное в программное обеспечение ряда моделей МАНС, выпускаемых АО «Промэнерго», основано на известных в насосной теории законах подобия. Применение этого алгоритмического решения позволяет существенно сократить энергозатраты и увеличить сроки службы насосного оборудования за счет постоянного автоматического «поиска» системой управления МАНС оптимальных по нагрузке, соответствующих текущей потребности, режимов работы насосных агрегатов.

Реальное совмещение энергоэффективности и модульного построения инженерных систем в ходе проектирования и строительства может быть обеспечено за счет разработки и внедрения в практику типовых проектных решений. Дальнейший анализ тенденций и потребностей в области систем водоснабжения и водоотведения (основанный на рассмотрении применяемого инженерного оборудования, в том числе насосных станций, систем управления, автоматизации и диспетчеризации) позволит существенно сократить стоимость жизненного цикла таких систем. Разработка и внедрение в практику оптимальных типовых проектных решений — это реальный путь, обеспечивающий совмещение вопросов энергоэффективности и модульного построения инженерных систем в ходе проектирования и строительства.

## **Литература**

1. Федеральный закон РФ от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ред. от 03.07.2016).
2. Штейнмиллер О. А. Оптимизация насосных станций систем водоснабжения на уровне районных, квартальных и внутридомовых сетей: автореф. дис. канд. техн. наук. — СПб: ГАСУ, 2010.
3. Штейнмиллер О. А. Типовые проектные решения энергоэффективных систем водоснабжения и водоотведения жилых и общественных зданий // Инженерные системы АВОК Северо-Запад. — 2015. — № 4 (54).