

Причины и особенности возникновения гидравлического удара в напорных трубопроводах канализационных насосных станций

Е.В. Макиша, Е.В. Носорев

*Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет, Москва*

Аннотация: В статье рассматриваются особенности возникновения гидравлических ударов в системах водоотведения городов. Отмечается, что при пуске насосных агрегатов гидравлический удар может возникнуть при несоблюдении оперативным персоналом регламента обслуживания. Значительно больше вероятность возникновения гидравлических ударов при внезапной остановке насосных агрегатов или агрегата. Кроме того, в длинных водоводах со сложным профилем велика вероятность возникновения глубокого вакуума и, соответственно, возникновения разрывов сплошного потока сточной жидкости. На вероятность возникновения гидравлического удара влияет способ пуска насосных агрегатов. Рассмотрены меры по предотвращению возникновения гидравлических ударов: повышение надёжности внешнего энергоснабжения; применение комбинированной схемы электроснабжения; использование обратных клапанов с плавным закрытием и другие способы.

Ключевые слова: гидравлический удар, система канализации, насосная станция, КНС, напорные трубопроводы, электроснабжение.

В общем смысле, под гидравлическим ударом понимается неустановившийся режим движения жидкости с практически ощутимыми колебаниями напора, которые могут разрушить как сам трубопровод, так и связанное с ним гидромеханическое оборудование (насосы, арматуру и пр.). Чаще всего гидравлические удары возникают при внезапной остановке или при прямом пуске насоса, то есть при мгновенном изменении давления в напорных коммуникациях канализационной насосной станции (КНС) [1].

В системах водоотведения прямой пуск насоса при соблюдении технологического регламента обслуживания КНС, как правило, исключается. Объясняется это тем, что пуск насосных агрегатов, оснащенных регулируемым электроприводом (далее РЭП), осуществляется с заданным ускорением частоты вращения рабочих колёс насосов. Если насосный агрегат оснащается нерегулируемым электроприводом, пуск агрегата осуществляется на закрытую задвижку с последующим плавным открытием напорной задвижки (затвора) [2,3].

Таким образом, гидравлический удар при пуске насосных агрегатов может возникнуть при несоблюдении оперативным персоналом регламента обслуживания КНС; при неисправности системы автоматизированного управления (далее САУ) КНС или при наличии ошибок в проекте САУ КНС.

Значительно больше вероятность возникновения гидравлических ударов при внезапной остановке насосных агрегатов или агрегата. Чаще всего они возникают в результате аварийных ситуаций в системе энергоснабжения КНС, а также неисправности самого насосного агрегата (короткое замыкание в электродвигателе или питающем кабеле и т.д.). Вполне вероятно отключение преобразователей РЭП из-за резких скачков напряжения в системе электроснабжения [4].

Также возможно возникновение гидравлического удара при отключении насосных агрегатов из-за угрозы возникновения несчастного случая с человеком, когда отключение агрегатов осуществляется мгновенно аварийной кнопкой «Стоп». Кроме того, достаточно часты случаи, когда гидравлические удары происходят при автоматическом управлении режимом работы КНС «по уровню». В таком режиме включение агрегатов происходит автоматически при достижении сточными водами заданного верхнего уровня, а отключение при откачке стоков до нижнего заданного уровня. Для насосных станций, оснащённых маломощными агрегатами, эти удары большого вреда не приносят. Но для объектов, где используются достаточно мощные агрегаты (250÷320 кВт и более), а трасса напорных водоводов идёт по местности со сложным рельефом, такие удары представляют опасность [5].

В длинных водоводах со сложным профилем велика вероятность возникновения глубокого вакуума и, соответственно, возникновение разрывов сплошного потока сточной жидкости.

Большое значение для предотвращения гидравлического удара в напорных водоводах КНС имеет особенность режима работы КНС и их напорных водоводов. К этим особенностям относится, прежде всего, широко распространенный ступенчатый способ регулирования режимов работы малых и средних КНС.

Этот способ связан с многократным (30÷40 раз в сутки) включением и отключением насосных агрегатов. При этом многократно и резко изменяется скорость движения сточных вод по водоводам, вплоть до полного прекращения движения. Даже, если ударное давление не разрушает трубопровод или арматуру, то многократное включение и отключение агрегатов влечёт за собой износ обратных клапанов, напорных водоводов, контакторов, магнитных пускателей и другого оборудования КНС. Прекращение движения сточных вод в напорных водоводах способствует накоплению смеси газа и воздуха в повышенных точках. При этом образуются пробки, которые

снижают пропускную способность водоводов и способствуют возникновению гидравлических ударов [1,3].

На вероятность возникновения гидравлического удара влияет способ пуска насосных агрегатов. Прямой пуск насосных агрегатов, даже на закрытую напорную задвижку, сопряжён со значительными посадками напряжения в питающей электрической сети. При этом возникает риск отключения работающих насосных агрегатов защитой минимального напряжения. В частности, это касается агрегатов, оснащённых высоковольтными частотными преобразователями. Как показали исследования, они чутко реагируют на колебания напряжения в питающей электрической сети. Одной из причин возникновения гидравлических ударов является несоответствие схем внешнего энергоснабжения крупных КНС и схем их собственных нужд [4].

Многие КНС г. Москвы проектировались в 70-х гг. прошлого века. В то время синхронные высоковольтные электродвигатели основных насосных агрегатов (1600 кВт, 6÷10 кВ) оснащались собственными электромашинными возбудителями, смонтированными на валу электродвигателя [6,7].

Поэтому схемы на собственные нужды КНС (0,4 кВ) проектировались только в расчёте на электроснабжение вспомогательных механизмов и систем, и не предназначались для питания возбудителей основных агрегатов. На КНС обычно устанавливалось два трансформатора собственных нужд, питающих двухсекционный щит собственных нужд 0,4 кВ, даже при наличии 4-х высоковольтных вводов внешнего энергоснабжения. Такие схемы были вполне приемлемы при наличии своих возбудителей у каждого агрегата. В последующие годы синхронные электродвигатели крупных КНС стали оснащаться тиристорными возбудителями, получавшими питание от двухсекционных щитов собственных нужд 0,4 кВ. В результате, схемы внешнего электроснабжения и схема собственных нужд больших насосных станций оказались неравнозначными по надёжности. Рассмотрение режимов работы КНС и некоторых случаев возникновения гидравлических ударов позволяет сделать вывод, что основной причиной возникновения гидравлических ударов в напорных коммуникациях КНС является нарушение энергоснабжения насосных агрегатов.

На характер гидравлического удара значительное влияние оказывает также конфигурация водоводов и рельеф местности, по которому они проложены. Напорные трубопроводы КНС, как правило, не разветвляются, а их профиль повторяет рельеф местности. Поэтому их профиль характеризуется многочисленными понижениями и

повышениями уровня геодезических отметок. В протяжённых водоводах со сложным профилем при аварийном отключении всех насосных агрегатов велика вероятность возникновения глубокого вакуума (более $8\div 10$ м), которая является причиной разрыва сплошного потока жидкости.

На характер гидравлических ударов влияет и режим работы КНС. Для крупных и больших КНС характерен непрерывный режим работы с переменной подачей, соответствующий графику притока сточных вод. Напорные водоводы этих станций в штатном режиме работы постоянно заполнены сточной жидкостью. Для насосных станций, оснащённых аварийно-распределительными резервуарами (далее АРР), график подачи несколько отличается от графика притока, но их напорные водоводы в штатном режиме тоже заполнены сточной жидкостью. Подача крупных и больших КНС изменяется плавно, благодаря использованию регулируемого электропривода или регулирующей арматуры. Для малых КНС характерен ступенчатый (дискретный) режим работы. Их насосы включаются и отключаются на открытую напорную задвижку автоматически, по мере изменения уровня стоков в приёмном резервуаре.

Насосы работают, пока уровень стоков в приёмном резервуаре не упадёт до минимальной заданной отметки. Время работы зависит от притока сточных вод ($\sim 10\div 20$ мин.). Затем насосы отключаются на $15\div 30$ мин. В момент отключения закрываются обратные клапаны. После заполнения приёмного резервуара до заданного уровня насосы опять включаются. Так повторяется $30\div 40$ раз в сутки [8].

При отключении насосов и ломанном восходящем профиле напорного трубопровода происходит частичное опорожнение повышенных участков трубопровода. В них образуются воздушные и газовые пробки. Пробки снижают пропускную способность трубопроводов, повышают вероятность возникновения гидравлических ударов. При отключении насосов волна понижения давления отражается от сжатого рабочим давлением воздушно-газового скопления. За счёт этого возникает обратный поток жидкости по направлению к насосной станции, который способствует возникновению гидравлических ударов. Основным методом исключения таких ударов является своевременное удаление газовых скоплений с помощью специальной арматуры (вантузов и т.п.) [9].

Наличие в сточных водах твёрдых, биологических и газовых включений оказывает влияние на скорость распространения ударной волны, поэтому их рекомендуется учитывать при расчёте гидравлического удара в напорных водоводах КНС. Наличие

загрязнений в сточных водах существенно усложняет подбор средств защиты напорных трубопроводов от гидравлических ударов: клапанов гасителей, клапанов впуска и выпуска воздуха, обратных клапанов с замедленной посадкой и проч. Поэтому средства защиты от гидравлических ударов для систем водоотведения должны иметь специальное исполнение, учитывающее высокую загрязненность сточных вод. Следовательно, защита напорных водоводов КНС от гидравлических ударов - достаточно сложное и дорогостоящее дело. Отсюда следует необходимость предотвращения гидравлических ударов, чтобы не тратить большие средства на защиту от них [10].

Предотвращению возникновения гидравлических ударов будет способствовать комплекс мер, предусматривающий повышение надёжности электроснабжения, а именно:

- повышение надёжности внешнего энергоснабжения КНС путём создания подлинно независимых источников энергоснабжения. Для этого следует отказаться от электроснабжения с разных секций одной подстанции, расположенных в одном помещении. Нельзя осуществлять электропитание КНС от разных источников по воздушным ЛЭП, располагающимся на общих опорах. Недопустимо электроснабжение КНС по кабельным линиям, идущим параллельно друг другу на небольших расстояниях;
 - применение комбинированной схемы электроснабжения КНС, а именно питание от централизованной системы совместно с автономным источником;
 - при обосновании применения регулируемого электропривода в САУ КНС нужно учитывать не только энергетический эффект от его применения, но и его положительную роль по недопущению гидравлических ударов. Стоит отметить, что если в разумные сроки экономия энергии, полученная от использования РЭП, не окупит их использования, то в данном случае следует применять устройства плавного пуска;
 - напорные водоводы КНС со сложным профилем, где вероятен разрыв сплошного потока сточных вод, помимо сброса жидкости на КНС, в промежуточных точках необходимо оснащать предохранительной арматурой (клапаны срыва вакуума, воздушные клапаны и тому подобное) для выпуска и впуска воздуха.
 - при сжатии воздуха в аварийных ситуациях и плановом заполнении трубопроводов, для предотвращения гидравлических ударов следует устанавливать арматуру, которая обеспечивает ограничение расхода воздуха при его выпуске;
 - использование обратных клапанов с плавным закрытием. Клапаны этого типа оснащены гидравлическим приводом, обеспечивающим регулирование времени его закрытия.
-

На основании анализа режима работы КНС и водоводов с учетом местных условий выбирается и разрабатывается определенное техническое решение из числа представленных выше.

Литература

1. Yang Z., Zhou L., Dou H., Lu C., Luan X. Water hammer analysis when switching of parallel pumps based on contra-motion check valve // *Annals of Nuclear Energy*. 2020. Т.139. №107275.
2. Kim S.-G., Lee K.-B., Kim K.-Y. Water hammer in the pump-rising pipeline system with an air chamber // *Journal of Hydrodynamics*. 2015. Т.26. №6. pp.960-964.
3. Ismaier A., Schlücker E. Fluid dynamic interaction between water hammer and centrifugal pumps // *Nuclear Engineering and Design*. 2009. Т.239. №12. pp.3151-3154.
4. Тарасевич В.В., Ли А.К. Эффективность обратных клапанов при аварийных режимах канализационного коллектора // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2011. № 10 (634). С. 60-68.
5. Гринев А.П., Винокуров П.В., Кобзев Р.Е., Ершов Г.А., Вакуненко В.А. Способы борьбы с гидравлическим ударом в напорных системах водоотведения // *Актуальные проблемы военно-научных исследований*. 2019. № 4 (5). С. 214-221.
6. Храменков С.В., Хренов К.Е., Козлов М.Н., Шушкевич Е.В., Богомолов М.В., Меньщикова О.А. Опыт внедрения инновационной техники для предотвращения гидравлических ударов // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 10-1. С. 6-12.
7. Пахомов А.Н., Хренов К.Е., Богомолов М.В., Дудченко Т.О., Пронин А.А. Современные технологии и оборудование для модернизации сетей и сооружений канализации // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2008. № 10. С. 8-18.
8. Гульшин И.А. Адаптация активного ила с анаммокс к пониженным температурам иловой смеси в биореакторе // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6367.
9. Riasi A., Nourbakhsh A., Raisee M. Energy dissipation in unsteady turbulent pipe flows caused by water hammer // *Computers & Fluids*. 2013. Т.73. pp.124-133.
10. Cao H., Mohareb M., Nistor I. Finite element for the dynamic analysis of pipes subjected to water hammer // *Journal of Fluids and Structures*. 2020. Т.93. №102845.



References

1. Yang Z., Zhou L., Dou H., Lu C., Luan X. *Annals of Nuclear Energy*. 2020. vol. 139. №107275.
2. Kim S.-G., Lee K.-B., Kim K.-Y. *Journal of Hydrodynamics*. 2015. Vol.26. №6. pp.960-964.
3. Ismaier A., Schlücker E. *Nuclear Engineering and Design*. 2009. T.239. №12. pp.3151-3154
4. Tarasevich V.V., Li A.K. *Izvestia vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2011. № 10 (634). pp. 60-68.
5. Grinev A.P., Vinokurov P.V., Kobzev R.E., Ershov G.A., Vakunenko V.A. *Aktualnye problemy voenno-nauchnykh issledovaniy*. 2019. № 4 (5). pp.214-221.
6. Khramenkov S.V., Khrenov K.E., Kozlov M.N., Shushkevich E.V., Bogomolov M.V., Menshchikova O.A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*. 2010. № 10-1. pp. 6-12.
7. Pahomov A.N., Khrenov K.E., Bogomolov M.V., Dudchenko T.O., Pronin A.A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*. 2008. № 10. pp. 8-18.
8. Gulshin I.A. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2020. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6367.
9. Riasi A., Nourbakhsh A., Raisee M. *Computers & Fluids*. 2013. Vol.73. pp.124-133.
10. Cao H., Mohareb M., Nistor I. *Journal of Fluids and Structures*. 2020. Vol.93. №102845.