

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің  
ҒЫЛЫМЖИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

---

## ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

**2** 2013

---

---

---

Научный журнал Павлодарского государственного университета  
имени С. Торайгырова

### СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации  
№ 4533-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан  
31 декабря 2003 года

Кислов А.П., к.т.н., профессор (главный редактор);  
Новожилов А.Н., д.т.н., профессор (зам. гл. редактора);  
Кабдулашев М.М., (отв. секретарь);

#### Редакционная коллегия:

Хачевский В.Ф., д.т.н., профессор;  
Глазырин А.И., д.т.н., профессор;  
Клецель М.Я., д.т.н., профессор;  
Задарев И.В., д.т.н., профессор;  
Говорун В.Ф., д.т.н., профессор;  
Никифорова А.С., д.т.н., профессор;  
Тастеев А.Д., к.т.н., профессор;  
Марковский В.П., в.т.н., профессор;  
Нургожина Б.В., (тех. редактор)

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.

Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.

Рукописи и дискеты не возвращаются.

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>Арынгазин К. Ш., Сарлыбаева Л. М., Ордабаев С. М.</b><br>Валовый сбор и урожайность зерновых и бобовых культур<br>в РК по 2009 - 2012 годы .....   | 13 |
| <b>Асаева З. А., Азаматова Д. А.,<br/>Тулебаева Ж. А., Приходько Е. В.</b><br>Рациональное сочетание возобновляемых энергоресурсов<br>в системе энергоснабжения.....  | 19 |
| <b>Асенова С. С., Талипов О. М., Уахитов Ж. Ж.</b><br>Возможности использования источников энергии<br>для биогазовых установок.....   | 24 |
| <b>Бабко А. Н., Баденов Б. Ф.</b><br>Исследование цветовой температуры и светотехнических<br>характеристик источников излучения .....   | 30 |
| <b>Байгамысов Т. А.</b><br>Проблемы и решения мониторинга температурного поля<br>в процессе пламенного обжига алюминиевого электролизера.....   | 38 |
| <b>Байтемиров Б. М., Азаматова Д. А.,<br/>Приходько Е. В., Тулебаева Ж. А.</b><br>Моделирование гидравлического удара .....   | 42 |
| <b>Глазырин С. А., Глазырина Н. С.</b><br>Влияние автоматизации на повышение надежности и<br>энергоэффективности теплотехнического оборудования.....  | 48 |
| <b>Говорун В. Ф., Говорун О. В., Акеев А. М.,<br/>Падруль Н. М., Аяганов А. Н., Жарасов С.С.</b><br>Эффективность применения устройств FACTS в электропередаче<br>Экибастуз – Кокшетау – Кустанай .....                   | 52 |
| <b>Григорьев О. О., Глазырин А. А., Сероокая В. Н.</b><br>Консервация барабанных котлов раствором гидразина с аммиаком в<br>различных режимах останова.....   | 62 |
| <b>Данияров Н. А., Акашев А. З., Келисбеков А. К.,<br/>Ахмадиев М. Т., Хамитова Г. Ж.</b><br>Структурная систематизация технологических процессов технического<br>обслуживания и ремонта тягового подвижного состава..... | 68 |
| <b>Дегембаева У. К., Байгожанова Д. С., Сарбасова А. Е.</b><br>Внедрение системы RFID в библиотечное дело .....   | 75 |
| <b>Дроздова Н. К., Алигожина Д. А., Агибаева А. Ж.</b><br>Влияние качества ремонта электродвигателей<br>на расход электроэнергии.....   | 78 |
| <b>Дроздова Н. К., Семенова М. К., Беляева Л. М.</b><br>Электротехнологии в строительстве<br>с учетом требований безопасности.....  | 82 |

**Б. М. Байтемиров, Д. А. Азаматова, Е. В. Приходько,  
Ж. А. Тулебаева**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА**

*В настоящей статье рассматриваются проблемы, возникающие при моделировании гидравлического удара.*

Большинство инженеров, занимающихся проектированием насосных установок, знакомы с такими терминами как «гидравлический удар», «скачок давления» или применительно к воде – «гидроудар (ударная волна)». Вопрос о том, необходим ли на стадии проектирования анализ нестационарного потока с точки зрения возникновения гидроудара, является неоднозначным. При неблагоприятных условиях возможны повреждения, вызванные гидравлическим ударом, при длине трубопровода более ста метров и расходе, составляющем лишь десятые доли литра в секунду. И даже очень короткие без промежуточных опор трубопроводы на насосной станции могут быть повреждены резонансными колебаниями, если они недостаточно тщательно закреплены. Однако в инженерных сетях зданий, например, в системах теплоснабжения и питьевого водоснабжения, где трубы обычно короткие и имеют небольшое поперечное сечение, данное явление практически не встречается.

Владельцы или операторы трубопроводных систем, подвергшихся воздействию гидроудара, неохотно предоставляют информацию о любых повреждениях, вызванных этим явлением. Однако, при изучении фотографий мест некоторых аварий (Рис. 1-а, 1-б, 1-с) становится очевидным следующее: ущерб, причиненный волной давления, значительно превышает затраты на превентивный анализ и меры по защите от гидравлического удара и скачков давления.

Соответствующее исполнение компонентов защиты от гидравлического удара и скачков давления, таких, как воздушная подушка или аккумулятор, маховик насоса и воздушные клапаны (срыв вакуума), уже давно является нормой в технике.

Это означает, что во избежание риска гидроудара анализ пульсаций давления должен быть представлен для каждой опасной гидравлической трубопроводной сети, подверженной опасности возникновения гидроудара. Для этих целей применяется соответствующее программное обеспечение – важнейший инструмент для специалиста по анализу пульсаций давления.



Рисунок 1 - а- Полностью разрушенная напорная труба DN 600 (толщина стенок 12 мм), б-Разрушенный суппорт (двутавровый профиль 200 мм окончательно деформирован), с- Обратный клапан DN 800 после скачка давления в напорной трубе.

Говоря о давлении жидкости, необходимо различать избыточное давление [р бар], абсолютное давление [р бар (а)] и гидростатический напор  $h$  [м]. Гидростатический напор (высота давления)  $h$  обозначает высоту однородного столба жидкости, который производит определенное давление  $p$ . Величиной « $h$ » всегда обозначают относительную высоту (например, плоскость отсчета, уровень расположения осевой линии или зенита трубы).

Как правило, разработчики системы начинают с определения величин установившегося рабочего давления и объемного расхода. В этой связи термин «установившийся» означает то, что объемная подача, напор и частота вращения насоса остаются неизменными. На рис. 2 изображен типичный профиль установившегося течения.

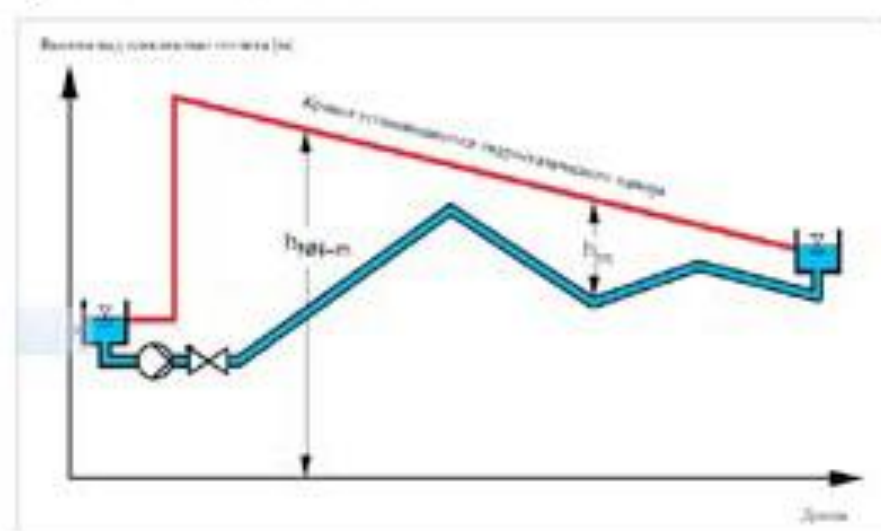


Рисунок 2 - Кривая установившегося гидростатического напора насосной установки

При неизменном диаметре трубы и постоянной шероховатости поверхности ее внутренних стенок кривая гидростатического напора становится прямой линией. В простых случаях установившаяся рабочая точка насоса может быть определена графически. Для этого необходимо найти точку пересечения характеристической кривой насоса с характеристикой трубопровода.

Систему водопровода невозможно постоянно эксплуатировать в установившемся режиме, т.к. пуск и выключение одного лишь насоса изменяет условия рабочего режима. В общем, любые изменения в условиях эксплуатации и любые нарушения в работе становятся причиной колебаний давления и расхода, иначе говоря, приводят к изменяемому во времени режиму течения. Такой режим течения обычно рассматривается как неустановившийся или переходный. Говоря о давлении, подразумевают динамические изменения давления или неустановившееся давление.

Основными причинами неустановившегося режима течения являются:

- Аварийное отключение насоса, произошедшее в результате отключения электропитания или перебоя в подаче электроэнергии.
- Пуск или остановка одного или нескольких насосов из числа находящихся в эксплуатации.
- Закрытие или открытие запорной арматуры в трубопроводной системе.
- Возбуждение резонансных колебаний из-за насосов с нестабильной характеристической кривой  $Q/H$ .
- Изменения уровня жидкости на всасывании.

Динамические изменения давления также называются пульсациями давления или, применительно к водным системам, гидравлическим ударом. Последний термин обозначает те нежелательные эффекты, которые, сопровождая пульсации давления, подобно ударам молота, могут воздействовать на трубы и компоненты системы. Гидравлический удар является причиной дополнительного увеличения динамической нагрузки на систему трубопровода, запорные клапаны, крепежные элементы, суппорты, компоненты системы и др. Термином «гидравлический удар» обозначают как повышение, так и понижение давления. В отличие от силы давление является ненаправленным, т.е. оно не имеет вектора. Только после того, как гидростатический напор начнет действовать на ограниченную площадку, возникает сила, действующая в направлении нормали к данной площадке. Так как предотвратить скачки давления при эксплуатации трубопроводной системы невозможно в принципе, важнейшим моментом является удерживание динамических изменений давления в контролируемых пределах. Ситуация осложняется тем, что ущерб, причиненный недопустимыми пульсациями давления, не всегда является видимым. Зачастую последствия их воздействия, например, образование трещин в трубе, ослабление или

отсоединение фланцев трубы, проявляются спустя долгое время. Причина повреждения в таком случае неизвестна.

Быстрое перекрытие запорного клапана в трубопроводе приводит к тому, что сила инерции столба жидкости действует на затворное устройство клапана. Это повышает давление, оказываемое на ту сторону клапана, которая обращена вверх по течению, в то время как на стороне клапана, которая обращена вниз по течению - давление падает.

Предпринятая попытка изображения гидравлического удара, произошедшего в результате инерции массы воды, верна лишь отчасти, так как она не содержит поправки на упругость жидкости и стенки трубы.

Что же произошло с первоначальной установившейся кинетической энергией текучей среды после внезапного перекрытия запорного клапана? По закону сохранения энергии она не может просто исчезнуть. Сначала она преобразуется в упругую энергию текучей среды и стенок трубы, затем, в результате отражения, снова превращается в кинетическую энергию, после чего снова превращается в упругую энергию и так далее. Скорость столба жидкости в момент, предшествующий отражению волны в резервуаре, составляет везде 0, и столб жидкости целиком имеет нулевую кинетическую энергию. Кинетическая энергия вместо этого преобразовалась в упругую энергию. Преобразование энергии обратным путем также является очевидным. Если запорный клапан в этот момент внезапно открыть, мы получим прежний установившийся поток без изменений и более не обладающий упругой энергией.

В отсутствие трения колебания давления не ослабевают. В действительности не существует систем абсолютно без трения, но снижение пульсаций давления является реально относительно малым, так как превращение энергии в теплоту трения, выделяющуюся в результате соприкосновения текучей среды со стенками трубы, собственного трения жидкости, деформации стенок трубы и крепежных элементов являются относительно незначительными

В современной теории математического моделирования каждая отдельная труба сети описывается системой двух дифференциальных уравнений в частных производных.

$$\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{p \cdot a^2} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{p} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} - g \cdot \sin(\alpha) + \frac{\lambda}{2 \cdot d} \cdot V \cdot |V| = 0 \quad (2)$$

Модельными являются параметры: давление «р» и скорость «v». Время «t» и координата «x» на развернутой длине трубы являются независимыми переменными.

Уравнения (1;2) являются уравнениями универсального применения и описывают как эффект инерции, так и упругости. В математическом смысле концы трубы являются граничными условиями уравнения (1;2). В модели вводятся различные типы граничных условий, чтобы включить внутренние компоненты, такие как ответвления трубопровода, емкости, насосы и клапаны. Например, создание модели полной трубопроводной сети, построенной соединением некоторого количества индивидуальных труб, достигается введением узловой точки трубы, которая должна служить граничным условием. Начальным условием уравнения (1;2) является стационарный поток внутри рассматриваемой трубы до начала возмущения. Уравнения (1;2) решаются с помощью метода характеристик, который является основой почти всех пакетов программного обеспечения анализа гидроудара, имеющихся в настоящее время.

Компьютерные программы, основанные на методе характеристик, предоставляют решения с точностью намного выше требуемой. Это доказано многочисленными сравнениями с реальными измерениями. Отклонения были обнаружены только в расчетах макрокавитации и демпфирования волн давления внутри трубы. Например, при использовании стандартной модели паровой кавитации, выведенной на основании уравнений (1;2), т.е. в предположении простой кавитации низкого давления, приводящей к разрыву сплошности потока жидкости, рассчитанные на компьютере давления всегда выше фактических. Однако преимуществом точного результата является то, что он приводит к увеличению запаса.

В действительности, энергетические потери за счет трения, деформации трубопровода и опор оказываются несколько большими, чем прогноз, полученный на основе моделирования. Первые пики давления и точки минимума, таким образом, доказывают высокую точность моделирования, в то время как линия давления далее по ходу представляется с все возрастающей нехваткой гашения. Однако отклонения такого рода являются незначительными по сравнению с неточностями, вызванными вводом ошибочных или недостающих входных параметров.

Некоторые возможные источники ошибки:

- Неточные характеристики запорного клапана и/или насоса.
- Недостаточные знания о действительной скорости распространения ударной волны внутри трубопровода.
- Недостаток информации о точках ответвления в магистральном трубопроводе.
- Неизвестная реальная степень образования отложений внутри труб.

Это говорит о том, что качество анализа гидроудара может быть высоким или низким в зависимости от точности вводимых данных.



Зачастую на практике невозможно получить точные данные. В этом случае приходится пользоваться оценочными величинами.

Анализ гидравлического удара не предоставляет требуемые значения параметров, такие как, например, оптимальный размер воздушного бака, настройки компрессора, характеристики перекрытия запорного клапана, размеры маховика насоса и т.д. Проектировщик должен самостоятельно определить тип применяемого устройства защиты от гидроудара и оценить его параметры. После проверки результатов гидроудара и их анализа первоначальные параметры подстраиваются соответствующим образом, и повторно выполняется полный цикл анализа гидроудара для уточненной системы. После выполнения нескольких циклов анализа полученные значения будут приближенно равны технически и экономически оптимальным значениям. Анализ гидроудара в обязательном порядке должен производиться специалистами по анализу. Несмотря на использование современной компьютерной технологии, анализ является трудоемким и затратным по времени.

С учетом того, что эффективное программное обеспечение анализа гидроудара в настоящее время является коммерчески доступным, может возникнуть вопрос относительно проведения такого анализа своими силами. Поскольку заслуживающее доверие программное обеспечение анализа гидроудара не является массовым продуктом, низкие объемы продаж увеличивают его стоимость. Прибавьте к этому высокую стоимость учебной и профессиональной практики. Кроме того, если программное обеспечение не используется в течение некоторого времени, операторы должны совершенствовать свои навыки. Так, если пользователи потребуют менее десяти анализов в год, то затраты, связанные с их выполнением собственными силами, вероятно, не окупятся.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шарп, Б. Б. Гидравлический удар, Edward Arnold, 1981
- 2 Калицун, В. И., Дроздов, Е. В., Комаров, А. С., Чижик, К. И. Основы гидравлики и аэродинамики, «Стройиздат», 2002 г
- 3 Шмырев, Е. М. О защите оборудования источников тепла, тепловых сетей, систем теплоснабжения от недопустимых изменений давления сетевой воды и гидравлических ударов // Электрические станции, 1998. №5.

Павлодарский государственный университет  
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 13.12.13.

*Б. М. Байтемиров, Д. А. Азаматова, Е. В. Приходько, Ж. А. Тулебаева*  
**Гидравликалық соққыны модельдеу**

С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.  
Материал 13.12.13 редакцияға түсті.

*B.M. Baitemirov, D.A. Azamatova, E.V. Prihodko, Z.A. Tulebaeva*  
**Simulation of a hydraulic impact**

Pavlodar State University  
named after S. Toraigyrov, Pavlodar.  
Material received on 13.12.13.

*Осы мақалада гидравликалық соққыны модельдеуде пайда болған мәселелерді қарастырады.*

*In the present article there are examined the problems arising during simulation of a hydraulic impact.*

УДК 620.91+62.1+62.5

**С. А. Глазырин, Н. С. Глазырина**

## **ВЛИЯНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*В статье показаны необходимость автоматизации теплоэнергетических процессов и влияние АСУТП на повышение энергоэффективности и надежности эксплуатации оборудования.*

В настоящее время очень актуальным становится вопрос сохранения и оптимального использования водных ресурсов. Главным процессом подготовки воды на энергетических производствах является технология с использованием ионообменных материалов, требующих периодической регенерации, которые происходят в ионообменных фильтрах. Качество подготовки подпиточной воды, а также уровень загрязненности питательной воды являются основными причинами появления процессов коррозии металла и образования накипи, что определяет уровень надежности эксплуатации теплоэнергетического оборудования.