

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ТРУБОПРОВОДЕ И ЗАЩИТА ОТ НЕГО

Еремеев С.М.

Научный руководитель Вялкова Н.С.

Тульский государственный университет

Рассматривается явление гидравлического удара (гидроудара) в трубопроводе. В статье приводится описание данного процесса, выявляются причины возникновения и последствия, а также разрабатывается комплекс мер по предотвращению и защите трубопроводов из различных материалов от гидроудара.

Явление гидравлического удара открыл русский ученый, основоположник гидродинамики, Жуковский Николай Егорович в 1897-1899 г. Этот процесс описывается как резкий скачок давления в системе, заполненной жидкостью, с характерным крайне быстрым изменением скорости ее потока за короткий промежуток времени. Данное явление может нести за собой непоправимый вред для инженерных систем. Гидроудар способен образовывать продольные трещины в трубопроводах, что приводит к их разрушению, а также чрезвычайно опасен для насосного оборудования, сосудов под давлением и теплообменников. В учебниках процесс гидравлического удара называется сложным комплексом явлений в движущейся жидкости, специалисту необходимо понимать основы возникновения процесса, уметь выявлять причины и противодействовать данному явлению при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем.

Зачастую основной причиной возникновения гидроудара в системе является резкое перекрытие трубопровода запорной арматурой либо внезапный пуск или остановка насоса. Наличие воздушных пробок также часто является первостепенной причиной появления гидроудара. Изменение давления и скорости потока при этом имеет волновой характер. Скорость и напор в системе могут как стремительно повышаться, так и понижаться, в зависимости от чего гидроудар может быть классифицирован на: положительный – при увеличении давления в трубопроводе от его резкого перекрытия либо включения насоса; отрицательный – при снижении давления из-за открытия запорных устройств либо отключения насосного оборудования.

Приведенные выше процессы образуют кратковременный и значительный перепад давления в системе, резко меняют скорость потока. Жидкость стремительно набирает скорость и движется в зону с пониженным давлением, в таком случае опасности подвержена трубопроводная арматура и места, находящиеся за ней, с наиболее высоким сопротивлением рабочей среды — это тройники, отводы трубопровода и отопительные приборы. В особенности ощутимый ущерб приходится на уплотнительные элементы и фланцевые прокладки, именно они в первую очередь приходят в негодность и дают течь трубопроводу.

Неправильный гидравлический режим трубопроводов, а именно наличие резких переходов с одного сечения на другое, на практике показывает, что в таких местах гидроудар наиболее опасен, так как давление в точке возникновения преграды резко увеличивается, а в месте расширения трубы, наоборот, резко уменьшается, тем самым порождает образование ударной волны. При этом, если образовавшееся давление в системе окажется больше допустимого, то на данном участке трубопровода возможно нарушение его целостности.

Изменение давления при гидроударе определяется по формуле:

$$D_p = \rho(v_0 - v_1) c, \quad (1)$$

где D_p – изменение давления (Н/м^2);

ρ – плотность жидкости (кг/м^3);

v_0 и v_1 – средние скорости потока воды в трубопроводе до/после закрытия запорной арматуры (м/с);

c – скорость распространения ударной волны в трубопроводе (м/с).

Немаловажное значение при подсчете гидравлического удара имеет уровень жесткости материала, из которого изготовлена труба. Так как энергия движущегося потока жидкости не способна быстро преобразоваться в иные виды энергии из-за несжимаемости рабочей среды, она будет оказывать прямое воздействие на стенки трубопровода.

Н.Е. Жуковский доказал, что скорость распространения ударной волны c находится в прямо пропорциональной зависимости от величины сжимаемости жидкости, величины деформации стенок трубы, а также от ее диаметра. При абсолютно жестких стенках трубопровода скорость распространения ударной волны c равна скорости распространения звука в воде ($c = 1425 \text{ м/с}$). Зависимость между скоростью ударной волны c , ее

длиной и временем распространения (L и τ соответственно) выражается формулой:

$$c = 2L/\tau . \quad (2)$$

При известных значениях времени распространения ударной волны τ и времени перекрытия запорной арматуры t , в результате которого возник гидравлический удар, выделяют два вида ударов. Прямой или полный, при условии $t < \tau$, не прямой или неполный, если $t > \tau$.

При полном гидроударе фронт ударной волны будет двигаться в направлении, обратном изначальному направлению движения жидкости в трубе. Его последующее направление движения зависит от элементов трубопровода, которые расположены до закрытой задвижки.

При неполном гидроударе фронт ударной волны не только меняет направление своего движения, но и также частично проходит далее сквозь не закрытую до конца задвижку.

Изучив теоретические основы причин возникновения гидравлического удара, поговорим о способах его предотвращения и защиты. В первую очередь, необходимо выработать привычку плавно открывать или закрывать запорные устройства на трубопроводе. При плавной регулировке давление в трубопроводе будет выравниваться постепенно, а ударная волна окажется незначительной. Но далеко не каждый запорный механизм способен обеспечить плавное перекрытие потока жидкости, так, например, шаровой кран при одном неосторожном движении способен одним поворотом перекрыть весь поток. Поэтому, чтобы избежать серьезных гидравлических ударов, нужно еще на этапе проектирования позаботиться о специфике применяемой запорной арматуры и выбрать ту, которая способна гарантированно обеспечить плавное и равномерное закрытие.

Ознакомившись с формулой (1), напрашивается вывод, что для смягчения гидравлического удара нужно применять трубы большего диаметра, в которых рабочая среда движется с меньшей скоростью. Следовательно, чем ниже скорость течения жидкости, тем сила гидроудара слабее. После проведения гидравлического расчета трубопровода и определения расчетных диаметров на участках необходимо также учесть и экономический фактор, по которому в дальнейшем принять грамотное решение о возможности компенсации нагрузок гидроудара путем

применения труб с увеличенным условным проходом. Установка компенсирующих резиновых вставок в местах соединения трубопровода с насосным оборудованием, наличие гидроаккумулирующих емкостей в системах, отлаженная автоматизация, грамотно произведенная пуско-наладка и своевременное обслуживание – все это залог качественного, надлежащего и долговечного существования трубопровода.

При защите трубопровода от гидроудара также следует не забывать о манометрах и обеспечивать их защиту при помощи монтажа на специальную импульсную трубку, которая представляет собой стальную петлю, демпфирующую пульсации гидравлического удара.

Библиографический список

1. Жуковский Н. Е. *Собрание сочинений. Т.2: Гидродинамика. 763 с.; Т.3: Гидравлика. Прикладная математика. 700 с. М.–Л.: Оборонгиз, 1949.*

2. Жуковский Н. Е. *О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. М.–Л.: Гостехиздат, 1949. – 103 с.*

3. Калицун В. И., Дроздов Е.В., Комаров А.С., Чижик К.И. *Основы гидравлики и аэродинамики. М.: Стройиздат, 2001. – 296 с.*

УДК 75

КОПИЯ – КАК СПОСОБ ТВОРЧЕСКОГО ИСКАНИЯ

Ермолаева Е.А.

Научный руководитель Куркова В.Г.

Тульский государственный университет

В работе рассматриваются переломные моменты в жизни Константина Коровина. Проведен анализ картины «На берегу моря»

Константин Коровин родился в Москве. Сын купца, старообрядца Алексея Михайловича Коровина и Аполлинии Ивановны, урожденной Волковой. Брат художника Сергея Алексеевича Коровина.

Учился в Московском училище живописи, ваяния и зодчества вначале на архитектурном отделении, через два года на отделении живописи. Затем долго работал в Париже, выставился в Салоне, посетил Испанию. В качестве художника-декоратора участвовал в частной опере С.И. Мамонтова.