

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ЗОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Ф.В. РЕКАЧ, канд. техн. наук, доцент
Российский университет дружбы народов,
117198, Москва, ГСП – 6, ул. Миклухо-Маклая, 6

В статье приведен расчет колебаний давления в трубопроводной схеме, ограниченной с двух сторон задвижками, закрывающимися почти одновременно при ограниченном оттоке жидкости

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колебания давления, отток жидкости, трубопровод.

В трубопроводных магистралях большой протяженности, в которых инерция потока жидкости велика, установка стабилизаторов давления (воздушных колпаков большого объема) экономически нецелесообразна, использование сбрасывающих устройств не всегда удобно по причине того, что сброс жидкости в атмосферу или резервуар не всегда оправдан. Возникла идея: ограничить протяженный участок трубопровода и внутри него по возможности погасить гидравлический удар. Этот процесс реализуется при помощи ограниченного сброса жидкости точке А при постоянном давлении. Физически точку А можно рассматривать как дно высокого резервуара с постоянным уровнем воды. При распространении волна высокого давления «сталкивается» с этим резервуаром и некоторое время, пока объем не заполнится, сильного повышения давления на протяженном участке не наблюдается. Насосная станция защищается путем закрытия второй задвижки, стоящей после нее. Во время колебательного процесса по длине зоны происходит активное торможение жидкости о стенки трубопровода и риск возникновения аварии значительно уменьшается.

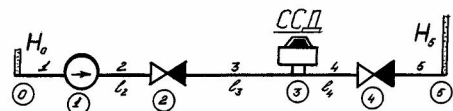


Рис. 1

Рассмотрим схему трубопровода, изображенную на рис. 1. При установившемся движении жидкости с постоянной скоростью $v_w \approx 1 \text{ м/с}$ движется от узла 0 к узлу 5 за счет разности напора, создаваемого насосным агрегатом в узле 1 и напором H_5 в узле 5. В заданный момент времени закрывается задвижка в узле 4, через короткий промежуток времени закрывается задвижка в узле 2, и на участках 3 и 4 возникает колебательный процесс. ССД включается в работу при превышении давления P_A . Рассмотрим устройство, поддерживающее в точке А постоянное давление. Оно изображено на рис. 2, назовем его стабилизатором сдерживающего принципа действия (ССД). Стабилизатор состоит из емкости (проще ее изготовить из трубы) 1, клапана 2, поддерживающего постоянное давление, клапана 3 закрытия емкости и клапана 4 слива жидкости при нулевом давлении в трубопроводе.

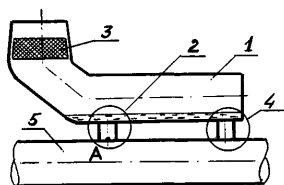


Рис. 2

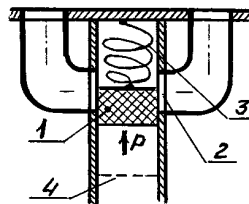


Рис. 3

ССД работает следующим образом: при превышении давления над рабочим P_W на величину ΔP , открывается клапан 2, и жидкость поступает из трубопровода 5 в трубу 1, причем давление в точке А постоянно и равно $P_W + \Delta P$. При полном заполнении трубы 1, она закрывается с помощью клапана 3 (действующего по принципу водопроводного бачка), и ССД далее не влияет на неустановившееся движение жидкости. Клапан 4 служит для слива жидкости из емкости 1 в трубопроводную систему при давлении отсутствии давления. Клапан 2 (рис. 3) работает следующим образом: при повышении давления P , поршень 1, преодолевая натяжение пружины 3 поднимается вверх, и жидкость перетекает из трубопроводной системы в ССД через окно 2. Если в ходе испытательного эксперимента выяснится, что поршень срабатывает слишком медленно, то дополнительно к нему можно поставить внизу разрывную мембрану 4, а сам поршень изготовить из легкого материала и с небольшими зазорами вдоль боковой поверхности.

ПРИНЯТЫЕ ГИПОТЕЗЫ: 1. Если давление в системе превысит $P_A = \Delta P + P_W$, в точке А, то мгновенно устанавливается давление, равное P_A . 2. Если давление в системе меньше P_A , то устройство не работает. 3. При полном заполнении ССД жидкостью, устройство прекращает воздействие на неустановившееся движение. Расчет трубопроводной системы, включающий стабилизатор давления сдерживающего принципа действия – рис.1 проводился численным методом характеристик, описанным в [2]. В качестве основных характеристик потока приняты расход $Q = F \cdot v$ и гидродинамический напор H (выраженный в метрах водяного столба), где F - площадь поперечного сечения трубы [$м^2$], v - средняя по живому сечению скорость потока [$м/сек$]. Уравнения движения и скорости потока несжимаемой жидкости при этом имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(gFz + gFH + \frac{Q^2}{2F} \right) + \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\zeta}{2DF} Q |Q| = 0, \quad [м^3 / сек^2] \quad (1)$$

$$\frac{Q}{F} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gF} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad [м / сек], \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения; z - геометрическая высота; t - время; ζ - коэффициент гидравлического трения по длине; D - диаметр трубопровода; c - скорость распространения волн давления. Численный метод реализован на языке C++ (Frog15), а графическое представление – в среде MAPLE (FrGFAF).

Пример Дано: $H_0 = 20 м$, $H_5 = 100 м$, $l_3 = 24900 м$, $l_1 = l_2 = l_4 = l_5 = 50 м$, характеристика насосного агрегата:

$H_a = 130 м$, $H_b = 105.5 м$, $H_c = 42 м$, $Q_a = 0.4 м^3/с$, $Q_b = 0.785 м^3/с$, $Q_c = 1.0 м^3/с$,
 $c = 1020 \frac{м}{с}$, $d_1 = d_2 = d_3 = 1 м$, гидравлическое сопротивление трубопроводов
 $\lambda = 0.02$, $\Delta P = 0.294 МПа$ (30 м вод. ст.), $P_W = 0.98 МПа$ (100 м вод. ст.).

Результаты. Проводилась серия расчетов с различными объемами W ССД и моментов закрытия задвижек в узлах 2 и 4. К моменту времени $t = 0$ сек, в трубопроводе имеет место установившееся движение, задвижка в узле 4 во всех расчетах срабатывает мгновенно при $t_4 = 0$ сек, задвижка в узле 2 срабатывает мгновенно в большинстве расчетов при $t_2 = 20$ сек, Точка S расположена в 5080 м от узла О (на 1/5 длины $l_3 = 24900 м$ справа от узла 2). На рис.4 показан график изменения давления без стабилизатора ($W = 0 м^3$) в точке S.

На рис. 5 показан график изменения давления при $W = 30 \text{ м}^3$ в точке S . В точке S имеет место максимальное давление по длине трубопровода при $W = 30 \text{ м}^3$; максимальное давление при малых объемах ($W = 5 \text{ м}^3$) имеет место в узлах 2, 3.

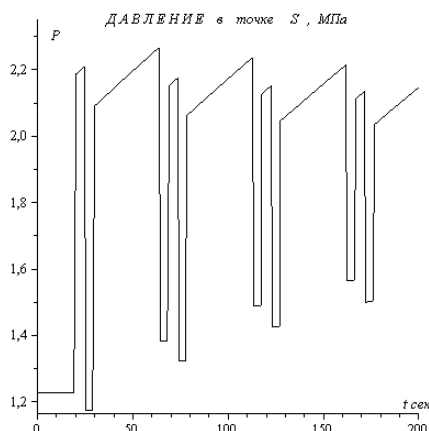


Рис. 4

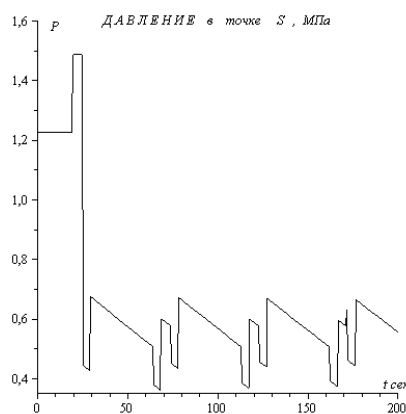


Рис.5

Выводы:

1) При увеличении объема стабилизатора, начиная с 30 м^3 график зависимости давления от времени практически не меняется. Максимальное давление наблюдается в точке S , и равно 2.26 МПа . Это объясняется тем, что при рассматриваемых объемах ССД в течении длительного времени (не менее 40 сек) держит постоянный напор 130 м вод. ст. (1.33 МПа).

2) Время закрытия задвижки в узле 2 влияет на величину максимального давления. При $t_2 > 19$ сек максимальный напор устанавливается в точке S , и равен 145 м вод. ст. (1.48 МПа). При $t_2 = 0$ максимальный напор – 134 м в точке $4/5 l_3$, при $t_2 = 5$ – 138 м в точке $3/5 l_3$, при $t_2 = 10$ – 138 м в точке $2/5 l_3$, при $t_2 = 15$ – 141 м в точке $2/5 l_3$,

3) Участки 4 и 5 при данной схеме должны быть выполнены из более прочного материала (или трубы иметь большую толщину), т.к. ССД практически не защищает их от гидроудара.

Л и т е р а т у р а

1. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах (пер. с англ.). – М.: Энергоиздат, 1981. – 247 с.

2. Рекач Ф.В. Расчет колебаний в круговых цилиндрических оболочках со стабилизатором давления методом характеристик // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010. – №1. – С. 60-65.

3. Д.Н. Смирнов, Л.Б. Зубов. Гидравлический удар в напорных водоводах. – М., Стройиздат 1975. – 129 с.

4. В.М. Альшеев. Неустановившееся напорное движение многофазной жидкости в напорных системах // Гидравлические исследования каналов, трубопроводов и гидросооружений. – М. Изд-во МГМИ, 1984.

PRESSURE OSCILLATIONS CHANGE IN CIRCULAR CYLINDRICAL SHELLS UNDER HIGH PRESSURE WAVES PROPAGATION ZONE LIMITATION

F.V. Rekach

Analysis of pressure oscillations in a pipe line, limited by gate valves, closing nearly simultaneously under water withdrawal with constant pressure is given.

KEY WORDS: pressure oscillations, water withdrawal, water pipe.