

СНИЖЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ГИДРОУДАРА С ПОМОЩЬЮ СТАБИЛИЗАТОРА СДЕРЖИВАЮЩЕГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Е.К. Синиченко¹, Ф.В. Рекач²,
Н.Ш. Хассан²

¹Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений,
Инженерный факультет

²Кафедра высшей математики,
Факультет физико-математических и естественных наук
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье описан расчет неустановившегося движения жидкости при гидроударе со стабилизатором сдерживающего принципа действия.

Ключевые слова: стабилизатор давления, гидроудар.

Проблема борьбы с зонами повышенного давления для протяженных трубопроводных систем, особенно при наличии труб большого диаметра и по сей день стоит достаточно остро. При больших габаритах системы применение воздушных колпаков большого объема экономически нецелесообразно, сбрасывающие устройства не всегда могут применяться вследствие того, что выброс жидкости в атмосферу или резервуар не всегда возможен. Поэтому авторы поставили задачу спроектировать устройство большого объема, которое обеспечивало бы понижение давления в системе в пределах допустимого уровня и одновременно не было бы дорогостоящим.

Рассмотрим стабилизатор сдерживающего принципа действия (ССД) (рис. 1). Он 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.

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 труба 1 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.

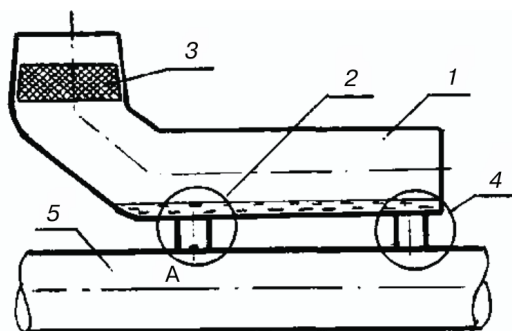


Рис. 1. Стабилизатор сдерживающего принципа действия

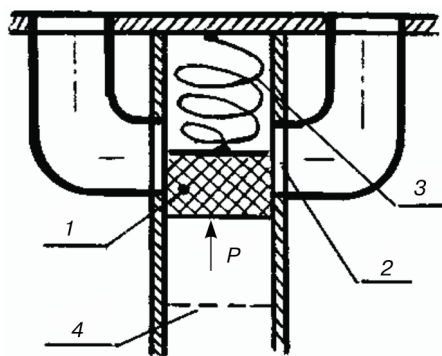


Рис. 2. Клапан, поддерживающий постоянное давление

Клапан 2 (рис. 2) 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 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

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

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

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).

Схема численного расчета представлена на рис. 3.

При установившемся движении жидкость с постоянной скоростью $v_w \approx 1$ м/сек. движется от узла 0 к узлу 3 за счет разности напоров $H_0 - H_3$. В определенный момент закрывается задвижка в узле 2, и на участках 1 и 2 возникает колебательный процесс. ССД включается в работу при превышении давления P_A .

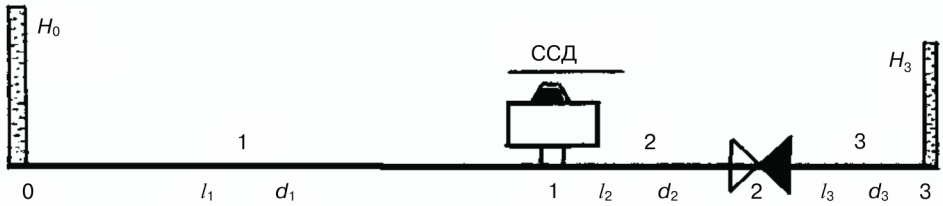


Рис. 3. Схема численного расчета

Пример

Дано: $H_0 = 125,5$ м, $H_3 = 100$ м, $l_1 = 24\,900$ м, $l_2 = 100$ м, $l_3 = 100$ м, $c = 1020$ м/сек, $d_1 = d_2 = d_3 = 1$ 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 его местоположениями.

Точка S расположена в 14 940 м от узла O . На рис. 4 показан график изменения давления без стабилизатора ($W = 0$ м³) в точке S . На рис. 5 показан график изменения давления при $W = 60$ м³ в точке S . В точке S и в узле 1 имеет место максимальное давление для $W = 0$ и $W = 60$.

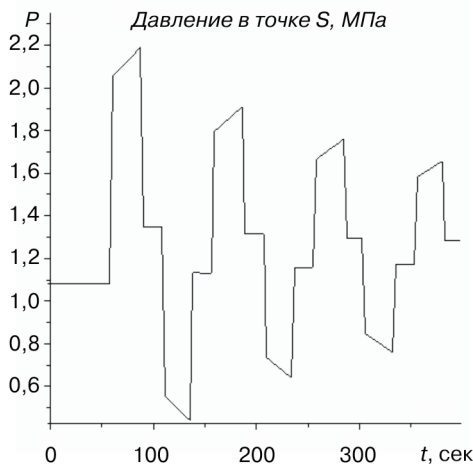


Рис. 4. График изменения давления без стабилизатора ($W = 0$ м³)

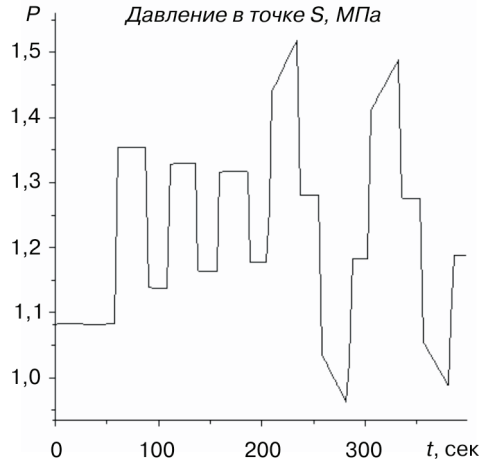


Рис. 5. График изменения давления при $W = 60$ м³

При увеличении объема стабилизатора начиная с 50 м³ наблюдается значительное уменьшение давления на участках 1 и 2 (при $W = 50$ м³ — на 0,5 МПа, при $W = 60$ м³ — на 0,64 МПа, при $W = 75$ м³ — на 0,75 МПа).

На участке 3 уменьшения максимального давления практически не происходит.

При уменьшении l_1 и сохранении размера $l_1 + l_2 = 25\,000$ м, максимальное давление на участке 2 снижается (на 0,74 МПа при $W = 60$ м³ и $l_2 = 5000$ м), однако участок 2 испытывает высокое давление на протяжении 5000 м.

Участки 2 и 3 при данной схеме должны быть выполнены из более прочного материала (или трубы иметь большую толщину), так как ССД практически не защищает их от гидроудара.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Альшиев В.М.* Неустановившееся напорное движение многофазной жидкости в напорных системах // *Гидравлические исследования каналов, трубопроводов и гидросооружений*. — М.: Изд-во МГМИ, 1984.
- [2] *Рекач Ф.В.* Расчет колебаний в круговых цилиндрических оболочках со стабилизатором давления методом характеристик // *Строительная механика строительных конструкций и сооружений*. — 2010. — № 1. — С. 60—65.
- [3] *Смирнов Д.Н., Зубов Л.Б.* Гидравлический удар в напорных водоводах. — М.: Стройиздат, 1975.

REDUCTION OF WATER HAMMER IN PIPE — LINES STABILIZER OF RESTRICTING WORK PRINCIPLE

**F.V. Rekach¹, E.K. Sinichenko²,
N.Sch. Hassan²**

¹Department of Hydraulics and Hydraulic Structures
Engineering faculty

²Department of Mathematics
Faculty of science

Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

A model of stabilizer of restricting work principle is described. Analysis of water hammer, depending on its parameters is given.

Key words: pressure stabilizer, water hammer.