

2003. – 208 с.

4. **Warming R. F., Kutler P., Lomax H.** (NASA Ames Research Center, Moffett Field, Calif.) Second and Third-Order Noncentered Difference Schemes for Nonlinear Hyperbolic Equations // AIAA Journal. – 1973. – V. 11. – № 2. – P. 189–196.

5. **Фокс Д. А.** Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах; пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.

6. **Вишневский К. П.** Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986 – 135 с.

7. **Карамбиров С. Н.** Математическое моделирование систем подачи и рас-

пределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2004. – 196 с.

Материал поступил в редакцию 29.04.09.

Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Вычислительная техника и математическое программирование»

Тел. 8 (499) 153-97-66

E-mail: karamba_msuee@mail.ru

Бегляров Давид Суренович, доктор технических наук, профессор

Тел. 8 (495) 976-11-85

Лиханов Дмитрий Михайлович, ассистент кафедры «Водоснабжение»

Тел. 8-905-217-22-70

УДК 502/504 : 626.83 : 532.5

Д. С. БЕГЛЯРОВ, И. Ю. САХАРОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАПАНОВ ВПУСКА И ЗАЦЕМЛЕНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОДОВОДОВ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

В статье представлены результаты расчетно-теоретических исследований переходных процессов в напорной системе водоподачи с насосной станцией при наличии средств защиты от гидравлического удара.

Напорная система водоподачи, насосная станция, насос, напорный трубопровод, клапан для впуска и заземления воздуха, обратный клапан.

In the article there are given results of the design – theoretical studies of transient processes in the pressurized water supply system with the pumping station under the presence of protection means from hydraulic impact.

Pressurized water supply system, pumping station, pump, pressurized pipeline, air inlet and jam valve, back-pressure valves.

Рассмотрение причин аварий на трубопроводах коммунальных, промышленных водоводов и трубопроводах мелиоративных насосных станций показывает, что значительное количество аварий на трубопроводах происходит в результате гидравлических ударов.

К настоящему времени имеется

целый ряд работ, посвященных расчету максимального повышения давления. Примером могут служить работы Л. Бержерона, Л. Ф. Мошникова, А. А. Сурина, И. А. Чарного, Н. А. Картвелишвили, В. С. Дикаревского, К. П. Вишневского, В. М. Алышева и др. Гидравлический удар рассчитывают

различными способами, но в основе каждого лежит известная модель явления гидравлического удара, основанная на волновых уравнениях неустановившегося движения жидкости. Наиболее значительные повышения давления в напорных водоводах насосных станций, как правило, имеют место при переходных процессах. В связи с этим необходимо предусмотреть осуществление мероприятий, обеспечивающих необходимое снижение давления при этих процессах. В связи с изложенным необходимость данной работы очевидна. С целью разработки эффективных мероприятий по защите протяженных водоводов от гидравлического удара были подробно изучены условия работы насосной станции № 1 Уфимского района в Башкортостане.

Насосная станция № 1 подает воду, забираемую из реки Белой, колебания уровней в которой в пределах 10 м, в аккумулирующий бассейн, находящийся на расстоянии 10 км от нее, на высоту около 90 м.

В связи со значительной высотой подъема воды и потерями напора при создании больших напоров подача воды осуществляется последовательно соединенными насосами ЦН 3000-197 и Д 5000-32б. Насосы ЦН 3000-197 создают основную часть напора, насосы Д 5000-32б обеспечивают напор на входе в первые насосы. Всего на станции устанавливается четыре пары таких насосов.

Для привода насосов первого типа используются синхронные электродвигатели СДС-3-16-59-643 с частотой вращения 1000 мин^{-1} , а для привода насосов второго типа – асинхронные двигатели А 12-52-10 с частотой вращения 585 мин^{-1} . На напорных линиях насосов диаметром 400 мм установлены задвижки и обратные клапаны, исключающие сброс воды через насосы. Подача воды осуществляется по одной нитке напорного трубопровода диаметром 1400 мм.

Использована подземная прокладка напорного трубопровода; при этом расстояние до верха трубы 0,8 м. Однако

в девяти местах трубопровода выполнены надземные переходы через коммуникации, причем в семи из них диаметр переходного участка уменьшен до 1000 мм, а в двух – до 1200 мм. Это приводит к значительному увеличению гидравлического сопротивления трубопровода.

Общая длина семи переходов диаметром 1000 мм, а также начального трубопровода такого же диаметра равна 710 м ($60 + 100 + 60 + 60 + 120 + 60 + 130 + 120$), что соответствует гидравлическому сопротивлению $S_{1,0} = A_{1,0}L_{1,0} = 0,001699 \cdot 710 = 1,207 \text{ с}^2/\text{м}^5$, а двух участков диаметром 1200 мм равна 110 м ($50 + 60$), что соответствует гидравлическому сопротивлению $S_{1,2} = A_{1,2}L_{1,2} = 0,0006543 \cdot 110 = 0,072 \text{ с}^2/\text{м}^5$. Гидравлическое сопротивление трубопровода диаметром 1400 мм и длиной 920 м ($810 + 110$) равно $S_{1,4} = A_{1,4}L_{1,4} = 0,0002916 \cdot 920 = 0,268 \text{ с}^2/\text{м}^5$. Таким образом, увеличение гидравлического сопротивления трубопровода вследствие уменьшения его сечения $S = 1,207 + 0,072 + 0,268 = 1,01 \text{ с}^2/\text{м}^5$. Это равно 40 % от общего гидравлического сопротивления напорного трубопровода диаметром 1400 мм и длиной 10 060 м: $S_{1,4} = A_{1,4}L_{1,4} = 0,0002916 \cdot 10060 = 2,933 \text{ с}^2/\text{м}^5$, т. е. увеличение гидравлического сопротивления из-за уменьшения его сечения весьма существенно. Кроме того, дополнительные потери напора связаны с местными сопротивлениями. Суммарный коэффициент местного сопротивления перехода диаметром 1000 мм определен равным 0,515 ($0,045 + 4 \cdot 0,08 + 0,15$ – конфузор, 4 отвода 450, диффузор), а перехода диаметром 1200 мм – 0,376 ($0,039 + 4 \cdot 0,08 + 0,017$). Отсюда местное гидравлическое сопротивление перехода: если диаметр 1000 мм, то $S_{1,0} = 0,042 \text{ с}^2/\text{м}^5$; если диаметр 1200 мм, то $S_{1,2} = 0,015 \text{ с}^2/\text{м}^5$. Поскольку эти гидравлические сопротивления существенно меньше сопротивления на трение по длине, при расчете переходных процессов они не учитывались.

Для расчета принята схема напорного трубопровода, включающая в себя

20 участков диаметрами 1000, 1400, 1200 мм, общая протяженность – 10 060 м (рис. 1). Насосная станция расположена в начальной точке расчетной схемы. В связи с тем что насосы на станции работают последовательно, для расчета использовалась их суммарная напорная характеристика.

Расчеты переходных процессов выполнялись для случаев одновременного отключения четырех насосов.

Предельное значение вакуума в трубопроводе было принято равным 8 м (при снижении давления ниже этого значения в трубопроводе образуются кавитационные разрывы сплошности потока).

Все расчеты переходных процессов выполнялись при наибольшем значении геодезической высоты подъема воды, равной 93,85 м, которая соответствует уровню воды в водоисточнике 80,15 и в водоприемнике (аккумулирующем бассейне) 174 м, и при наибольшем значении скорости распространения ударных волн 1000 м/с, т. е. при минимальном содержании в воде нерастворенного воздуха, при котором повышение давления в трубопроводе будет максимальным.

В связи со значительной протяженностью трубопровода изменение направления движения воды в трубопроводе после отключения насосов происходит в его начале только через 18 с, а в конце – через 22,5 с. Относительно большой объем кавитационных разрывов сплошности потока приводит к тому, что максимальное повышение давления в трубопроводе имеет место только через 46,5 с после отключения насосов.

Наиболее простым и дешевым средством защиты от гидравлических ударов, сопровождающихся образованием разрывов сплошности потока, является впуск и последующее сжатие воздуха в местах образования разрывов сплошности потока. Задача расчетов – выбор необходимого числа и мест установки аэрационных клапанов, называемых также клапанами для впуска и заземления воздуха (КВЗВ).

Для этой цели, а также для того, чтобы показать степень влияния впуска воздуха на протекание гидравлических переходных процессов, вызываемых отключением насосов, была проведена серия расчетов при неодинаковом числе аэрационных клапанов для впуска и заземления воздуха, устанавливаемых в разных местах трубопровода.

Один из вариантов расчета был выполнен при установке восьми таких клапанов в точках, находящихся на расстояниях 850, 3490, 4605, 6495, 8255, 8950, 9335, 9695 м от насосной станции. Установка восьми клапанов для впуска и заземления воздуха не предохраняла трубопровод от образования на его отдельных участках глубокого вакуума. Максимальный напор в начале трубопровода составлял 283 м, т. е. также значительно превышал рабочий.

Изменение давления в точках установки второго, четвертого, пятого клапанов для впуска и заземления воздуха и в начале трубопровода показано на рис. 2. В данном случае необходимы дополнительные средства для уменьшения давления.

При установке на напорном трубопроводе десяти клапанов для выпуска и заземления воздуха в точках, находящихся на расстояниях от насосной станции 850, 1890, 2495, 3640, 4590, 5335, 6645, 8355, 8990, 9445 м, и установке двух дополнительных обратных клапанов в местах трубопровода, находящихся на расстояниях 5335 и 8990 м, давление несколько превышало рабочее только на участке за вторым обратным клапаном (на 0,15 МПа). Изменение давления в местах установки обратных клапанов – в начале напорного трубопровода и в точках установки первого и третьего клапанов такого типа – показано на рис. 3.

Вариант расчета был выполнен при установке на трубопроводе пятнадцати клапанов для выпуска и заземления воздуха и двух обратных клапанов. Их точки установки от насосной станции приняты следующими: 850, 1500, 2500, 3100, 3500, 4600, 5450, 6100, 6500, 7050,

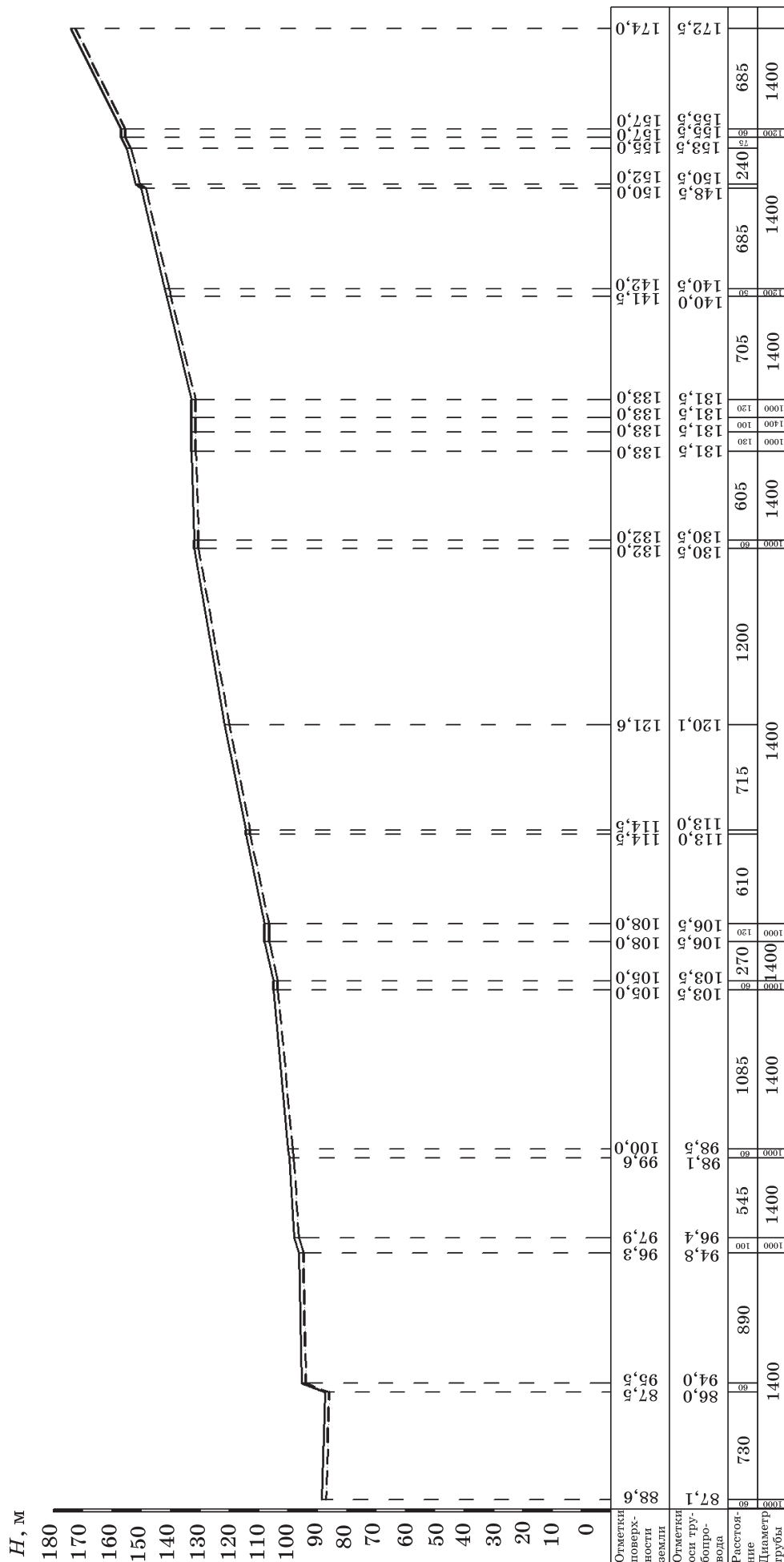


Рис. 1. Схема напорного трубопровода

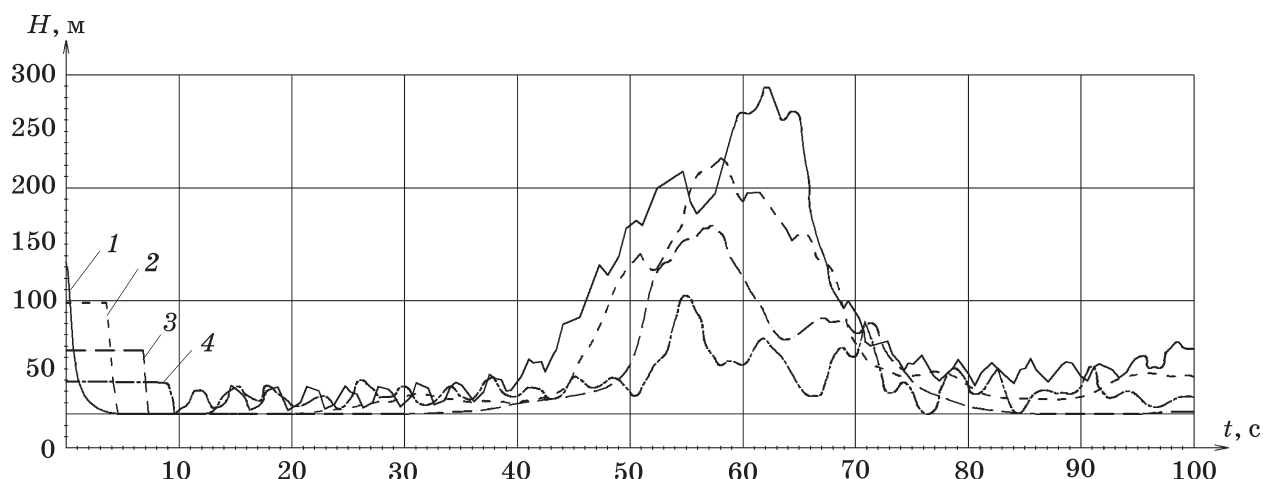


Рис. 2. Установка на трубопроводе восьми клапанов впуска и заземления воздуха: 1 – давление в начале напорного трубопровода; 2 – давление в точке $l = 3490$ м; 3 – давление в точке $l = 6495$ м; 4 – давление в точке $l = 8255$ м

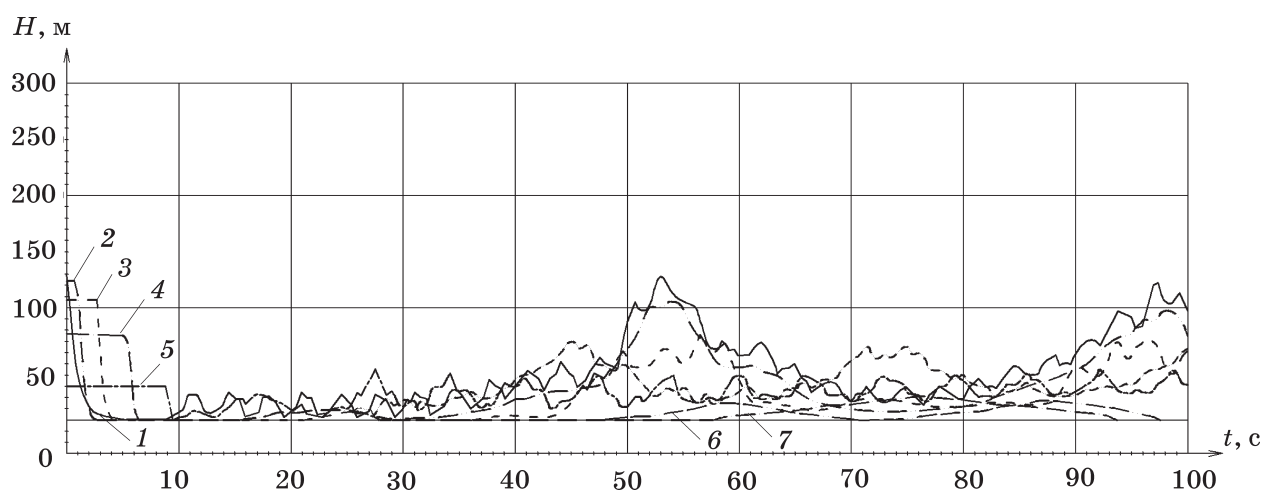


Рис. 3. Установка на трубопроводе десяти клапанов впуска и заземления воздуха и двух обратных клапанов: 1 – давление в начале напорного трубопровода; 2 – давление в точке $l = 2495$ м; 3 – давление в точке $l = 5335$ м; 4 – давление за обратным клапаном; 5 – давление в точке $l = 8990$ м; 6 – давление за обратным клапаном; 7 – давление в точке $l = 850$ м

7600, 8200, 8950, 9300, 9650 м. При такой расстановке аэрационных клапанов вакуум достигал предельного значения лишь на одном участке трубопровода между первым и вторым клапанами. Установка обратных клапанов обеспечивала уменьшение давления в начале трубопровода ниже рабочего; за вторым обратным клапаном давление повышалось на 0,22 МПа и составляло 0,54 МПа.

Изменение давления в начале трубопровода и в точках, находящихся на расстояниях 2500, 5450, 8950 м, показано на рис. 4. Следует отметить, что впуск в трубопровод воздуха существенно изменял переходный гидравлический процесс. Направление движения

воды в начале трубопровода изменялось быстрее – через 9,5 с после отключения насосов, а в конце позднее – через 25,5 с. Максимальное повышение давления в начале трубопровода наблюдалось через 52,5 с.

Диаметры клапанов были приняты такими, чтобы скорость воздуха при его впуске в трубопровод не превышала 50...60 м/с. В результате расчетов были определены и значения максимального расхода воздуха $Q_{\text{возд}}^{\text{max}}$ через клапаны для впуска и заземления воздуха при его впуске.

Для удобства заказа оборудования диаметры всех клапанов были приняты одинаковыми и равными 150 мм, но в 1, 7 и 9-й точках устанавливали по

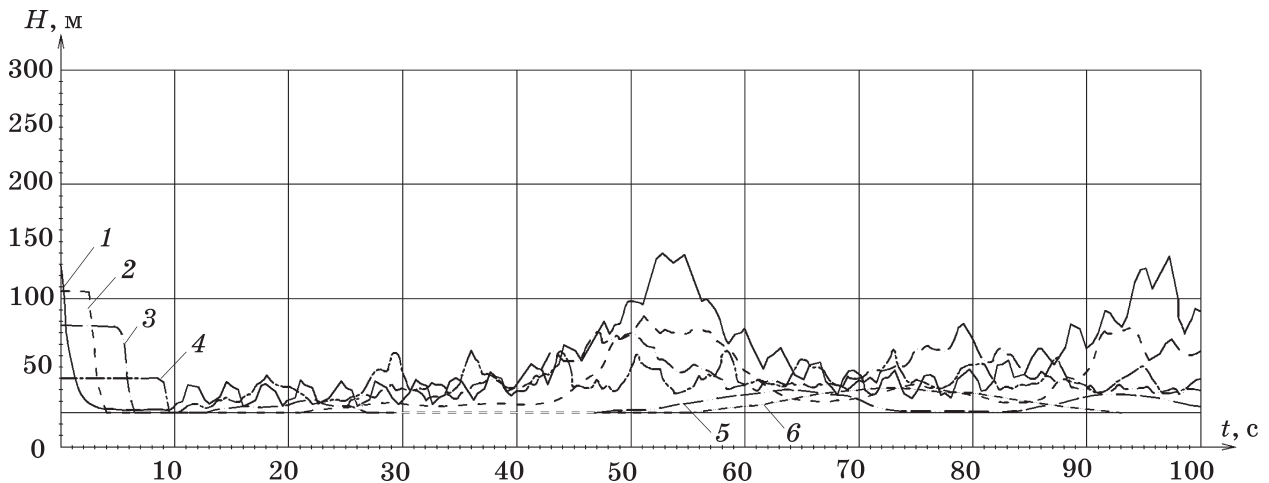


Рис. 4. Установка на трубопроводе пятнадцати клапанов впуска и заземления воздуха и двух обратных клапанов ($l = 8950 \text{ м}$): 1 – давление в начале напорного трубопровода; 2 – давление в точке $l = 2500 \text{ м}$; 3 – давление в точке $l = 5450 \text{ м}$; 4 – давление за обратным клапаном; 5 – давление в точке $l = 8990 \text{ м}$; 6 – давление за обратным клапаном

2 шт. Таким образом, необходимо было установить всего 18 клапанов для впуска и заземления воздуха диаметром 150 мм.

В связи с тем что наибольший диаметр обратных клапанов, выпускаемых промышленностью Российской Федерации на давление 1,6 и 25 МПа, составляет 1000 мм, в каждом из двух определенных расчетом местах трубопровода следует установить по два обратных клапана диаметром 1000 мм, для чего в этих местах необходимо предусмотреть прокладку двух линий трубопровода такого же диаметра и их соединений с трубопроводом диаметром 1400 мм.

Выводы

Проведенные расчетно-теоретические исследования подтвердили возможность отдельных допущений, принятых при рассмотрении переходных процессов напорных систем водоподачи.

Для защиты от гидравлических ударов по трассе протяженных водоводов крупных диаметров в основном могут быть применимы клапаны для впуска и заземления воздуха (КВЗВ).

Экономическая эффективность от внедрения результатов работы достигается за счет снижения стоимости строительства напорных систем, связанного с уменьшением прочностных показателей труб и арматуры при применении обоснованных расчетами переходных процессов и средств для уменьшения давления.

1. **Алышев В. М., Масс Е. И.** Рекомендации по расчету неустановившегося движения многофазной жидкости в напорных системах. – М.: ЦНИИС МТС СССР. – 1984. – 104 с.

2. **Бегляров Д. С., Рожков А. П.** Защита протяженных водоводов больших диаметров от гидравлического удара / Экологические проблемы водного хозяйства и мелиорации: тезисы научных докладов. – М.: ФГОУ ВПО МГУП. – 2000. – 14 с.

3. **Вишневский К. П.** Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М.: «Агропромиздат», 1986. – 135 с.

4. **Дикаревский В. С., Зырянов В. П., Татура А. Е.** Противоударная защита закрытых оросительных систем. – М.: Колос. – 1981. – 80 с.

5. **Картвелишвили Н. А.** Расчет гидравлического удара в сложных системах // Гидротехническое строительство. – 1948. – № 3. – С. 15–20.

6. **Мошнин Л. Ф., Обухов Л. А.** Руководство по расчету средств защиты водоводов от гидравлических ударов. – М.: Труды ВНИИ ВОДГЕО, 1970. – Вып. 25. – 92 с.

Материал поступил в редакцию 04.02.10.

Бегляров Давид Суренович, доктор технических наук, профессор кафедры «Насосы и насосные станции»

Тел. 8 (495) 976-11-85

Сахаров Илья Юрьевич, аспирант

Тел. 8 (926) 703-47-94

E-mail: zucker.ru@mail.ru