

В. М. ПАПИН

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА ВДОЛЬ
ВОДОВОДА

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 10 X 1953)

В сообщении (1) мы показали, что промежуточная возвышенность на водоводе оказывает влияние на характер гидравлического удара. При близком ее расположении от насосной станции, вследствие частичного отражения от нее ударной волны, уменьшается падение давления после выключения. С другой стороны, промежуточная возвышенность увеличивает падение давления за собой. Следовательно, ударное давление за промежуточной возвышенностью должно снизиться. Для проверки этих соображений нами были проведены замеры величины гидравлического удара по длине водовода на нескольких водопроводах различного диаметра и профиля. Результаты замеров на двух водопроводах приводятся ниже. В проведении опытов участвовали М. И. Ругалев, Л. А. Гехман и Л. Я. Адаменко.

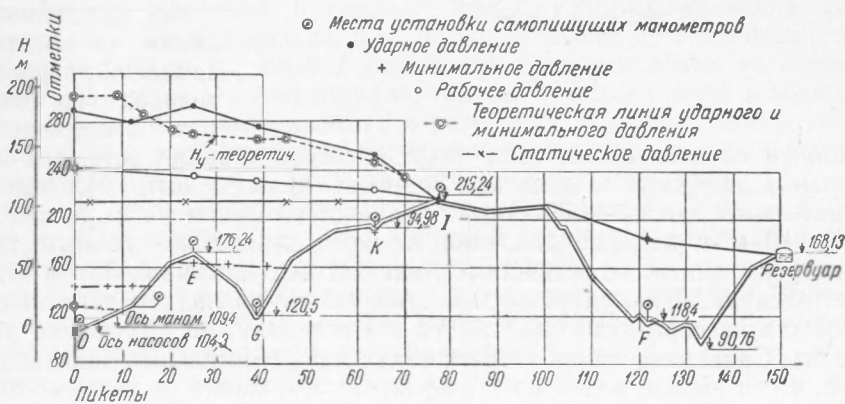


Рис. 1

На рис. 1 приведен полный профиль водовода, часть профиля которого была приведена в нашем сообщении (1). Общая длина водовода 15 км, трубы — стальные, диаметром 350 мм. На расстоянии 7680 м от насосной станции имеется перевальная точка *i*, вершина которой находится выше резервуара. Таким образом, насосная станция подает воду до этой точки, а дальше она идет самотеком.

Во время испытаний самопишущие манометры подключались в точках *O*, *M*, *E*, *G*, *K*, *I*, *F* и производилось выключение станции при нормальном рабочем давлении 130 м и скорости движения воды в водоводе $v = 0,95$ м/сек.

На рис. 2 приведен график изменения давления в точке *O*, т. е. возле насосной станции. Как видим, давление до выключения было 130 м; после выключения оно упало до 35 м и затем, перейдя через выступ (про-

исхождение которого, по нашему мнению, объясняется отражением ударной волны от промежуточной возвышенности), поднялось до 180 м.

На рис. 1 сплошными линиями с черными кружками нанесены действительные ударные давления, взятые из диаграмм, записанных самопишущим манометром в соответствующих точках профиля. Сплошными линиями с крестиками нанесены действительные минимальные давления,

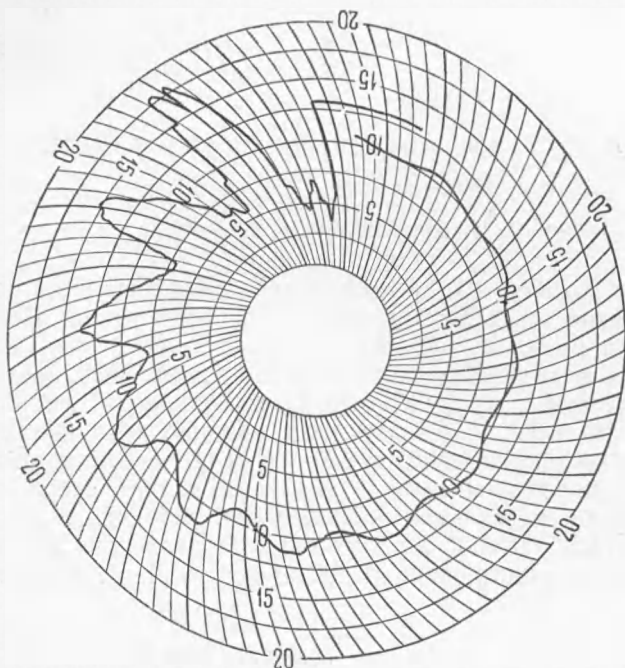


Рис. 2

взятые из тех же диаграмм. Ранее нами было показано (2), что при определении минимального и ударного давления возле насосной станции можно исходить из того, что после выключения насосов давление падает от рабочего давления на величину av/g , в дальнейшем колебания давления происходят около линии статического давления, т. е. насколько давление упало ниже статического, настолько же оно и поднимается над ним.

Рассматривая водовод, мы видим, что линия минимальных давлений пересекает водовод на некотором расстоянии от

станции, и следовательно, если возле насосной станции остаются положительные давления, то дальше в водоводе должны быть нулевые или отрицательные давления. Принимая с запасом давления в этих точках равными — 10 м и падение давления за возвышенностью равным также 10 м, строим линию теоретических минимальных давлений. Затем строим теоретическую линию ударных давлений, принимая подъем давления над линией статического давления на ту же величину, на какую оно упало ниже его. Сравнивая линии теоретических и действительных давлений, мы видим, что в начале водовода в результате отражения от промежуточной возвышенности действительная линия минимальных давлений проходит выше теоретической и, соответственно, снизилось и ударное давление (которое здесь ниже теоретического).

Как было показано ранее (1), в то время как основная волна пониженного давления, пройдя вершину l , продолжала двигаться в направлении к точке i , от точки l началось движение воды в обратном направлении к станции. В результате на вершине l должен был произойти разрыв столба жидкости.

Диаграмма, записанная в точке l , показала, что после выключения давление упало до —8 м, затем поднялось над линией статического давления на величину, равную падению ниже линии статического давления, после чего несколько понизилось, а затем опять резко поднялось так, что подъем превысил падение. При этом в водоводе были слышны резкие удары.

Таким образом, на вершине имел место почти полный вакуум, что

говорит о разрыве столба жидкости. Последующее соединение столбов жидкости вызвало дополнительный подъем давления и удары в водоводе. Необходимо отметить, что во всех остальных точках при испытаниях никаких звуков в водоводе не было слышно. Разрыв столба и последующее его соединение привели к тому, что в этой точке действительное ударное давление превысило теоретическое.



Рис. 3

Диаграмма, записанная в точке G, показала, что давление упало всего на 10 м ниже вершины промежуточной возвышенности, хотя до нуля в точке G оставалось еще 40 м и теоретически, т. е. считая падение давления на величину av/g от линии рабочего давления, оно должно было упасть до нуля. Таким образом, вершина действительно подняла линию минимальных давлений и снизила линию ударных давлений. Запись давления в точке K показала, что оно упало только до атмосферного, т. е. вакуума не было. В точке I колебаний давления почти не было, а в точке F манометр записал спираль, так как станция стояла и вода постепенно стекала с возвышенности I в резервуар. В общем линия ударных давлений от насосной станции постепенно снижается к перевальной точке. За перевальную точку ударное давление не переходит вовсе.

На рис. 3 приведен профиль водовода диаметром 500 мм и длиной 6600 м. Как видим, вблизи от насосной станции в расстоянии 1000 м имеется возвышенность, отметка которой несколько выше отметки резервуара. Скорость в водоводе в момент испытаний составляла 1,3 м/сек, что дает $av/g = 1146 \cdot 1,3/9,81 = 152 \text{ м}$. Рабочее давление 87 м, статическое 78. Таким образом, давление после выключения должно было упасть до абсолютного нуля. В действительности же оно упало только до 20 м. Это объясняется тем, что ближайшая вершина, расположенная в расстоянии 1000 м от насосной станции, имеет отметку, несколько превышающую резервуар, и все отражение происходило от нее.

Таким образом, отражение возвратилось к станции раньше, чем давление насоса упало на величину av/g , вследствие чего давление не успело упасть до полной величины. Тем не менее, ударное давление поднялось до 165 м, т. е. подъем давления над линией статического давления несколько превысил его падение. Объясняется это, повидимому, тем, что обратный клапан запаздывал с посадкой. Хлопок клапана был слышен через 2,5 сек. после выключения, в то время как подъем давления, а следовательно, и обратное движение воды в водоводе возле обратного клапана начиналось через 1,2 сек.; следовательно, клапан закрывался уже тогда, когда развивалось обратное движение воды, что и давало дополнительный подъем давления. При испытаниях манометры подключались в точках 1, 2, 3, 4, и 5 (см. рис. 3).

Рассматривая линию опытных ударных напоров, мы видим, что с давления 165 м возле насосной станции ударное давление снижается до нуля на первой вершине (вакуума здесь не было), и дальше колебаний давления нет совершенно. Отсутствие в данном случае вакуума на вершине еще не говорит о том, что здесь не было разрыва столба жидкости,

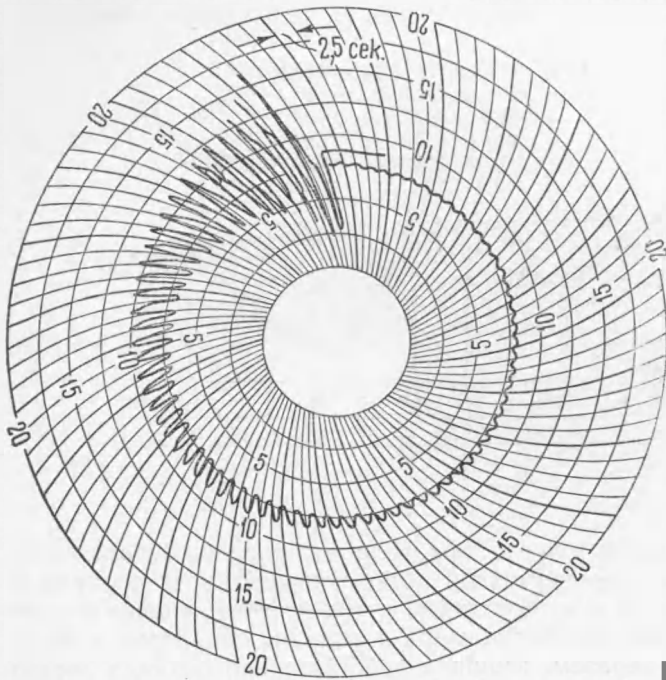


Рис. 4

так как на вершине имелся вантуз. Отсутствие же последующего подъема давления, который имел место при соединении столбов жидкости на промежуточной возвышенности на рис. 1, объясняется в данном случае тем, что возвышенность имеет отметку, несколько превышающую отметку следующей возвышенности и резервуара, и после выключения станции вода постепенно стекла в резервуар, т. е. соединения разорванного столба воды не произошло.

На рис. 3 пунктиром нанесена линия ударных напоров, построенная теоретически, исходя из условия, что давление возле насосной станции падает на величину av/g от рабочего давления, т. е. в данном случае до нуля, и затем имеет место его подъем над линией статического давления настолько же, насколько оно упало ниже линии статического давления. Как видим, линии теоретического и действительного ударного давления совпали.

На рис. 4 приведена диаграмма гидравлического удара, записанная в точке 1 (рис. 3), т. е. возле насосной станции. Из диаграммы следует, что отраженная волна вернулась примерно через 2 сек., т. е. отражение происходило от первой возвышенности. Таким образом, если на водоводе имеется промежуточная возвышенность, высота которой равна или больше высоты конечной точки водовода, то диаграмма гидравлического удара возле насосной станции имеет такой характер, какой она имела бы, если бы водовод заканчивался на вершине этой возвышенности. При этом не принято во внимание, что при длинном водоводе, хотя бы и с близко расположенной перевальной точкой, рабочее давление будет больше, это при отсчете падения давления на величину av/g от рабочего должно уменьшить силу удара.

Поступило
16 VI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. М. Папин, ДАН, 90, № 1 (1953). ² В. М. Папин, Гидротехника и мелиорация, № 9 (1951).