

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР

Не задавались ли вы вопросом, почему все водопроводные краны имеют такую конструкцию, что их нельзя быстро закрыть? Особенно краны на больших трубопроводах, например, пожарные, приходится крутить очень долго. Не лучше сделать так, как в самоваре? Четверть оборота — и сквозное отверстие в хорошо притертой бронзовой пробке совмещено с трубопроводом. Еще четверть оборота — и кран закрыт.

Оказывается, все дело в гидравлическом ударе.

Представьте себе, что по какому-либо промышленному водопроводу диаметром 0,1 м и длиной $L = 1000$ м течет вода со скоростью $v=10$ м/с. И в конце водопровода стоит кран, который можно закрыть в течение одной секунды.

Подсчитаем количество движения, которым обладает текущая по трубе вода:

$$K = M \cdot v = \pi \cdot r^2 \cdot L \cdot \rho \cdot v$$

где $\pi \cdot r^2$ — площадь сечения водопровода, равная в нашем случае $0,0078$ м². Объем воды в водопроводе будет равняться $7,8$ м³. Ее масса $M \approx 8000$ кг. Тогда количество движения $K = 80000$ · / .

Если считать, что стальные стенки водопровода не могут растягиваться, а вода не может сжиматься, то, закрыв кран за 1 с, мы вызываем внезапную остановку всей массы движущейся воды, что приведет к удару силой 80 кН. Конечно, при таком давлении и сталь будет податлива, и вода слегка сожмется. Это обстоятельство немного растянет процесс остановки воды, и следовательно, уменьшит максимальную силу. Но даже если сила уменьшится в два-три раза, все равно беды не избежать. Разрыв трубопровода из-за гидравлического удара был частой причиной аварии в системе водоснабжения до тех пор, пока не перешли к вентилям и кранам, исключающим возможность быстрой остановки воды в трубопроводе.

Действие гидравлического удара можно проиллюстрировать историей, которая произошла на одной из днепровских гидроэлектростанций. Как устроен агрегат такой станции, мы уже рассказывали. В агрегате имеется трубопровод. Правда, он не очень длинный, зато в поперечном сечении достигает нескольких метров, да и скорость воды немалая. Лопатки направляющего аппарата, которые служат для закручивания потока, одновременно позволяют регулировать расход воды вплоть до его полного прекращения. Необходимость в такой регулировке связана с тем, что в течение суток несколько раз меняется количество потребляемой электроэнергии. Погрузился город в ночной сон, все лампочки выключены, остановились трамваи, троллейбусы — и сразу уменьшалось количество потребляемой энергии. Если не уменьшить расход воды, то турбина начнет крутиться все быстрее и быстрее. Это недопустимо по двум причинам. Во-первых, генератор, связанный с турбиной, будет вырабатывать ток частотой не 50 Гц, а больше, а во-вторых, турбина и генератор могут не выдержать возникающих центробежных сил.

В тот день, о котором идет речь, какой-то завод, потреблявший большое количество электроэнергии, отключился от сети. Генераторы и турбины, вращавшиеся теперь вхолостую, начали увеличивать скорость вращения. Это обнаружили автоматы и быстро закрыли доступ воды в турбину. Находившаяся там вода, обладавшая большой скоростью, ничем не удерживаемая, продолжала двигаться. Естественно, что при этом она оторвалась от направляющего аппарата и там образовался вакуум. Вода опустилась настолько, сколько хватило энергии противодействовать вакууму. Затем она двинулась вспять и со всей мощью ударила по турбине, по лопаткам направляющего аппарата. Действие такого мощного удара можно сравнить только с действием взрыва. Один агрегат был полностью разрушен.

Разумеется, такой эффект можно было предвидеть заранее и принять меры, исключающие его. В крышке турбины, отделяющей турбину от помещения, где находится генератор, ставят специальный клапан, который называется клапаном срыва вакуума. Когда под крышкой

появляется вакуум, превышающий норму, клапан открывается, впускает в образовавшееся пространство воздух, и обратный гидравлический удар предупреждается. В описанной истории клапан был неисправен. Это вызвало аварию.

Мы не напрасно проводим аналогию между взрывом и гидравлическим ударом. Во время Великой Отечественной войны у нас появились кумулятивные снаряды, которые пробивали броню «тигров», «леопардов» и других фашистских чудовищ. Действие этих снарядов также основано на гидравлическом ударе. Корпус снаряда начинен взрывчаткой, в головной части имеется взрыватель и воронкообразное углубление, покрытое специальным металлом (рис. 44). Когда происходит взрыв заряда, горячие газы и металл, который при этом давлении ведет себя как жидкость, фокусируются в узкую струю, направленную вперед. Вот эта струя и пробивала броню немецких танков.

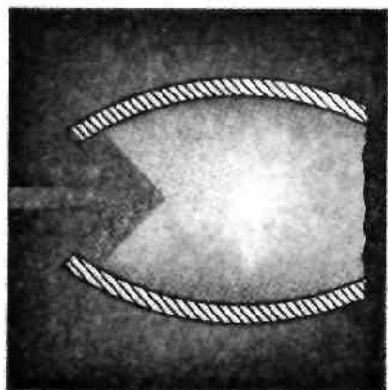


Рис. 44

В мирное время гидравлический удар тоже нашел применение. Речь идет о гидропушке. Что такое гидромонитор, знают, наверное, все. Струя воды, которую непрерывно качает мощный насос, может найти различное применение. Можно потушить пожар, находясь на безопасном расстоянии от огня; можно разрушить породу, если она не очень прочная. Если бы создать струю с давлением, в десятки, сотни раз большим, то она могла бы разрушить даже гранит, пробить отверстие в стальной плите. Но такого насоса, работающего непрерывно, не создать. Вот если энергию накапливать долго, а расходовать быстро, то можно получить большую мгновенную мощность. Так родилась идея гидропушки.

Небольшой компрессор в течение нескольких секунд, накачивает воздух в замкнутый объем. Энергию этого воздуха используют для того, чтобы разогнать тяжелый поршень. В тот момент, когда поршень достигает максимальной скорости, он ударяет по небольшому объему воды. Это давление может достичь такой величины, что вода вырвется через узкое сопловое отверстие со скоростью пушечного снаряда. Такая пушка может разрушить самую крепкую породу, пробить стальной лист.

Существующие гидропушки имеют тот недостаток, что делают лишь два-три выстрела в минуту. Если объединить в одну конструкцию двигатель, который обеспечивает пушку энергией, компрессор и пушку, то можно значительно упростить всю установку и увеличить ее скорострельность. За основу такой пушки можно взять хорошо известный свободнопоршневой дизель-компрессор.

У свободнопоршневого дизель-компрессора, в отличие от обычного двигателя с компрессором, нет кривошипно-шатунного механизма и поршни двигателя непосредственно связаны с поршнями компрессора. Такая конструкция динамически уравновешена и потому допускает большие внутренние усилия и движения с большой частотой.

Дизель-компрессор работает так. Вспышка топлива в рабочем объеме вызывает перемещение поршней двигателя и компрессора. Сжатый воздух сквозь клапан частично уходит в трубопровод для использования, частично идет на продувание цилиндра, а остальная часть возвращает в исходное положение оба поршня. Затем цикл повторяется.

Если уменьшить рабочий объем компрессора до размеров, необходимых для обеспечения работы двигателя, то мы получим избыток энергии в каждом цикле. Это позволяет глухую донную часть компрессора заменить тяжелым поршнем, который будет разгоняться под действием давления в компрессоре и ударять по воде. Скорострельность такой пушки можно довести до 60 выстрелов в минуту. Учитывая, что объем выстреливаемой каждый раз воды будет небольшим, это устройство следует скорее назвать гидропулеметом.