

УДК 532.5:552

ГРАВИТАЦИОННЫЙ ГИДРОТАРАН

А.С.Керимбекова
Докт.техн.наук А.А.Бондарь

Исследован гравитационный гидротаран. Дано теоретическое обоснование работы гравитационного гидротарана и описание принципа действия.

Известные конструкции гидравлических таранов клапанного типа хорошо изучены и имеют теоретическое обоснование.

Нами на кафедре эколого-экономических проблем природопользования ТарГУ разработана и испытана гравитационная гидротаранная установка, работающая за счет энергии потока и силы тяжести шаровых клапанов, выполняющих роль ударного и обратного клапанов.

Конструкция гравитационного гидротарана показана на рис.1.

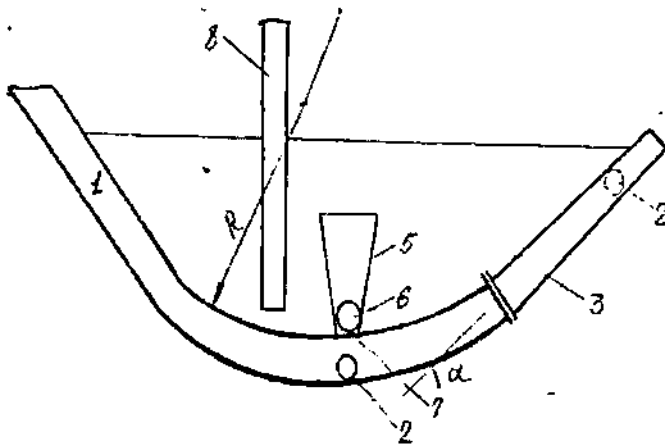


Рис.1. Схема гравитационного гидротарана. Элементы конструкции: 1 – питающий трубопровод; 2 – шаровый клапан; 3 – конфузор; 4 – воздушная емкость; 5 – направляющий конус; 6 – обратный шаровый клапан; 7 – отверстие; 8 – нагнетательная труба; R – радиус вогнутой части питающей трубы; α – угол поднятия конфузора над горизонтом

Принцип действия гравитационной гидротаранной установки следующий. По нагнетательной трубе 1 с ускорением в конфузоре 3 вода выбрасывается в атмосферу. Конфузор 3 направлен под углом α к горизонту и фланцево соединен с питательной трубой 1, концевая часть которого выполнена дугообразно по радиусу R.

Фланцевое соединение питательной трубы с конфузуром выполняется идеально, обеспечивая беспрепятственный проход шарового клапана 2 в конфузоре 3, в котором происходит перекрытие сечения и вследствие чего, образуется гидравлический удар. В результате гидравлического удара, как известно, давление в дугообразной части питательного трубопровода поднимается до величины:

$$p = p_0 + \rho c v, \quad (1)$$

где: p_0 – статическое давление в корпусе гравитационного гидротарана; $\Delta p = \rho c v$ – приращение давления при гидравлическом ударе; ρ – плотность воды; v – скорость потока воды, где происходит перекрытие сечения в конфузоре; c – скорость распространения ударной волны, определяемая согласно Н.Е.Жуковского по формуле:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta} \cdot \frac{K}{E}}}; \quad (2)$$

где: K – модуль упругости жидкости; d – внутренний диаметр трубы; δ – толщина стенки трубы; E – модуль упругости материала трубы.
Для воды:

$$\sqrt{\frac{K_B}{\rho}} = 1435 \text{ м/с}.$$

В этом случае:

$$c = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta} a}}, \quad (3)$$

где: $a = \frac{K_B}{E}$ – отношение модуля упругости воды к модулю упругости материала трубы.

Через отверстие 7 на теле изгиба питательной трубы за счет приращения давления, выталкивается шаровой клапан 6 в направляющий конус 5 и вода выбрасывается в герметическую емкость 4, выполняющую роль воздушного колпака. При закрытии конфузора шаровым клапаном 2 движение воды прекращается и под собственным весом шаровой клапан 6 закрывает отверстие 7, а клапан 2 занимает исходное положение в нижней части прогиба на питательной трубе. За счет сжатия воздуха в емкости 4 вода по напорной трубе 8 поступает в приемный резервуар. Цикл повторяется.

При работе гравитационного гидротарана, гидравлический удар по принципу действия можно считать положительным, прямым. Возникшее при этом приращение, давления Δp будет распространяться в виде волны движущейся, согласно формулы (3), со скоростью c .

Известно, что отрицательная волна достигает выходного конца питательного трубопровода в течение времени $t_1 = \frac{\ell}{c}$, где ℓ - длина питательного трубопровода, т.е. отраженная волна на обратный пробег затрачивает то же время, что и положительная волна на пробег от шарового клапана до начала питательной трубы, следовательно, продолжительность фазы гидравлического удара будет равна:

$$t = \frac{2\ell}{c} \quad (4)$$

Если закрытие сечения конфузора шаровым клапаном совершается быстро, что имеет место на практике, то гидравлический удар будет прямым, т.е.:

$$T < \frac{2\ell}{c}, \quad (5)$$

где: T - время закрытия поперечного сечения конфузора шаровым клапаном.

Время закрытия шаровым клапаном поперечного сечения конфузора зависит от ряда факторов:

$$T = f(v, G, \nu, \alpha), \quad (6)$$

где: v - скорость воды в конфузоре в момент всхлapyивания шарового клапана; G - вес шарового клапана; ν - кинематическая вязкость рабочей жидкости; α - угол наклона конфузора к горизонту.

Примем за ось проекций направление S-S. Определим проекцию на эту ось изменения количества движения за время Δt , которая, будет равна проекции импульса силы за то же время:

$$m v_0 \Delta t - \frac{m}{2} v \cos \beta \Delta t - \frac{m}{2} v \cos \beta \Delta t = P \Delta t, \quad (7)$$

где: m – масса жидкости проходящая через сечение 0-0 за время Δt .

Пренебрегая потерей энергии на участке потока 0-0 и I-I и приняв $\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}$, запишем:

$$P \Delta t = m v_0 (1 - \cos \beta) \Delta t, \quad (8)$$

откуда следует, что

$$P = \rho Q v_0 (1 - \cos \beta), \quad (9)$$

где: Q – расход потока.

Для шарового затвора можно принять $\beta=45^\circ$, тогда динамическая сила, P приводящая в движение шар, будет равна:

$$P_0 = 0,3 \rho Q v_0. \quad (10)$$

Таким образом, начальная скорость потока при которой, должно начаться движение шарового клапана, будет соответствовать $P_0 \geq F_r$, т.е.:

$$v_0 \geq \frac{F_r}{0,3 \rho Q}, \quad (11)$$

где: $F_r = G \cdot \cos \alpha$.

Известно, что расход воды в нагнетательной трубе гидравлического тарана q связан с расходом в питательном трубопроводе Q зависимостью:

$$\eta Q H = q h, \quad (13)$$

где: η – коэффициент полезного действия тарана, который в зависимости от отношения $\frac{h}{H}$ можно получить из графика (рис.4), построенного нами на основании эксперимента.

Поэтому качество работы гравитационного гидротарана будет, зависеть от его конструктивных особенностей, т.е. от длины пробега шарового клапана, его веса и скорости потока в питательной трубе.

Если рассмотреть взаимодействие сил, вызывающих движение шарового клапана, то схему этого взаимодействия можно представить в следующем виде (рис.2).

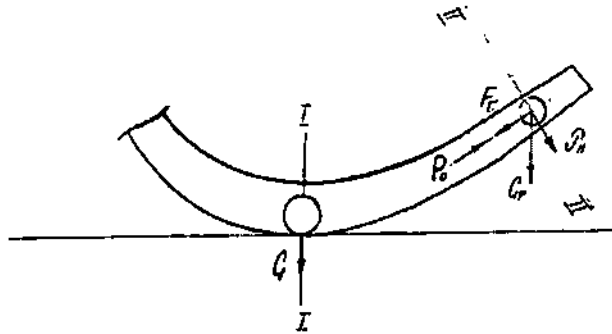


Рис. 2.

Рис.2. Схема взаимодействующих сил

F_t – и P_n – касательная и нормальная составляющие силы G – в положении шарового клапана II-II; P_0 – сила динамического давления на клапан.

Из схемы (рис.2) следует, что движущая шаровой клапан сила P будет зависеть от скорости потока в питательной трубе \mathcal{Q} и массы потока, т.е. силу активного давления струи на преграду определим применив теорему изменения количества движения к отсеку жидкости между сечениями O-O, I-I и I'-I' (рис. 3).

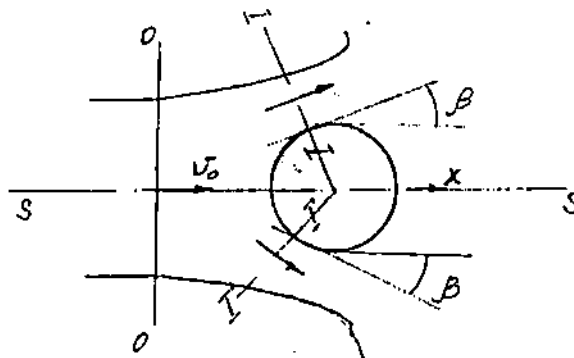


Рис.3

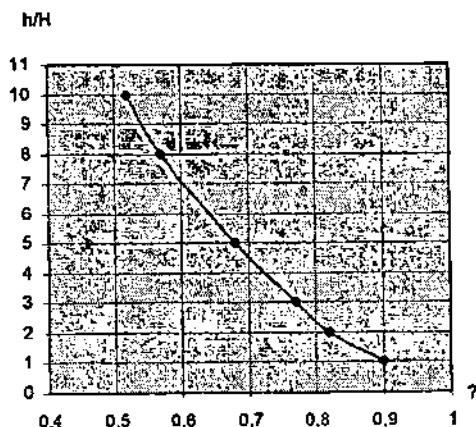


Рис.4. График зависимости $\eta = f\left(\frac{h}{H}\right)$ для гравитационного гидротарана

Из формулы (13) следует, что:

$$q = \frac{\eta Q H}{h} \quad (14)$$

Пример: Диаметр питательного трубопровода $d=20$ мм, $\delta=1,5$ мм его длина $\ell=5$ м. Напор в питательной трубе на сливе $H=0,7$ м. Расход воды в питательном трубопроводе Q составляет $0,35$ л/с. определить производительность таранной установки и высоту подъема воды (рис.5) если $a=0,105$.

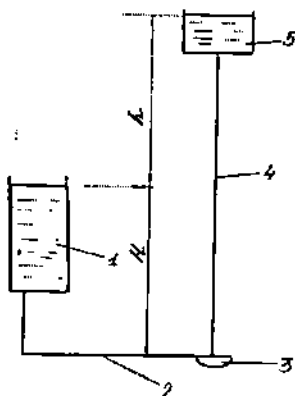


Рис.5. 1-напорный бак; 2-питательная труба; 3-гравитационный гидротаран; 4-напорный трубопровод; 5-водоприемник

Скорость распространения ударной волны в питательном трубопроводе составит:

$$C = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{d}{8} \cdot a}} = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{20}{1,5} \cdot 0,105}} = 1216 \text{ м/с}$$

Скорость течения в питательной трубе:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{350 \text{ см}^3/\text{с}}{3,14 \text{ см}^2} = 1,11 \text{ м/с}$$

Приращение давления при гидравлическом ударе составит:

$$\Delta P = \rho c v = 102 \frac{\text{кгс}^2}{\text{м}^4} 1216 \text{ м/с} \cdot 1,11 \text{ м/с} = 0,14 \frac{\text{кгс}^2}{\text{см}^2}$$

Отношение:

$$\frac{h}{H} = \frac{1,4}{0,7} = 2$$

Производительность гравитационного гидротарана (лабораторная установка):

$$q = \frac{\eta \cdot Q \cdot H}{h} = \frac{0,85 \cdot 350 \cdot 0,7}{1,4} = 149 \frac{\text{см}^3}{\text{с}}$$

где: η - коэффициент полезного действия гидротарана, в данном случае, согласно графика (рис. 4), при $\frac{h}{H} = 2$, $\eta = 0,85$.

Таразский государственный университет им.М.Х.Дулати

ГРАВИТАЦИЈАЛЫҚ ГИДРОТАРАН

А.С.Керимбекова
Техн.ғыл.докт. А.А.Бондарь

Гравитациялы гидротаран зерттелініп, онын жұмыс істеу принципі және теориялық қорытындылары берілген.