

ГИДРАВЛИКА

В. М. ОВСЕЯН

РАСЧЕТ УРАВНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПИТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ГИДРОТАРАННЫХ УСТАНОВОК

Теоретические, и в особенности, экспериментальные исследования [1] приводят к заключению, что при сокращении длины питательной трубы до некоторого предела работа гидротаранных установок становится более эффективной так как уменьшение длины питательной трубы сокращает период разгона, в силу чего увеличивается пропускная способность, и уменьшаются гидравлические потери [2]. Местные условия рельефа не всегда позволяют укоротить питательную трубу. В таких случаях можно прибегнуть к установлению уравни-
 тельных башен или воздушных колпаков на питательной линии установки. Не останавливаясь на вопросе рациональной длины питательной трубы, требующего специального разбора, здесь рассмотрим только вопросы, связанные с расчетами уравни-
 тельных устройств.

1. Уравни-
 тельные башни. Предположим, что на питательной линии таранной установки на расстоянии l_0 от напорного бьефа установлена уравни-
 тельная башня В от которой начинается пита-
 тельная труба длиной l (рис. 1). Обозначим расход в подводящей трубе

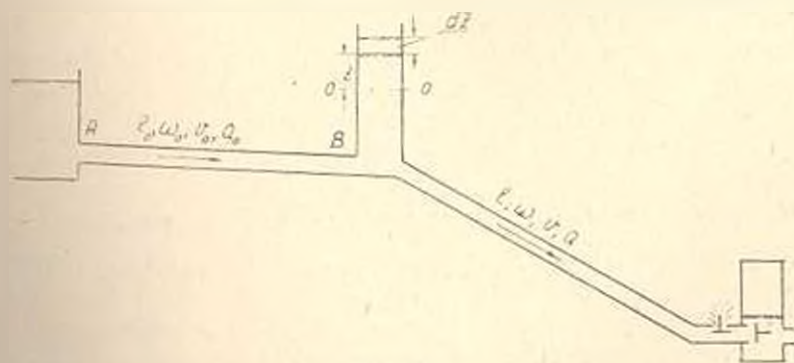


Рис. 1.

АВ через Q_0 , площадь ее сечения ω_0 ; площадь сечения башни ω ; скорость в питательной трубе v , а площадь ее сечения ω .

Допустим, что в конце периода разгона горизонт воды в башне находится на уровне 0—0, и благодаря изменению скорости v в питательной трубе, за некоторый промежуток времени t , горизонт в башне повысится на величину z . Тогда скорость движения в подводящей

трубе уменьшиться на gz/a , где a — скорость распространения волны удара. За промежуток времени dt баланс объема воды в башне выразится уравнением

$$\left(v_0 - \frac{gz}{a}\right) \omega_0 = 2dz - \omega v dt \quad (1)$$

Разделяя переменные, и вместо скоростей вводя в рассмотрение расходы, получим

$$dt = \frac{2dz}{Q_0 - Q - \frac{gz}{a} \omega_0}$$

Интегрируя это уравнение, для промежутка времени от $t=0$ до времени добегания обратной волны от тарана $t = \frac{2l}{a}$, при котором z будет меняться от значения $z=0$ до $z=z_1$, соответствующего подъему горизонта в башне в первой фазе нагнетания, получим:

$$\int_0^{\frac{2l}{a}} dt = \frac{2}{\omega_0} \int_0^{z_1} \frac{dz}{Q_0 - Q - \frac{gz}{a}}$$

после интегрирования и преобразования будем иметь:

$$z_1 = \frac{a(Q_0 - Q)}{g\omega_0} \left| 1 - \exp\left(-\frac{2g\omega_0 l}{2a^2}\right) \right|. \quad (2)$$

Здесь в знаменатель аргумента экспоненциальной функции входит квадрат скорости распространения волны — a^2 , в силу чего этот аргумент является малой величиной. Поэтому, разлагая экспоненциальную функцию в степенной ряд и удерживая первые два члена, из (2) получим:

$$z_1 = \frac{Q_0 - Q}{\omega_0} \frac{2l}{a} \quad (3)$$

К этому уравнению пришли бы и предположив, что скорость в подводящей трубе постоянная, при пренебрежении слагаемым $\frac{gz}{a}$ в уравнении (1), [3].

Величина z_1 , определяемая из уравнения (3) представляет собой повышение горизонта в башне за период первой фазы нагнетания. Следовательно, в это уравнение необходимо подставить

$$Q = Q_1 = \left(v_p - \frac{gh}{a}\right) \omega,$$

где v_p скорость в питательной трубе в конце периода разгона, а h высота нагнетания.

Далее необходимо определить повышение горизонта для следующих фаз нагнетания. Для этого достаточно для каждой i -ой фазы в уравнение (3) подставить

$$Q_i = Q_0 - \frac{gh}{a} (2i - 1). \quad (4)$$

После периода нагнетания в питательной трубе движение останавливается и начинается период разгона от скорости равной нулю. Следовательно, в начале периода разгона в течение некоторого времени горизонт в башне будет продолжать подниматься. Определим этот промежуток времени. Для этого приравняем расходы подводящей и питательной труб [1].

$$Q = Q_0 \operatorname{th} \frac{t}{2\tau}.$$

Решая это уравнение относительно t получим:

$$t = 2\tau \ln \frac{Q_0 + Q}{Q_0 - Q}. \quad (5)$$

Подъем горизонта за этот промежуток времени выразится уравнением:

$$z_p = \frac{1}{2g} \left(Q_0 t - w \int_0^t v dt \right).$$

После интегрирования и преобразований будем иметь:

$$z_p = \frac{z}{2} \left[Q_0 \ln \frac{Q_0 + Q}{Q_0 - Q} + Q_0 \ln \left(1 - \frac{Q_0^2}{Q_0^2} \right) \right]. \quad (6)$$

Полный подъем горизонта в уравнительной башне за один цикл будет:

$$z = z_p + \sum_{i=1}^n z_i. \quad (7)$$

где n число фаз нагнетаний.

В конце периода разгона горизонт в башне снижается до уровня 0—0 и процесс периодически повторяется.

2. Воздушные колпаки. Установление уравнительной башни возможно в тех случаях, когда местность позволяет на питательной линии выбрать удобную точку на соответствующей высоте. При произвольном рельефе башня может оказаться столь значительной высоты, что установление ее становится неэкономичным. В таких случаях очень выгодно открытую башню заменить закрытым воздушным колпаком, размеры которого получаются намного меньше размеров башни. Представим, что на питательной линии установки имеем воздушный колпак K с объемом воздуха в конце периода разгона w_0 под абсолютным давлением p_0 . Для составления дифференциального уравнения изменения объема, примем, что скорость в подводящей трубе постоянная. В момент времени t за промежуток dt из подводящей

трубы в колпак поступит объем воды равный $Q_0 dt$, за этот же промежуток из колпака в питательную трубу поступит объем $Q dt$. Разность этих объемов останется в колпаке и вызовет приращение объема воздуха — dw . Изменение объема воздуха в колпаке приведет к изменению давления. Принимая процесс адиабатическим, можем написать:

$$p_0 w_0^k = p w^k$$

откуда

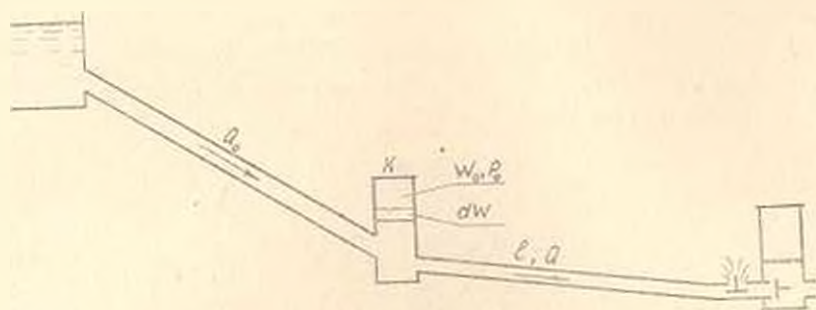


Рис. 2.

$$dw = \frac{w_0 p_0^{\frac{1}{k}}}{k} \frac{dp}{p^{\frac{k+1}{k}}} \quad (8)$$

Приравняв значения dw будем иметь:

$$(Q_0 - Q) dt = \frac{w_0 p_0^{\frac{1}{k}}}{k} \frac{dp}{p^{\frac{k+1}{k}}}$$

Интегрируя это уравнение за промежуток первой фазы нагнетания после преобразований получим:

$$p_1 = p_0 \left[1 - \frac{2l(Q_0 - Q_1)}{aw_1} \right]^{\frac{k}{k+1}}$$

Аналогично для i -ой фазы нагнетания получим:

$$p_i = p_{i-1} \left[1 - \frac{2l(Q_0 - Q_i)}{aw_i} \right]^{\frac{k}{k+1}} \quad (9)$$

Последнее соотношение дает возможность последовательно определить давление в колпаке после каждой фазы нагнетания.

В периоде разгона приращения объема воздуха в колпаке будет:

$$= \int_0^t (Q_0 - Q_i) \ln \frac{1}{2e} dt.$$

где верхний предел t определяется из уравнения (5). С другой стороны это приращение равно

$$-\frac{w_n p_n}{k} \int_{p_n}^p \frac{dp}{p^{\frac{k+1}{k}}},$$

где p — некоторое наибольшее давление в колпаке. Приравнявая приращения объемов после преобразований получим:

$$Q_c \left[\frac{Q_0}{Q_c} \ln \frac{1 + \frac{Q_0}{Q_c}}{1 - \frac{Q_0}{Q_c}} + \ln \left(1 - \frac{Q_0^2}{Q_c^2} \right) \right] = w_n p_n^{\frac{1}{k}} \left(p_n^{-\frac{1}{k}} - p^{-\frac{1}{k}} \right).$$

Левая часть равенства для данного режима работы установки постоянная величина. Обозначив ее через c , получим:

$$p = p_n \left(1 - \frac{c}{w_n} \right)^{-k}. \quad (10)$$

Для определения объема воздушного колпака w_0 этим способом, следует заранее задаваться некоторым его значением и последовательными вычислениями определять наибольшее значение давления p . Практика показывает, что удовлетворительным можно считать объем, при котором отношение p/p_0 не превышает 1,15–1,20.

Приведенные методы расчета уравнительных башен и воздушных колпаков следует применять при проектировании мощных установок: для установок с диаметрами питательной трубы до 100–150 мм можно удовлетвориться приближенными методами. Полученные формулы усложняются, в основном, в связи с учетом периода разгона. Величину изменения объема в период разгона можно заменить приближенным выражением на основании приведенных ниже соображений. Действительно, в большинстве случаев при оптимальном режиме работы установки расход питательной трубы в конце периода разгона приблизительно равен двукратному осредненному по времени расходу установки ($Q_c = 2Q_0$).

Для малых значений t_p можно принимать, что расход во времени растет по линейному закону, т. е. можно принимать, что $Q = Q_0$ при $t = t_p/2$. Если это так, то объем воды проходящий за время t будет

$$\frac{1}{2} Q_0 \frac{t_p}{2} = \frac{Q_0 t_p}{4}.$$

Тогда увеличение объема воды в башне или в колпаке за весь период повышения давления можно представить в следующем виде

$$\Delta w = Q_0 \left(t_n + \frac{t_p}{4} \right) - qT, \quad (11)$$

где t_n и t_p продолжительности периодов разгона и нагнетания, q — нагнетательный расход, а T полный период одного цикла равный $t_n + t_p$. Эти величины заранее известны из результатов расчета газовой установки [1].

В силу (8) и (11) для воздушного колпака можем составить уравнение

$$\int_0^{\Delta w} d\omega = \frac{w_0 p_0}{k} \int_{p_0}^p \frac{dp}{p^{\frac{k+1}{k}}}.$$

Интегрируя это выражение получим:

$$w_0 = x \Delta w, \quad (12)$$

где

$$x = \frac{1}{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{k}}}.$$

Некоторые значения x в зависимости от p/p_0 приведены в табл. 1

Таблица 1

p/p_0	1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	1,50	2,0
x	∞	28,0	15,4	10,5	8,0	4,0	2,9

Оптимальное значение отношения p/p_0 находится в пределах 1,15—1,20. В частности, при $p/p_0 = 1,20$ согласно табл. 1.

$$w = 8 \Delta w.$$

Расчеты показывают, что для воздушного колпака получаются очень малые объемы, но на практике колпаки дают замечательный эффект.

Осуществленные по предложению автора уравнительные воздушные колпаки на Гохтской и Гидевазской установках в Армянской ССР и на Дунусской установке Грузинской ССР, оправдывают себя полностью.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Получено 20.11. 1965

Վ. Մ. ՇՈՎԱՌՅԱՆ

ՏԱՐԱՆԱՅԻՆ ԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ՍԵՌՎ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐԻ ՎՐԱ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՒՈՂ
ՀԱՐՄԱՐԱՆՔՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐՈՂ

Ա. Մ Վ Ո Ւ Ռ Ո Ւ Մ

Հոդվածում խոսվում է հավասարակշռող աշտարակների և օդային խցերի միջոցով հիդրոտարանային կայանքների սնող խողովակի կարճացման ևն հրաժեշտության մասին: Հենվելով տարանի աշխատանքի քնդհանուր տեսության վրա բերվում է հավասարակշռող աշտարակների հորիզոնի բարձրացման հաշվարկի մեթոդ: Հիմնավորվում են օդային խցերի առավելությունները

հաշվասարակչուղ աշտարակների նկատմամբ և բերվում մեթոդ այդ խցերի անհրաժեշտ ծախսի հաշվարկի համար, նկատի ունենալով տարանի ղաղթի և մղման պարբերություններում Էլքի փոփոխման օրինաչափությունները: Բերվում է նաև հաշվարկի մոտավոր մեթոդ համեմատաբար փոքր կայանքների դեպքում:

Հոդվածում հիշատակված է նաև մի քանի կայանքներում իրականացված օգային խցերի տրոյունավիտ աշխատանքի մասին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Овсепян В. М. Гидравлический таран (на армянском языке), Армгосиздат, 1955.
2. Овсепян В. М. Выражение гидравлических потерь через осредненную скорость при неустановившемся движении жидкости в жесткой трубе, «Сборник трудов: ЕрПН», № 14, 1957.
3. Макарян К. П. Аналитический расчет уравнительных башен, 1932.