

$$\frac{D_H}{D_M} = \frac{\Pi_M}{\Pi_M + 68} \cdot \frac{k_H}{k_M} + \frac{68}{\Pi_M + 68} \cdot \frac{V_M}{V_H}; \quad (16)$$

$$\frac{k_H}{k_M} = \frac{\Pi_M + 68}{\Pi_M} \cdot \frac{D_H}{D_M} - \frac{68}{\Pi_M} \cdot \frac{V_M}{V_H}; \quad (17)$$

$$\frac{V_H}{V_M} = \frac{\Pi_M + 68}{68} \cdot \frac{D_H}{D_M} - \frac{\Pi_M}{68} \cdot \frac{k_H}{k_M}. \quad (18)$$

Если учесть, что  $\frac{V_M}{V_H} = \frac{1}{\sqrt{L}}$  [3], получим из (17)

$$\frac{k_H}{k_M} = \frac{\Pi_M + 68}{\Pi_M} L - \frac{68}{\Pi_M} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}} = L + \frac{68}{\Pi_M} \left( L - \frac{1}{\sqrt{L}} \right). \quad (17')$$

Полученные зависимости (15)–(18) полнее раскрывают взаимоотношения характеристик двух гидравлически подобных труб, ими удобно пользоваться при подборе материала модели и ее размеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. З е г ж д а А.П. Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей. — Л. —М., 1938.
2. Л е в и И.И. Моделирование гидравлических явлений. — Л., 1967.
3. А л ь т ш у л ь А.Д. Гидравлические сопротивления. — М., 1970.
4. И д е л ь ч и к Е.И. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — Л., 1975.
5. Гидравлические расчеты tunnelных и трубчатых водосборов гидроузлов/А.Ф.Б у р к о в, Р.С.Г а л ь п е р и н, М.Я. Г и л ь д е н б л а т и др. Под общ. ред. Ф.Г.Г у н ь к о. — Л., 1974.
6. О ф ф е н г е н д е н Ю.С. Формулы для гидравлического расчета пластмассовых труб. — Научные записки МГМИ, т. 32, 1968.
7. Ш е в е л е в Ф.А., Л о б а ч е в П.В., Р у д и н М.Я. Исследование гидравлических сопротивлений при движении воды по трубам из пластмасс. — Сб.тр.НИИ санитарной техники Академии строительства и архитектуры СССР, 1960, № 5.

УДК 626/627

В.Д.КЕРНИЦКИЙ, ст.инж. (ЦНИИКИВР)

#### ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРИ РАСЧЕТЕ СИФОННОГО ВОДОВЫПУСКА С ЗАРЯДНОЙ ТРУБКОЙ

Работа сифонного водовыпуска с зарядной трубкой [1] обусловлена захватом и выносом воздуха струей воды. Такое явление наблюдается и в других гидротехнических сооружениях. Однако до сих пор не имеется общего теоретического решения, описывающего все разнообразие условий захвата воздуха и движения азрированных потоков.

В связи с этим исследования гидротехнических сооружений обычно проводят на моделях, основываясь на законах динамического подобия. В случае

же двухфазного аэрированного потока, как отмечают ряд авторов [2–4], моделирование по критерию Фруда приводит к искажению результатов при пересчете опытных данных с модели на натуру.

Так, в ТНИИСГЭИ [4] проведены опыты по определению величины расхода воздуха, захватываемого струей в результате удара ее о поверхность воды в шахтном водосбросе. Опытные данные показали, что величина масштабного коэффициента для расхода захватываемого воздуха, в отличие от рассчитанного по критерию Фруда, определяется по формуле

$$\alpha_{Q_a} = P \alpha_1^{5/2}, \quad (1)$$

где  $P$  – поправочный коэффициент, который, по данным А.Г.Чанишвили [4] и В.А.Храпковского [3], зависит от высоты падения струи в шахте и масштабного коэффициента  $\alpha_1$ .

В сифонном водовыпуске с зарядной трубкой захват воздуха происходит также вследствие удара струи о противоположную стенку сифона и о "водяную подушку". Однако в отличие от шахтных перепадов аэрированная струя выносит воздух из полости сифона, создавая в нем разрежение, которое обуславливает подъем уровня воды в сифоне.

Для исследования процесса зарядки сифона были проведены опыты на модели водовыпуска с поперечным сечением сифона 7,5х7,5 см. (рис. 1).

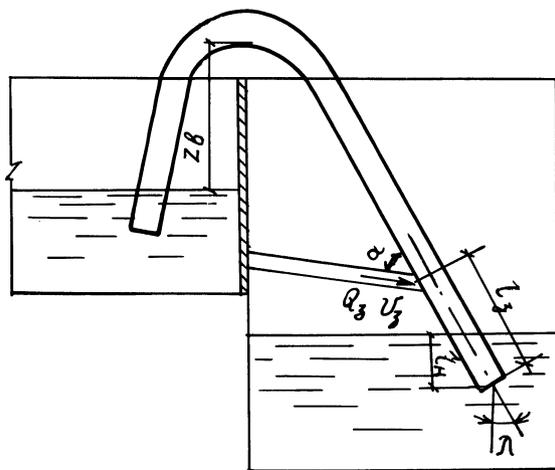


Рис. 1. Схема модели сифонного водовыпуска с зарядной трубкой.

Сифонная труба устанавливалась на опоре с возможностью изменения угла наклона низовой ветви к вертикали ( $\lambda = 0^\circ - 20^\circ$ ). Заглубление сифона под уровень нижнего бьефа ( $l_H$ ) изменялось в опытах от 2,5 до 20 см, а величина  $z_B$ , характеризующая превышение гребня сифона над уровнем воды верхнего бьефа, – от 25 до 60 см. Зарядная трубка подключалась к отдельному источнику воды и оснащалась задвижкой, позволяющей устанавли-

вать необходимый расход воды ( $Q_3 = 0,2 - 2 \text{ л/с}$ ). Выходной участок зарядной трубки был выполнен в виде металлического патрубка, который мог располагаться под различными углами ( $\alpha = 30^\circ - 90^\circ$ ) к сифонной трубе, а также с помощью вкладышей менять диаметр выходного сечения, что позволило при фиксированном расходе изменять скорость струи ( $V_3 = 0,5 - 4 \text{ м/с}$ ). Длину участка сифонной трубы от центра тяжести выходного сечения зарядной трубки до сечения сифона на выходе ( $l_3$ ) можно изменять с помощью специальной плиты от 25 до 50 см.

Анализ экспериментальных данных показал, что подъем уровня воды до отметки гребня в сифоне в процессе его зарядки может быть описан следующей зависимостью:

$$h = h_0 [1 - e^{-k(T + \tau)}], \quad (2)$$

где  $h = h_n + l_n$  — высота столба воды в низовой ветви сифона за время  $T + \tau$ ;  $h_n$  — высота подъема уровня воды в сифоне за время  $T$ ;  $h_0$  — высота столба воды в низовой ветви сифона, при которой прекратился вынос воздуха из полости сифона;  $k$  — характеристика интенсивности подъема уровня воды в процессе зарядки;  $\tau$  — время, которое было бы необходимо зарядной струе, чтобы обеспечить подъем уровня в сифонной трубе на высоту, численно равную  $l_n$ , если выходное сечение сифона расположено на уровне нижнего бьефа;  $T$  — время подъема уровня воды в сифоне.

Обобщение и анализ опытных данных позволили получить следующие эмпирические зависимости для определения величин  $h_0$  и  $k$  ( $l_3$  — в метрах,  $Q_3$  — в  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $V_3$  — в  $\text{м/с}$ ,  $\alpha$  и  $\lambda$  — в градусах):

$$h_0 = 4259,8\sqrt{l_3} \frac{1 + \cos^2(\alpha + \lambda) / 16 l_3^2}{1 + 16 l_3^2 \sin^2 \lambda} Q_3^{5/4} V_3^{1/4} \sigma; \quad (3)$$

$$k = \left[ \frac{0,0106}{\sqrt{l_3}} + \frac{11,31 Q_3}{\sqrt{l_3}} \left( 1 + \frac{\sqrt{2 V_3} \cos \alpha}{1,5} \right) \left( 1 + \frac{0,039 l_3 \sqrt{V_3} \sin \lambda}{\sqrt{Q_3}} \right) \right] \sigma', \quad (4)$$

где  $\sigma$  и  $\sigma'$  — коэффициенты, учитывающие изменение характера захвата и выноса воздуха струей при затоплении выходного сечения зарядной трубки.

Коэффициенты  $\sigma$  и  $\sigma'$  принимаются равными единице, если величина  $h_0$ , вычисленная по формуле (3) без учета  $\sigma$ , меньше  $l_3$ . В противном случае они определяются по формулам:

$$\sigma = \frac{0,001\sqrt{l_3}(1+4l_3 \sin^2 \alpha) [1 + 0,6(\cos^2 \alpha + \cos \alpha \sin \lambda)]}{Q_3 [1 + 0,354(\sqrt{V_3} + 4,52\sqrt{Q_3}) \cos^2 \alpha / l_3]}; \quad (5)$$

$$\sigma' = \sigma \left[ 1 + \frac{22930 Q_3^2 \cos \alpha}{l_3^2 \sqrt{V_3} (4,5\sqrt{Q_3} + 0,1V_3 \sqrt{\sin \lambda})} \right]. \quad (6)$$

Таким образом, используя полученные эмпирические зависимости, можно рассчитать время зарядки при известных параметрах модели сифона, которое связано с расходом воздуха, выносимого из полости сифона струей воды, следующим соотношением:

$$T = \frac{W_a}{Q_a}, \quad (7)$$

где  $W_a$  — объем воздуха в сифоне, выносимый из него струей воды в процессе зарядки;  $Q_a$  — средний расхода, выносимого из полости сифона. Тогда масштабный коэффициент времени  $a_T$  с учетом формулы (1) будет равен:

$$a_T = \frac{a_{W_a}}{a_{Q_a}} = \frac{a_1^3}{\rho a_1^{5/2}} = \rho' a_1^{1/2}. \quad (8)$$

Здесь  $a_1$  — масштаб длин при пересчете данных модели в натуру.

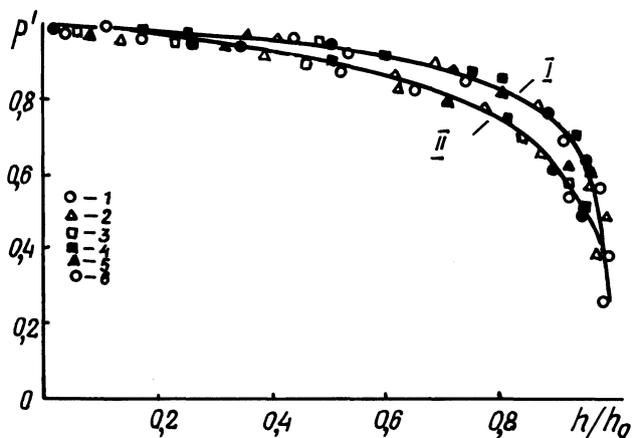


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента  $\rho'$  от отношения  $h/h_0$  при фиксированных параметрах модели: 1 —  $l_3 = 0,5$  м,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ; 2 —  $l_3 = 0,5$  м,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ; 3 —  $l_3 = 0,5$  м,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\lambda = 20^\circ$ ; 4 —  $l_3 = 0,5$  м,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\lambda = 20^\circ$ ; 5 —  $l_3 = 0,25$  м,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ; 6 —  $l_3 = 0,25$  м,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\lambda = 20^\circ$  (I — для масштаба  $a_1 = 2$ ; II — для масштаба  $a_1 = 4$ ).

Для определения поправочного коэффициента  $\rho'$  были проведены опыты на сифонах, геометрически подобных модели, поперечные сечения которых соответственно равны 15x15 и 30x30 см, т.е. по сравнению с исследованной моделью масштаб длин у них  $a_1 = 2$  и  $a_1 = 4$ . Во всех опытах параметры сифона и зарядной струи соответствовали условиям динамического подобия по критерию Фруда.

Анализ опытных данных показал, что величина поправочного коэффициента  $\rho'$  зависит от масштабного коэффициента  $a_1$  и от отношения  $h/h_0$ , вычисленного для модели. График этой зависимости приведен на рис. 2.

Она справедлива в том случае, когда характер истечения зарядной струи (незатопленное или затопленное истечение) одинаков для модели и природы. Однако в опытах, для которых отношение  $h/h_0$  модели находится в диапазоне от  $\bar{a}_1^{-1/4}$  до 1, характер истечения на модели и в природе различен, т.е. на модели имеет место незатопленное истечение зарядной струи, в природе — выходящее сечение зарядной трубки затоплено. Для учета подобного явления коэффициенты  $\bar{C}$  и  $\bar{C}'$  необходимо вычислять по формулам (5) и (6), несмотря на то, что истечение зарядной струи является незатопленным. Получаемая при этом величина  $h_0$  позволяет определять значение  $\rho'$  по графику, представленному на рис. 2.

Проведенные модельные исследования и полученные на их основе зависимости для определения величин  $h_0$  и  $K$ , а также график для определения величины поправочного коэффициента  $\rho'$  позволяют рассчитать параметры сифонного водовыпуска с зарядной трубкой при использовании его в водорегулирующих сооружениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 696095 (СССР). Водовыпускное устройство/Альферович А.Н. — Оpubл. в Б.И., 1979, № 41. 2. Евреенко Ю.П., Солнышков В.А. Моделирование потоков в сифонах. — Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура, 1974, № 1, с. 102. 3. Храповский В.А. Аэрация потока в типовых шахтных перепадах. В сб.: Гидравлика сооружений оросительных систем: Тр. НИМИ. — Новочеркасск, 1973, т. 15, вып. 5, с. 172. 4. Чанишвили А.Г. Масштабный эффект аэрации при моделировании гидротехнических сооружений. — Изв. ТНИИСГЭИ. Л., 1962, т. 14, с. 25.

УДК 626/627

М.К.ПОВАЛЯЕВ, мл. науч.сотр (ЦНИИКИВР)

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРЕПЛЕНИЕ ОТВОДЯЩЕГО РУСЛА ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ

Одной из возможностей совершенствования методов расчета жесткого крепления нижнего бьефа гидросооружений является учет динамического характера взаимодействия крепления с потоком и основанием [1, 2]. Это особенно важно при расчетах сборных креплений из элементов относительно малых плановых размеров и массы, которые вследствие своей малоинерционности в наибольшей степени испытывают воздействие пульсационной составляющей гидродинамической нагрузки.

Для расчета малоинерционных элементов сборного крепления предложен метод и получены зависимости [3], позволяющие определять толщину  $\delta$  элементов соответственно в случае прямого всплывания:

$$\delta = \frac{2S}{gb^2 \tau (\rho - \rho_B)} \quad (1)$$