

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЧАТОГО СИФОННОГО ВОДОСБРОСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЕГО РАБОТЫ

Е.А. Лентяева

(Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» Российской академии сельскохозяйственных наук, г. Москва, Российская Федерация)

Keywords: Siphon spillway, hydraulic calculation, throughput, duration of a transitive mode.

The summary: Calculation of throughput and modes of gymnastics of a tubular siphon spillway. The analysis of transients in a siphon spillway. Definition of duration of transitive operating modes.

Сифонные водосбросы ввиду простоты их конструкции, автоматичной и надежной работы, дешевизны широко применяются в разных отраслях. На гидротехнических узлах они используются в качестве основных водосбросных сооружений и для обеспечения непрерывной эксплуатации гидроузлов при их реконструкции в качестве временных водосбросов, а также часто используются в малой гидротехнике и мелиоративных системах сельского хозяйства.

В справочной литературе по гидротехническим сооружениям и гидравлическим расчетам сифонный водосброс представлен уже в заряженном режиме (то есть работающим как напорный водовод) и не рассматриваются переходные процессы, предшествующие зарядке.

Спецификой работы трубчатых сифонных водосбросов являются незначительные параметры струи в нижней части при малых напорах на гребне входного сечения трубы и низкая эффективность создания вакуума при отжиме струи к верхней части трубы. Следствием этого стала необходимость значительного подъема УВБ для зарядки трубчатого сифона. В этих условиях на первый план встает вопрос о времени его зарядки и максимальной величине подъема уровня верхнего бьефа (УВБ), обеспечивающего работу сифона полным сечением.

Изучая эти вопросы в ходе проведенных испытаний, были предложены теоретические обоснования гидравлических параметров для периодов работы сооружения, предшествующих зарядке трубчатого сифонного водосброса: режим водослива со свободным переливом воды; режим зарядки сифонного водосброса, который, в свою очередь, подразделяется на две фазы (сжатие воздуха в надструйном пространстве без его выноса гидравлическим прыжком с расходом $Q_{возд} = Q_{пр} = 0$ и с выносом воздуха гидравлическим прыжком, т.е. $Q_{возд} = Q_{пр} > 0$).

Для режима истечения со свободным переливом, используя формулы Штрауса для μ [1] и Зандена для расхода круглого отверстия в тонкой стенке [1], в нашей обработке расход может быть определен по зависимости:

$$Q = 15,2H^{1,79}d^{0,71} \quad (1)$$

где H – напор воды над нижней кромкой входного сечения сифона;

d – диаметр трубы сифона.

Время работы в этом режиме определяется по зависимости:

$$t_1 = 0,823d^{-0,25}U_{ББ}^{-0,64}W_1^{0,358}, \quad (2)$$

где W_1 – сумма объемов воды в капюшоне $W_{кап}$, в струе $W_{стр}$ и в ковше $W_{ков}$ на момент закрытия выходного сечения трубы сифона;

УВБ – скорость подъема уровня верхнего бьефа.

Для определения $W_{стр}$ необходимо построить кривые спада, определить изменение поперечного сечения струи, после чего может быть посчитан ее объем.

После закрытия выходного сечения трубы сифона и верхнего отверстия воздухоподводящей трубки увеличение объема струи вызывает сжатие воздуха в надструйном пространстве. Кроме того, начинается перелив воды по периметру выходного оголовка ковша с напором $H_{ков}$, который вызывает подъем уровня воды в нижней части струи и дополнительное сжатие воздуха на величину Δp .

Определить указанную величину из условия отсутствия выноса воздуха потоком за счет его защемления струей, втекающей в затопленную часть трубы и создающей гидравлический прыжок, можно по уравнению

$$\Delta p = \frac{2(W_0 - W_{cmp}) i \rho_{возд} g}{\pi d^2} \left[\sqrt{1 + \frac{\pi d^2 p_0 W_{cmp}}{\rho_{возд} g i (W_0 - W_{cmp})^2}} - 1 \right], \quad (3)$$

где W_0 – объем трубы сифонного водосброса;

i – уклон дна ковша;

$\rho_{возд}$ – плотность воздуха;

p_0 – атмосферное давление.

Давление Δp повышается до тех пор, пока не сравняется с давлением, производимым на выходное сечение трубы напором на гребне ковша, то есть $\Delta p = p_{возд} g H_{ков}$. В этот момент наступает III фаза работы сифона, когда увеличение объема струи производит выдавливание воздуха из надструйного пространства.

Для определения величины Δp в этот период получено уравнение:

$$\Delta p = - \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (4)$$

где

$$A = \left(\frac{\pi d^2}{4i \rho_{возд} g} - \frac{Q_{np} dt}{p_0} \right); \quad B = \left(W_0 + \frac{\pi d^2}{4i} \frac{p_0}{\rho_{возд} g} - 2Q_{np} dt - W_{cmp} \right); \quad C = p_0 (W_{cmp} - Q_{np} dt),$$

где Q_{np} – расход воздуха, выносимого гидравлическим прыжком.

Одновременно начинается заметный вынос воздуха из трубы сифона гидравлическим прыжком, который образуется в нижней части водосброса. Увеличивающаяся интенсивность выноса воздуха прыжком приводит к снижению Δp до нуля, а в дальнейшем к образованию вакуума. Следствием этого является резкое повышение расхода воды с лавинообразным выносом воздуха, который заканчивается зарядкой сифонного водосброса. График зависимости $\Delta p = f(t)$ представлен на рисунке.

В зависимости от трансформирующей способности водохранилища, вида гидрографа паводка и величины его максимального расхода в реальных условиях скорость подъема может колебаться в широких пределах. С целью выяснения влияния скорости подъема уровня верхнего бьефа на скорость зарядки сифона и величину максимального подъема УВБ на модели были проведены исследования зарядки сифона при скорости подъема УВБ 0,5; 1,9; 3,0 и 6,4 мм/мин.

За начало зарядки сифона в ходе исследовательской работы принимался момент появления первых пузырьков воздуха в ковше водосброса. Как показали ее результаты, при возрастании напора до H/d 0,5...0,55 график зависимости УВБ= $f(Q)$ не зависел от скорости подъема горизонта воды в водохранилище. Этот период работы сифона соответствовал I фазе сжатия воздуха в надструйном пространстве. При сопоставлении результатов теорети-

ческих расчетов и экспериментальных данных нами был сделан вывод о том, что при напоре $H > 0,4d$ необходимо учитывать повышение давления в надструйном пространстве трубы сифона.

После начала выноса воздуха потоком из зоны гидравлического прыжка интенсивность выноса зависит от скорости подъема уровня верхнего бьефа. При малой скорости подъема повышение давления в надструйном пространстве незначительно, в то время как объем выносимого воздуха возрастает пропорционально времени выноса и увеличению расхода воды.

При малой скорости подъема уровня верхнего бьефа зарядка сифонного водосброса происходит при напоре $H = (0,57 \dots 0,58) d$. При скорости подъема 6,4 мм/мин зарядка сифона происходит при $H = 0,73d$. В этом случае быстрое нарастание объема струи в трубе приводит к повышению давления в надструйном пространстве и уменьшению действующего напора на пороге входного сечения трубы, определяемого уровнем воды в капюшоне.

После зарядки сифонный водосброс работает полным сечением в широком диапазоне напоров. Коэффициент расхода сифона μ находился в диапазоне 0,59...0,61 и соответствовал коэффициенту шероховатости $n = 0,011$ для пластиковых труб при коэффициенте Кориолиса $\alpha = 1,1$ в выходном сечении трубы.

Одним из важнейших параметров, определяющих работу сифонного водосброса, является величина максимального вакуума. Важность этого параметра, особенно для трубчатых сифонов, заключается в определении максимальных допустимых перепадов уровней в верхнем бьефе и шельги выходного сечения трубы, а также в определении распределения величины разрежения в капюшоне.

В последнем случае вакуум создает внешние нагрузки на капюшон, которые, учитывая его низкую жесткость по сравнению с сифонами, выполненными из железобетона, могут быть опасными с точки зрения устойчивости стенок. Максимальный статический вакуум на изучаемой модели достигал 0,25 м, что составляло 0,5z действующего напора заряженного сифона.

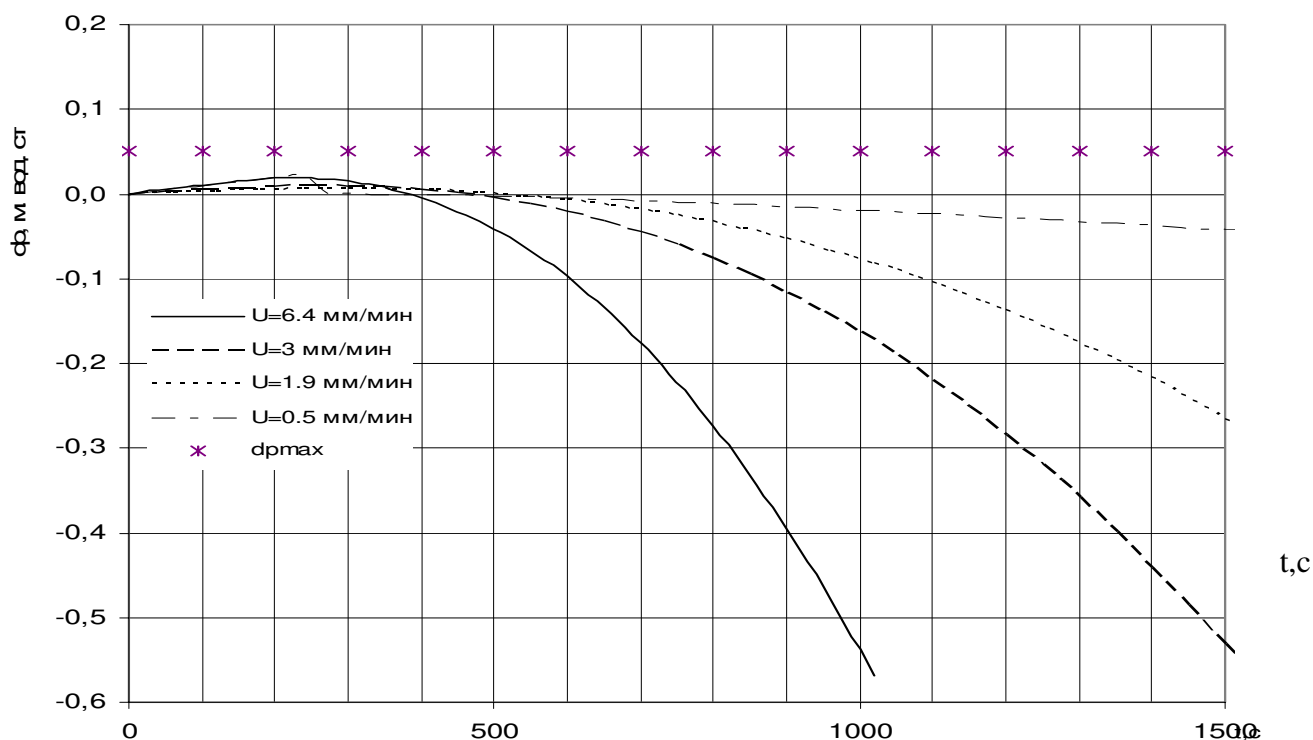


График изменения давления в зависимости от времени и скорости подъема УВБ, $dP=f(t)$

Величина максимального вакуума в значительной степени зависит от высотного положения шельги входного сечения трубы над уровнем верхнего бьефа (статический вакуум) и скоростного напора в трубе (динамический вакуум). Если с учетом пульсации давления допустить максимальную величину вакуума 6,0 м вод. ст., то, учитывая экспериментальные данные, трубчатые сифонные водосбросы можно использовать при напорах на гидроузлах до $H_{гу} = 06,0/0,5 = 12$ м. Полученные данные изменения вакуума в капюшоне позволяют построить эпюры нагрузок на его боковые стенки и произвести расчет на прочность и устойчивость.

Литература

1. Павловский Н.Н. Гидравлический справочник. М., 1937. 891 с.
2. Лентяева Е.А. Научное обоснование гидравлических параметров металлических сифонных водосбросов низконапорных гидроузлов: автореф. дис....канд. техн. наук. М., 2007.