

Коэффициент лобового давления изменялся от 0,011 до 0,06 (по Ю.П.Правдивцу [2], - 0,10) для вышеприведенных относительных ширин шва при изменении  $Fr = 6,0 \div 22,0$ .

#### Л и т е р а т у р а .

1. Гидротехнические сооружения (в двух частях): Учебник для студентов вузов / Под ред. М.М.Гришина. - М.,: 1979, ч. 1.
2. Правдивец Ю.П. Конструирование гибких защитных покрытий рисберм и откосов. - Энергетическое строительство, 1978, № 6, с. 61-64.
3. Модзалевский А.И. К расчету пульсации давления на плиты сборных железобетонных быстротоков. - В сб.: Гидравлика и гидротехника. Киев, 1968, вып. 7, с. 59-65.
4. Рекомендации по определению гидродинамических нагрузок, воздействующих на плиты водобоев и рисберм водосливных плотин. - Л., 1979.
5. Пульсация давления в точках водобоя по данным измерений в натуре и на модели / В.М.Лятхер, Н.В.Халтурина, Л.В.Смирнов, Н.Н.Князева. - Тр. гидропроекта, - М., 1963, т. 10, с. 25-48.
6. Лятхер В.М., Халтурина Н.В., Божич Л.И. Пульсация давления под плитами крепления за водосливной плотиной. - Там же, с. 49-68.
7. Беляшевский Н.Н., Пивовар Н.Г., Калантиренко И.И. Расчеты нижнего бьефа за водосливными сооружениями на скальных основаниях. - Киев, 1973.
8. Гвазава Г.Н. К вопросу устойчивости жестких плит водобоя и шашечных гасителей энергии в нижнем бьефе высоконапорных водосбросных сооружений. - Тр. координац. совещ. по гидротехнике "Гидравлика водонапорных водосбросных сооружений". - Л., 1975, с. 226-231.

УДК 626/627

М.К.Поваляев, асп. (ЦНИИКИВР)

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СБОРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ОТВОДЯЩЕГО РУСЛА ЗА ВОДОВЫПУСКАМИ

Опыт проектирования и эксплуатации водовыпускных сооружений показывает, что нередко одной из основных причин их неудовлетворительной работы является нарушение устойчивости сборного крепления отводящего русла [1, 2]. Поэтому при массовом строительстве подобных сооружений актуальны вопросы совершенствования методов расчета сборных креплений.

Креплениям из сборных элементов относительно малых плановых размеров и массы в литературе уделено мало внимания. Однако установлено, что для расчета устойчивости таких эле-

ментов определяющим следует считать влияние пульсационной составляющей суммарного гидродинамического воздействия [3]. В то же время в проектной практике размеры элементов подобных креплений или назначаются конструктивно, или рассчитываются методами, не учитывающими характерные особенности самого крепления и условий его работы. К такого рода особенностям прежде всего можно отнести сравнительно малую инерционность сборных элементов и специфический характер воздействия пульсационной составляющей суммарной гидродинамической нагрузки. Последнее проявляется, во-первых, в непрерывном изменении координат точки приложения нагрузки [4, 5], а во-вторых, в дискретном, зависимом от частотных характеристик гидродинамического процесса воздействии возмущающих импульсов.

В известных методах расчета устойчивости креплений, основанных на рассмотрении статического нагружения плит суммарной гидродинамической нагрузкой [6], не представляется возможным учесть отмеченную специфику. При рассмотрении статического нагружения обычно составляются уравнения равновесия удерживающих и возмущающих нагрузок или их моментов относительно ребра рассчитываемого элемента:

$$R_{уд} = R_{возм}, \quad (1)$$

где  $R_{уд}$  и  $R_{возм}$  — соответственно результирующие удерживающих и возмущающих нагрузок.

Умножив обе части уравнения (1) на величину произвольного отрезка времени  $\tau$ , получим выражение (2), также представляющее условие устойчивости рассматриваемого элемента крепления:

$$R_{уд} \tau = R_{возм} \tau. \quad (2)$$

На рис. 1 представлены схемы процессов изменения во времени удерживающих и возмущающих нагрузок. Произведения, стоящие в обеих частях уравнения (2), выражаются площадями заштрихованных фигур, которые представляют собой импульсы расчетных нагрузок  $R_{расч}$  или  $R'_{расч}$ . При этом выбор  $R_{расч}$  соответствует расчету устойчивости по осредненным нагрузкам, а  $R'_{расч}$  — расчету устойчивости с учетом пульсационной составляющей нагрузки.

Из рисунка видно, что если расчетная величина импульса удерживающей нагрузки зависит только от выбранной его продолжительности  $\tau$ , то фактическая величина импульса возмущающей нагрузки зависит, кроме того, и от характера изменения самой нагрузки. Поэтому, при выбранных расчетных значениях нагрузок  $R_{расч}$  и  $R'_{расч}$  фактические величины импульсов удерживающих и возмущающих нагрузок не равны в обоих расчет-

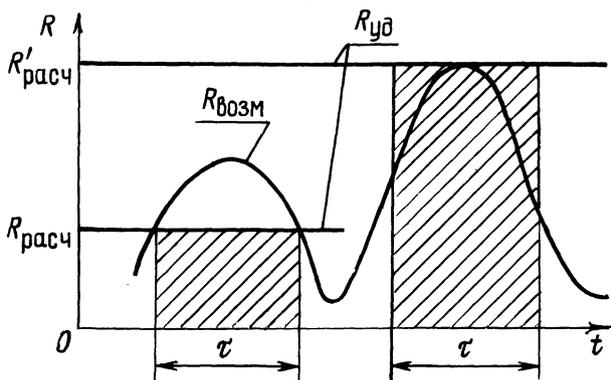


Рис. 1. Схема процессов воздействия на элемент крепления удерживающих и возмущающих нагрузок

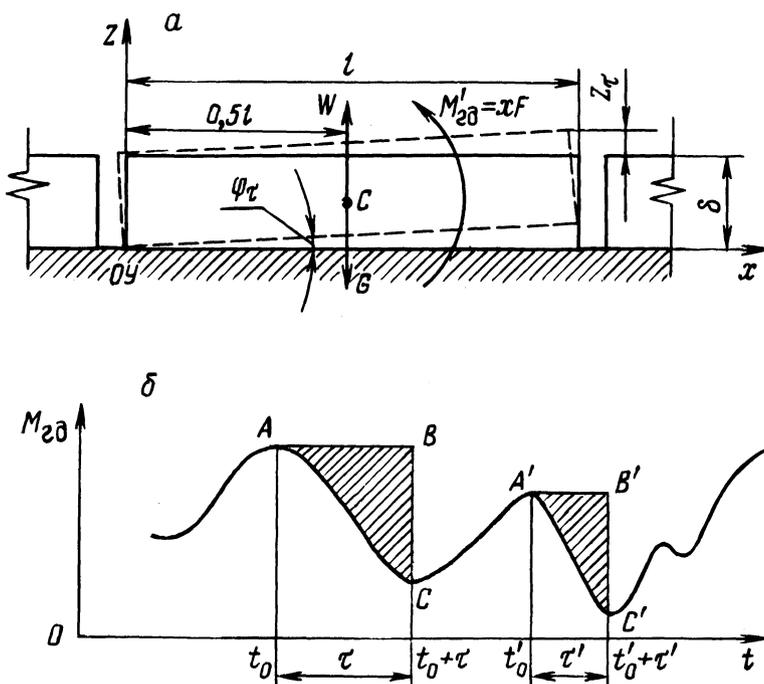


Рис. 2. Расчетные схемы:

а — элемента сборного крепления; б — процесса изменения момента  $M_{20}$  возмущающего воздействия.

ных случаях. Это является причиной внесения погрешности в результат расчета при приравнении рассмотренных динамической и статической нагрузок.

В отличие от известных, предлагаемый метод расчета устойчивости элементов сборного крепления относительно малых плановых размеров и массы основывается на рассмотрении воздействия на элемент крепления импульса момента расчетной пульсационной составляющей суммарной гидродинамической нагрузки. Такой подход позволяет учесть как характерные особенности самого крепления, так и специфику динамического воздействия возмущающей нагрузки.

Поскольку рассматривается сборное крепление, то из расчетных случаев нарушения устойчивости [6] представляется возможным ограничиться рассмотрением прямого всплывания и опрокидывания.

В качестве расчетной принята схема опрокидывания свободно лежащего, не связанного с грунтом элемента крепления вокруг одного из нижних ребер (рис. 2, а), как более общая, где  $O$  — центр выбранной системы координат, совпадающий с серединой нижнего ребра элемента;  $z_{\tau}$  — наибольшее допустимое поднятие рассматриваемого элемента крепления под воздействием расчетного импульса момента возмущающего воздействия продолжительностью  $\tau$ ;  $\varphi_{\tau}$  — угол поворота элемента, соответствующий  $z_{\tau}$ ;  $l$  и  $\delta$  — длина и толщина элемента крепления соответственно;  $G$  и  $W$  — вес и выталкивающая сила;  $F$  — расчетная пульсационная составляющая суммарной гидродинамической нагрузки (пульсационный дефицит), создающая относительно оси  $OY$  вращающий момент  $M_{ГД}$ ;  $x$  — переменная координата точки приложения  $F$ . Более общий характер принятой расчетной схемы вытекает из того факта, что случай прямого всплывания возможен лишь при равенстве переменной координаты  $x$  половине длины элемента ( $x = \frac{1}{2}$ ), что является лишь одним из возможных ее значений в диапазоне изменения от 0 до 1.

Для вывода расчетных зависимостей используется теорема об изменении кинетического момента системы для плоской задачи [7]:

$$\frac{dL_y}{dt} = \sum_{i=1}^n (x_i Z_i^B - z_i X_i^B), \quad (3)$$

где  $L_y$  — момент количества движения (кинетический момент) системы относительно оси  $OY$  (см. рис. 2, а);  $t$  — время;  $X_i^B$  и  $Z_i^B$  — проекции внешних действующих сил на координатные оси  $OX$  и  $OZ$  соответственно;  $x_i$  и  $z_i$  — координаты точек приложения сил.

Учитывая относительно малые плановые размеры и малую инерционность элементов сборного крепления, можно отнести влияние сил сопротивления и инерционных сил в запас устойчивости. Тогда уравнение (3) после подстановки известных сил принимает вид:

$$\frac{dL_y}{dt} = xF - \frac{1}{2} G + \frac{1}{2} W. \quad (4)$$

Под воздействием процесса изменения момента возмущающего воздействия, схема которого представлена на рис. 2, б, элемент крепления совершает вынужденные колебания. Возмущающий процесс в данном случае представляет собой чередование возмущающих и удерживающих импульсов. Нарушение устойчивости есть результат воздействия возмущающего импульса достаточной величины (т. е. расчетного) продолжительностью  $\tau$ . Поэтому нет необходимости рассматривать весь колебательный процесс, а достаточно ограничиться его рассмотрением на отрезке указанной продолжительности.

Следовательно, при выборе величины  $\tau$ , не превышающей полупериода одного колебания элемента, колебательное движение сводится в зависимости от  $x$  (см. рис. 2, а) к поступательному ( $x = \frac{1}{2}$ ) или вращательному ( $x \neq \frac{1}{2}$ ). Принятые в данном случае для малоинерционных элементов допущения позволяют существенно упростить интегрирование уравнения (4) и определить пределы интегрирования от  $t_0 = 0$  до  $t_0 + \tau$  (см. рис. 2, б).

Рассмотрим два случая: 1)  $x = \frac{1}{2}$ , что соответствует прямому всплыванию элемента; 2)  $x$  принимает любые значения в диапазоне от 0 до 1, что соответствует опрокидыванию элемента вокруг одного из нижних ребер.

Подставим в уравнение (4) известные значения кинетического момента, равного для плоской задачи [7]  $L_y = I_y \omega_y$  (где  $I_y$  - момент инерции элемента относительно оси  $OY$ , равный  $\frac{\rho l^3 b \delta}{3}$ ;  $\omega_y$  - проекция на ось  $OY$  вектора угловой скорости, равная  $\frac{d\varphi}{dt}$ ), а также значения веса и выталкивающей силы, равных соответственно  $G = \rho g b l \delta$  и  $W = \rho_B g b l \delta$  ( $\rho$  и  $\rho_B$  - плотности материала элемента крепления и воды соответственно;  $b$  - ширина элемента крепления;  $g$  - ускорение свободного падения).

После подстановки перечисленных выше величин и алгебраических преобразований, интегрируя дифференциальное уравнение (4), получим расчетные зависимости для определения толщины  $\delta$  элементов сборного крепления в случае прямого всплывания:

$$\delta = \frac{2S}{gbl^2\tau(\rho - \rho_B)} \quad (5)$$

и в случае опрокидывания вокруг одного из нижних ребер:

$$\delta = \frac{D}{\left[ \frac{\rho l^3}{3} \arcsin\left(\frac{z\tau}{l}\right) + g\left(\frac{l\tau}{2}\right)^2 (\rho - \rho_B) \right]}, \quad (6)$$

где  $S$  - расчетный импульс момента пульсационной составляющей суммарной гидродинамической нагрузки, выражаемой формулой

$$S = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} M'_{гд}(t) dt; \quad (7)$$

$D$  - величина, характеризующая действие расчетного импульса и определяемая по формуле

$$D = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} S(t) dt; \quad (8)$$

$\tau$  - продолжительность расчетного импульса.

Таким образом, величина расчетного импульса момента пульсационной составляющей суммарной гидродинамической нагрузки, выражаемого формулой (7), определяется площадью фигуры ABC (см. рис. 2, б). Величина продолжительности  $\tau$  расчетного импульса принимается равной длине полупериода одного колебания элемента, а  $D$  определяется по формуле (8).

Использование описанного метода в практических расчетах предполагает наличие данных об изменении параметров  $z\tau$ ,  $S$ ,  $D$ ,  $\tau$ , входящих в расчетные зависимости (5) и (6). Очевидно, на современном уровне развития гидродинамических исследований получение этих данных наиболее реально экспериментальным путем. Практически они могут быть определены с помощью методов численного интегрирования при обработке реализаций процесса гидродинамического воздействия потока на элемент крепления.

Для определения указанных параметров на специальной установке, смонтированной в остекленном гидравлическом лотке, при напорном режиме в водовыпускной трубе в условиях плоской задачи была проведена серия экспериментов. Принцип действия экспериментальной установки аналогичен использованному в исследованиях Г.А.Юдицкого [8]. Однако установка имеет некоторые конструктивные отличия. В частности, применение высокочувствительных тензорезисторных преобразователей позволило

совместить ось рычажной измерительной системы с нижним ребром плиты, воспринимающей гидродинамическое воздействие. Это обеспечило возможность непосредственной регистрации момента указанного воздействия.

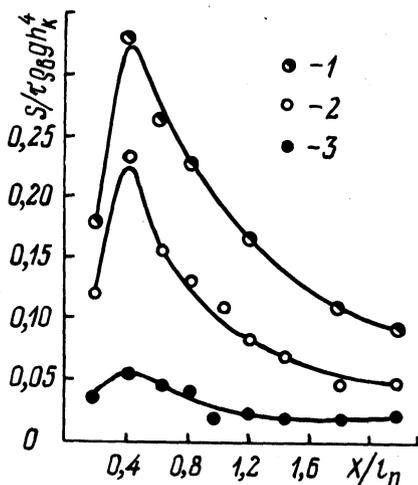


Рис. 3. Изменение возмущающего воздействия потока на элементы крепления нескольких относительных размеров при  $Fr_1 = 9,0$ :

$\frac{l}{l_n} = 0,40$  (1);  $0,30$  (2);  $0,20$  (3).

На рис. 3 по полученным экспериментальным данным показано изменение безразмерной величины  $\frac{S}{\tau_B g h_K^4}$ , характеризующей возмущающее воздействие потока на элементы крепления нескольких относительных размеров  $\frac{l}{l_n}$  при параметре кинетичности  $Fr_1 = 9,0$ , где  $l$  и  $l_n$  — соответственно длина элемента крепления и гидравлического прыжка в критическом положении;  $X$  — удаление центра элемента крепления от выходного сечения подовыпуска;  $h_K$  — критическая глубина.

Полученные экспериментальные данные позволяют произвести предварительную количественную оценку изменения расчетной толщины элементов сборного крепления при учете динамического характера возмущающего воздействия.

Преобразуем уравнение (1) в равенство удерживающих и возмущающих моментов относительно нижнего ребра элементов крепления:

$$(G - W) \frac{l}{2} = M_{гд}^1 \quad (9)$$

Когда расчетная толщина  $\delta$  элемента, определяемая известным методом, т. е. соответствующая статическому нагружению элемента, после решения уравнения (9) выразится:

$$\delta = \frac{2M'_{ГД}}{gbl^2(\rho - \rho_B)}. \quad (10)$$

Сопоставление толщин сборного крепления, рассчитанных по формуле (10) и предлагаемым методом, т. е. по формулам (5) или (6), представлено в табл. 1, где  $\delta_5$ ,  $\delta_6$  и  $\delta_{10}$  — расчетные толщины, соответствующие указанным формулам.

Из анализа данных табл. 1 очевидно, что при исследованном параметре кинетичности  $Fr_1 = 9,0$  учет динамического характера возмущающего воздействия пульсационной составляющей суммарной гидродинамической нагрузки приводит к существенному изменению расчетной толщины крепления по сравнению с толщиной, вычисленной в предположении статического нагружения элемента крепления той же составляющей нагрузки ( $\frac{\delta_5}{\delta_{10}} \neq 1$ ;  $\frac{\delta_6}{\delta_{10}} \neq 1$ ).

Изложенное приводит к выводу, что вопрос учета динамического характера возмущающего воздействия для расчета устойчивости рассмотренных креплений актуален и требует дальнейшего исследования во всем практическом диапазоне изменения  $\frac{1}{l_{п}}$  и  $Fr_1$ .

Табл. 1. Соотношение толщин элементов сборного крепления, рассчитанных предлагаемым и известным методами

$\frac{X}{l_{п}}$	$\delta_5 / \delta_{10}$			$\delta_6 / \delta_{10}$		
	$\frac{1}{l_{п}} = 0,4$	$\frac{1}{l_{п}} = 0,3$	$\frac{1}{l_{п}} = 0,2$	$\frac{1}{l_{п}} = 0,4$	$\frac{1}{l_{п}} = 0,3$	$\frac{1}{l_{п}} = 0,2$
0,2	1,11	0,72	0,90	1,53	1,29	1,24
0,4	1,39	1,49	1,37	1,56	1,36	1,47
0,6	1,31	1,25	1,18	1,18	1,19	1,40
0,8	1,33	1,02	1,35	1,24	1,01	1,48
1,0	1,36	0,89	1,55	1,48	1,08	1,55
1,2	1,15	1,17	1,52	1,25	1,55	1,43
1,4	1,23	1,06	1,26	1,36	1,52	1,47
1,8	1,19	0,74	1,17	1,27	0,95	1,56
2,2	0,90	0,96	0,70	1,13	1,42	1,30

## Л и т е р а т у р а

1. Алиев Э.Д., Мариупольский А.Л. Опыт эксплуатации типовых трубчатых сооружений на оросительных системах. — Гидротехника и мелиорация, 1973, № 6. 2. Овчаренко И.Х., Шемякин Ю.К. О некоторых недостатках работы трубчатых сооружений на оросительных каналах. — Научные исследования по гидротехнике в 1973 году. — Л., 1974, т. 1. 3. Беляшевский Н.Н., Пивовар Н.Г., Калантыренко И.И. Расчеты нижнего бьефа за водосбросными сооружениями на нескальных основаниях. — Киев, 1973. 4. Юдицкий Г.А. Учет пульсационных нагрузок при расчете плит водобоя на всплытие. — Изв. ВНИИГ, 1965, т. 77. 5. Юдицкий Г.А., Исаев А.А. О моментах расчетных пульсационных нагрузок, действующих на плиты водобоев водосливных плотин. — Изв. ВНИИГ, 1971, т. 97. 6. Рекомендации по определению гидродинамических нагрузок, воздействующих на плиты водобоев и рисберм водосливных плотин. — Л., 1979. 7. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. — М., 1977, т. II. 8. Юдицкий Г.А. Пульсация гидродинамической нагрузки на плиты водобоя и рисбермы в условиях пространственной задачи. — Изв. ВНИИГ, 1963, т. 73.

УДК 626/627

В.Д.Керницкий, ст. инж. (ЦНИИКИВР)

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИФОННОГО ВОДОВЫПУСКА С ЗАРЯДНОЙ ТРУБКОЙ

В последние годы все большее внимание уделяется автоматизации водорегулирующих сооружений и систем при значительном территориальном рассредоточении объектов регулирования, на которых целесообразно применение гидравлических средств автоматизации.

Рациональным типом автоматических устройств для забора воды из источников и водорегулирования в каналах являются сифонные регуляторы. Среди них известны и такие, в которых гребень сифона расположен выше уровня воды в источнике (верхнем бьефе). Однако в этих устройствах зарядка сифона производится с помощью дополнительных технических средств, в частности зарядной камеры [1]. В ЦНИИКИВР разработана конструкция водовыпуска с зарядной трубкой [2], обеспечивающая автоматическое регулирование забора воды из источника. Зарядная трубка присоединена к нижней ветви сифона, сообщается с верх-