

та в натурные значения параметров функции отклика представляет собой полином

$$\xi_{\text{СТ}} = 0,24 + (0,02 - 16,64 \frac{h_{\text{СТ}}}{a} + 1,63 \frac{h}{h_{\text{СТ}}}) \frac{l_{\text{СТ}}}{p} + 25,32 \frac{h_{\text{СТ}}}{a} - 2,48 \frac{h}{h_{\text{СТ}}}. \quad (3)$$

Обработка результатов экспериментов велась с помощью методов математической статистики. Проверка на воспроизводимость осуществлялась по критерию Кохрена, на значимость — по критерию Стьюдента, на адекватность — по критерию Фишера при вероятности превышения 0,05 [3]. Все проверки выполняются, т.е. полученные уравнения адекватно описывают исследованные процессы.

Использование методов планирования эксперимента позволило исключить из рассмотрения параметры, не оказывающие существенного влияния на гидравлику сооружения, а также учесть взаимное влияние факторов друг на друга, что при использовании других методов исследования сделать затруднительно. Представленные выше зависимости (1), (2) и (3) показывают в явном виде влияние геометрических размеров сооружения и потока на гидравлические параметры, что важно при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а т и л л о С.П., Ф и л и п п о в и ч И.В. О целесообразности применения треугольной и полукруглой геометрических форм трубчатых водосбросов. — Докл. ВАСХНИЛ, 1981, № 1, с. 38–40.
2. Г а т и л л о С.П., Ф и л и п п о в и ч И.В. Применение тонких водосливных стенок на трубчатых водосбросных сооружениях. — Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11, с. 105–109.
3. В о з н е с е н с к и й В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. — М., 1974. — 192 с.
4. Р о з а н о в Н.П. Гидравлические расчеты водопропускных труб. — М., 1979. — 72 с.

УДК 626/627

М.К.ПОВАЛЯЕВ (ЦНИИКИВР)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ СБОРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ НИЖНЕГО БЬЕФА

При расчете устойчивости жестких креплений нижнего бьефа гидротехнических сооружений на воздействие гидродинамической нагрузки требуется определять параметры ее пульсационной составляющей. Воздействие последней на массивные плиты водобоев и рисберм значительных плановых размеров относительно невелико и не превышает 5–10 % от воздействия осредненной составляющей [1], для сборных же креплений из элементов небольших плановых размеров и массы (малоинерционных) оно является основным возмущающим фактором; для определения его расчетных параметров необходим специальный анализ.

Используем метод, предложенный для динамического расчета устойчивости малоинерционных сборных элементов [2], частота собственных колебаний которых на порядок и более превышает частотный диапазон спектра пульсации гидродинамической нагрузки. Согласно этому методу, в качестве основного возмущающего фактора воздействия потока на крепление принимается импульс S момента $M'_{ГД}$ – пульсационного дефицита суммарной гидродинамической нагрузки, определяемый зависимостью

$$S = \int_{t_0}^{t_0+\tau} M'_{ГД} dt, \quad (1)$$

где t_0 и τ – соответственно начальный момент и продолжительность действия импульса S . Тогда задача заключается в определении расчетной величины момента пульсационного дефицита и зависимых от него параметров расчетного импульса.

Рассмотрим схему гидродинамического воздействия потока на элемент крепления (рис. 1, а). Здесь $M_{ГД}$ – момент суммарной гидродинамической нагрузки на элемент относительно одного из нижних поперечных к потоку ребер; \bar{M} , M_{\max} и M_{\min} – соответственно среднее и экстремальные значения случайной функции $M_{ГД} = f(t)$; $M_{П}$ – момент суммарной нагрузки со стороны подплитной зоны относительно того же ребра; t – время. Ввиду недостаточной изученности явления проникновения пульсаций со стороны потока через раскрытые швы в подплитную зону принимаем допущение, что $M_{П}$ не изменяется во времени и соответствует своему максимуму. Возможные его отклонения от максимума будут относиться к запасу устойчивости. Тогда в общем случае момент $M'_{ГД}$ пульсационного дефицита определяется изменением гидродинамического воздействия только со стороны потока и выражается зависимостью

$$M'_{ГД} = M_{П} - M_{ГД}. \quad (2)$$

В выбранный начальный момент времени t_0 (см. рис. 1, а) устойчивость элемента крепления обеспечена, так как $M_{П} = M_{ГД}$ и пульсационный дефицит по формуле (2) $M'_{ГД} = 0$. В интервале от t_0 до t_1 , когда гидродинамическое воздействие со стороны потока снижается, пульсационный дефицит возрастает. В результате на элемент действует возмущающий импульс (со знаком "+"), достигающий своего максимума в момент t_1 . С t_1 , когда $M_{ГД}$ начинает повышаться, пульсационный дефицит снижается; элемент испытывает воздействие удерживающего (со знаком "-") импульса; потеря устойчивости невозможна до интервала действия следующего возмущающего импульса и т.д. Таким образом, при заданном уровне подплитного воздействия расчет устойчивости можно было бы производить на одиночный возмущающий импульс, принимая в качестве расчетного его максимальное зарегистрированное значение.

Из рассмотренной схемы следует, что процесс гидродинамического воздействия на элемент крепления представляет собой чередование различных по абсолютной величине возмущающих и удерживающих импульсов. Тогда, по-видимому, не исключено, что суммарный эффект может оказаться зависимым от соотношения величин чередующихся импульсов, т.е. от импульсной

структуры процесса. Например, если между двумя последовательными возмущающими импульсами отмечается удерживающий импульс несоизмеримо меньшей величины, то расчет на одиночный импульс неправилен: воздействие предыдущего возмущающего импульса может оказаться усиленным последующими импульсами. Следовательно, в данном случае при расчете устойчивости элемента необходимо было бы учитывать некоторую группу последовательных импульсов. Используемый здесь метод [2] позволяет проверить это предположение.

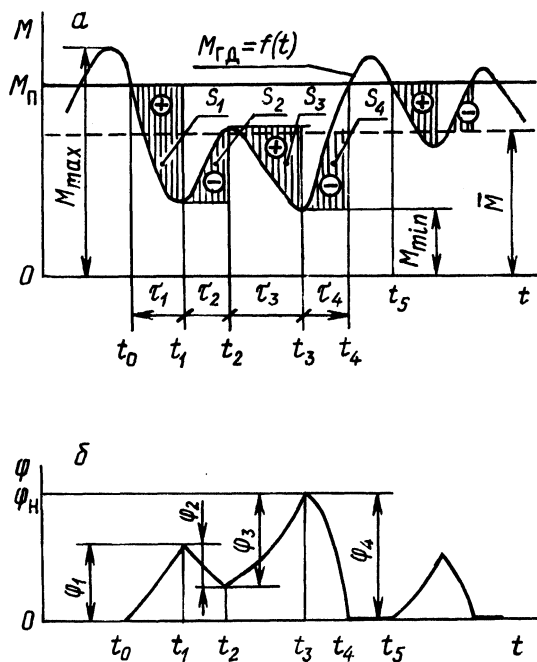


Рис. 1. Схемы: а – гидродинамического воздействия на элемент крепления; б – угловых перемещений элемента.

Рассмотрим представленную на рис. 1, б схему угловых перемещений элемента крепления, испытывающего гидродинамическое воздействие, показанное на рис. 1, а, где φ – угол поворота элемента относительно нижнего поперечного к потоку ребра. При этом ограничимся частотной областью квазистатического воздействия, что позволяет пренебречь силами инерции [2].

За время τ_1 первого возмущающего импульса S_1 (см. рис. 1, а) угол поворота элемента составит φ_1 . Поскольку, как показано на схеме, следующий удерживающий импульс S_2 по абсолютной величине меньше, чем S_1 , то и соответствующий ему угол обратного поворота φ_2 (см. рис. 1, б) будет меньше, чем φ_1 . Следовательно, к моменту t_2 элемент не успевает вернуться в исходное горизонтальное положение, а очередной возмущающий импульс S_3 доведет поворот элемента до угла, равного алгебраической сумме углов $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. И это до тех пор, пока очередной удерживающий импульс (в данном случае

S_4) не превысит по абсолютной величине суммарное, накопленное до него возмущающее воздействие, а элемент не вернется в исходное положение. Тем самым ограничивается количество ($n = 3$) импульсов в рассмотренной группе. Таким образом, в данном случае расчет устойчивости следовало бы производить на возмущающее воздействие этого накопленного импульса S_H , способного вызвать поворот элемента на угол φ_H (см. рис. 1, б) и равного по величине алгебраической сумме n одиночных возмущающих и удерживающих импульсов, входящих в группу:

$$S_H = \sum_{i=1}^n S_i, \quad (3)$$

где S_i — величина одиночного импульса, рассчитываемая по зависимости (1).

Приведенный анализ показывает, что при расчете устойчивости малоинерционных элементов крепления необходимо рассматривать два возможных варианта определения расчетных параметров гидродинамического воздействия. В первом варианте в качестве расчетных принимаются параметры одиночного максимального возмущающего импульса, во втором — максимального накопленного импульса, эквивалентного группе последовательных одиночных импульсов. Для выбора того или иного варианта необходимы фактические реализации гидродинамического воздействия $M_{ГД} = f(t)$.

Такие реализации были получены экспериментальным путем [3]. При их обработке для нескольких задаваемых уровней подплитного воздействия $M_{П}$ (см. рис. 1, а) измерялись максимальные значения момента $M'_{ГД}$ пульсационного дефицита, а по зависимостям (1) и (3) определялись параметры одиночных и накопленных импульсов, из которых затем выбирались их максимальные значения. По этим данным рассчитывались значения коэффициента динамичности K возмущающего воздействия, который можно выразить отношением толщины элемента крепления, рассчитанной предложенным методом [2], на величину возмущающего импульса (т.е. динамически), к толщине, рассчитанной, как это принято в практике [4], статически на величину момента пульсационного дефицита.

На рис. 2, а представлены осредненные значения K на послепрыжковом участке, в пределах которого обычно устраивается сборное крепление. На рис. 2, б и в приведены значения K , полученные для сечений с наибольшей интенсивностью гидродинамического воздействия на участке гидравлического прыжка. Расчеты произведены для двух рассмотренных выше вариантов определения параметров расчетного импульса и при двух граничных уровнях подплитного воздействия: 1) при $M_{П} = M$ (см. рис. 1, а), что соответствует нормальному состоянию швов между элементами и отсутствию возможности проникновения пульсаций со стороны потока в подплитную зону; 2) при $M_{П} = M_{\max}$, что соответствует раскрытым швам и свободному проникновению пульсаций под крепление. Результаты представлены в координатах Fr_1 и $l/l_{П}$ (где Fr_1 — число Фруда в сжатом сечении; l и $l_{П}$ — соответственно длина элемента крепления и гидравлического прыжка), поскольку параметры S и $M'_{ГД}$, использованные при определении K , в свою очередь являются функциями Fr_1 и $l/l_{П}$ [3].

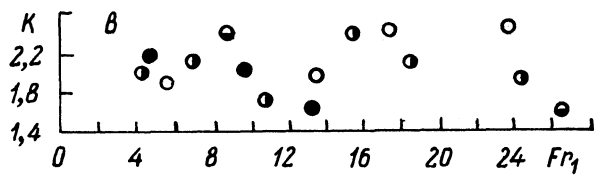
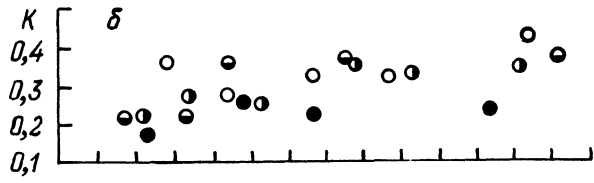
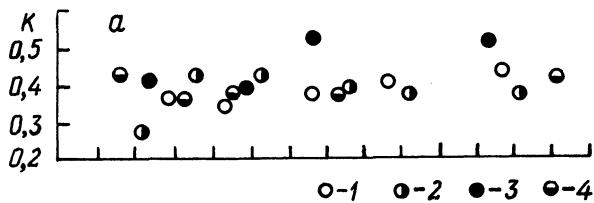


Рис. 2. Результаты определения коэффициента динамичности K возмущающегося потока на элемент крепления: а – на послепрыжковом участке при $M_{II} = M$ для обоих вариантов воздействия; б – на участке прыжка при $M_{II} = M_{\max}$ для варианта воздействия одиночного максимального импульса; в – на участке прыжка при $M_{II} = M_{\max}$ для варианта воздействия группы последовательных импульсов: 1/1_п = 0,1 (1); 0,2 (2); 0,3 (3); 0,4 (4).

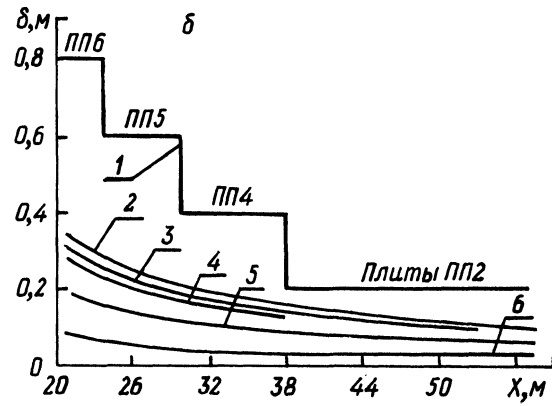
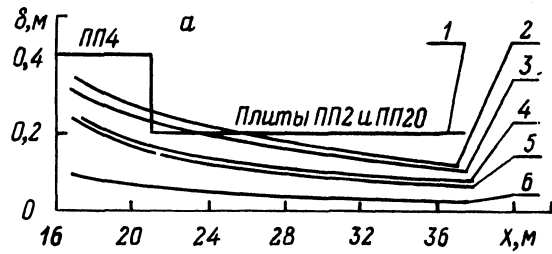


Рис. 3. Сопоставление толщин δ сборного крепления для паводковых водосбросов: а – на объекте "Гердутишки", б – на р. Лань [5]; 1 – запроектированная, 2 – рассчитанная по данным Н.А.Преображенского, 3 – по данным Е.Д.Кадомского, 4 – по рекомендациям ВНИИГ, 5 – статически, по данным автора, 6 – предложенным методом [2], по данным автора.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

При соблюдении условия $M_{\Pi} = M$ накопления возмущающего воздействия последовательных импульсов не отмечается, и значения импульсных параметров для обоих рассмотренных вариантов совпадают (см. рис. 2, а). Это можно объяснить тем, что при прохождении каждого очередного удерживающего импульса $M_{ГД}$, как правило, превышает M_{Π} (см. рис. 1, а). Следовательно, количество импульсов в группе $n = 1$ и, согласно (3), $S_n^* = S_1$. Поэтому при нормальном состоянии швов между элементами крепления в качестве расчетных можно принимать параметры одиночного максимального возмущающего импульса. Коэффициент динамичности воздействия одиночного импульса на последпрыжковом участке не превышает 0,5–0,6 (см. рис. 2, а). Таким образом, учет динамического пульсационного характера возмущающего воздействия в данном случае приводит к существенному снижению расчетного нагружения элементов крепления, что указывает на неэкономичность рассчитываемых статически креплений.

При условии $M_{\Pi} = M_{\max}$ на участке гидравлического прыжка вследствие значительной интенсивности и достаточной широты частотного спектра пульсации гидродинамической нагрузки может иметь место накопление возмущающего воздействия, т.е. элементы крепления могут испытывать непрерывное возмущающее воздействие группы последовательных импульсов. Здесь коэффициент динамичности достигает значений 2,3–2,6 (см. рис. 2, в), тогда как при одиночном максимальном импульсе они не превышают 0,3–0,4 (см. рис. 2, б). Поэтому при раскрытых швах между элементами расчетными являются параметры накопленного возмущающего импульса. В данном случае учет динамического характера воздействия потока приводит к значительному увеличению (на 130–160 %) расчетного нагружения элементов крепления по сравнению с нагружением при статическом расчете, что обуславливает неэкономичность сборных креплений на участке гидравлического прыжка.

Для примера, по данным [5], различными методами была рассчитана толщина δ элементов сборного крепления на участке рибсбрем нескольких эксплуатируемых в настоящее время низконапорных сооружений. Некоторые из полученных результатов, сопоставленные с δ запроектированных креплений, приведены на рис. 3, где X — удаление центра элемента от сжатого сечения. Установлено, что в ряде случаев сборные крепления рассчитываются без достаточного обоснования, методами, разработанными для массивных креплений высоконапорных сооружений. Это приводит к недопустимому завышению запаса устойчивости и снижению экономичности сборных креплений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляшевский Н.Н., Пивовар Н.Г., Калантыренко И.И. Расчеты нижнего бьефа за водосбросными сооружениями на нескальных основаниях. — Киев, 1973. — 292 с.
2. П о в а л я е в М.К. Исследование устойчивости сборного крепления отводящего русла за водовыпусками. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11, с. 91–99.
3. П о в а л я е в М.К. Экспериментальное исследование гидродинамического воздействия на крепление отводящего русла водорегулирующих сооружений. — Там же, 1982, вып. 12, с. 62–67.
4. Рекомендации по определению гидродинамических нагрузок, воздействующих на плиты водобоев и рибсбрем водосливных плотин. — Л., 1979. — 52 с.
5. Альбом для повторного применения проектов мелиоративных сооружений с расходом свыше 20 м³/с. — М., 1978. — 88с.