

ГИДРАВЛИКА

Г. А. СИМОНЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БОКОВОГО
ВОДОСЛИВА С ОСТРЫМ РЕБРОМ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ
ПРИЗМАТИЧЕСКОМ РУСЛЕ

Как известно, боковые водосливы весьма часто применяются в гидротехнической практике. Однако существующие методы гидравлического расчета их пропускной способности нельзя считать удовлетворительными. Это объясняется как сложностью явлений, возникающих при движении потока вдоль бокового водослива, так и не вполне обоснованными методами исследований экспериментального материала.

Исследования показали, что в потоке с боковым водосливом образуется поверхность раздела с эстойными зонами и происходит отжим переливающейся струи в сторону водослива. В результате указанных явлений возникают дополнительные местные сопротивления, которые влияют на пропускную способность водослива [4].

Другим фактором, влияющим на пропускную способность водослива является форма свободной поверхности потока в его пределах. В данной статье мы рассматриваем наиболее часто встречающийся на практике случай, когда свободная поверхность потока является кривой подпора, состояние потока спокойное ($Fr < 1$) и напор на водосливе возрастает по течению.

Что касается случаев $Fr > 1$, т. е. бурного состояния основного потока, то в этом случае его свободная поверхность формируется в виде кривой спада, и закономерности движения при этом иные, чем в рассматриваемом здесь случае. Поэтому случай $Fr > 1$ представляет отдельную задачу, здесь нерассмотренную, хотя методика исследования, излагаемая ниже остается общей для обоих случаев.

Ввиду переменности напора на боковом водосливе возникает вопрос о выборе его расчетной величины, входящей в формулу для расхода воды на водосливе.

В литературе приводятся зависимости, в которых за расчетный принимается напор либо до водослива, либо после него, или же средний напор по длине водослива.

Для выбора расчетной зависимости нами были проведены исследования значительного количества экспериментального материала. Ре-

зультаты этих исследований показали, что наиболее целесообразной из существующих расчетных зависимостей является зависимость в виде:

$$Q_1 = m_1 \sqrt{2g} H_2^2 \cdot l, \quad (1)$$

где Q_1 — расход бокового водослива;

m_1 — коэффициент расхода бокового водослива без связи с коэффициентом прямого водослива;

H_2 — напор над водосливом в его конце на расстоянии $(3-5) H_2$;

l — длина фронта водослива.

Зависимость (1) по своей структуре аналогична зависимостям для прямых водосливов и обеспечивает условие динамического подобия. Одновременно она проста, по сравнению с другими существующими, так как в нее входит один напор, который сравнительно легче определить, исходя из условий течения в русле ниже водослива.

С другой стороны важное преимущество зависимости (1) заключается в том, что при обработке экспериментальных данных для определения коэффициента m_1 разброс точек на графике $m_1 = f\left(\frac{H_{1-}}{H_2 + P}\right)$

получается наименьшим по сравнению с данными полученными по другим формулам, где вместо напора H_2 приняты напор H_0 до перелива через водослив, напор H_1 в начале водослива и средний напор $\frac{H_1 + H_2}{2}$.

2

Что касается методики определения коэффициента расхода, то уже было сказано, что мы не связываем его с коэффициентом прямого водослива, как это делают некоторые авторы, а определяем по формуле (1) на основании опытных данных. Так как боковой водослив по характеру работы намного отличается от прямого, пропускную способность его надо рассматривать во взаимосвязи с характерными для него явлениями как деление потока, переменность расходов и напоров и т. п.

Чтобы искать определенную закономерность между m_1 и параметрами потока с боковым водосливом мы предполагали, что коэффициент расхода первоначально можно представить в виде функции:

$$m_1 = f(l, b, g, \rho, \mu, v_1, v_2, h_1 - P, h_2 - P, h_2), \quad (3)$$

где l — длина фронта водослива;

b — ширина потока;

g — ускорение силы тяжести;

v_1 и v_2 — средние скорости течения в начале и в конце водослива;

h_1 — глубина потока в начале водослива;

h_2 — глубина потока в конце водослива;

P — высота порога водослива;

ρ — плотность;

μ — вязкость жидкости.

Включение μ и ρ в зависимость (2) придает исследованию более общий и обоснованный характер.

Для вывода критериальных зависимостей, пользуемся π -теоремой, заранее определяя число величин в (2), имеющих независимую размерность. С этой целью составляем размерную матрицу из степеней размерностей массы, длины и времени для каждой величины входящей в (2). Затем определяем ранг матрицы, который равен числу величин, имеющих независимую размерность. В данном случае число величин с независимой размерностью равно трем.

Принимая независимыми размерности величины ρ , v_2 и h_2 , при помощи π -теоремы получаем:

$$m_1 = f\left(\frac{b}{h_2}, \frac{l}{h_2}, \frac{v_2 h_2}{\mu/\rho}, \frac{v_1}{v_2}, \frac{gh_2}{v_1^2}, \frac{h_1 - P}{h_2}, \frac{h_2 - P}{h_2}\right). \quad (3)$$

Чтобы выбрать удобный масштаб для графического представления, в полученное выражение (3) нужно ввести некоторые изменения. Например можно взять отношение двух сходных комплексов или симплексов, сохранив первоначальный вид одного из них, а также внести простые алгебраические изменения в самих критериях.

После указанных изменений мы получаем

$$m_1 = f\left(\frac{b}{l}, \frac{l}{h_2}, \frac{v_2 h_2}{\nu}, \frac{v_2}{v_1}, \frac{v_2}{\sqrt{gh_2}}, \frac{H_1}{H_2}, \frac{H_2}{H_2 + P}\right), \quad (4)$$

где $H_1 = h_1 - P$, $H_2 = h_2 - P$ напоры на водосливе в его начале и конце, $\nu = \frac{\rho}{\rho}$ коэффициент кинематической вязкости;

$\frac{v_2 h_2}{\nu}$ — число Рейнольдса;

$\frac{v_2}{\sqrt{gh_2}}$ — число Фруда.

Мы вправе допускать, что движение происходит в автомодельной области, и сопротивления от числа Рейнольдса не зависят. Кроме того, так как μ и ρ в другие критериальные зависимости не входят, то число Рейнольдса из полученных критериев вообще можно отбросить. Тогда (4) примет вид:

$$m_1 = f\left(\frac{b}{l}, \frac{l}{h_2}, \frac{v_2}{v_1}, \frac{v_2}{\sqrt{gh_2}}, \frac{H_1}{H_2}, \frac{H_2}{H_2 + P}\right). \quad (5)$$

Для выяснения влияния каждого из комплексов и симплексов, входящих в (5), нами были использованы данные опытов, проведенных Энгельсом (1917) [1], Велятца (1944) [2], Вити (1959) [3] и автором (1959), всего 160 опытов.

Все указанные опыты были проведены в прямоугольных призматических лотках, снабженных боковым водосливом с острым ребром. При всех опытах свободная поверхность потока в пределах водосли-

ва характеризовалась кривой подпора, а состояние потока было спокойным ($Fr < 1$).

После обработки опытного материала были построены графики зависимостей

$$m_2 = f\left(\frac{H_2}{H_2 + P}\right), m_3 = f\left(\frac{b}{l}\right), m_4 = f\left(\frac{l}{h_2}\right), m_5 = f\left(\frac{v_2}{v_1}\right),$$

$$m_6 = f\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \text{ и } m_7 = f\left(\frac{v_2}{\sqrt{g h_2}}\right),$$

представленные на рисунках 1, 2, 3, 4, 5, 6.

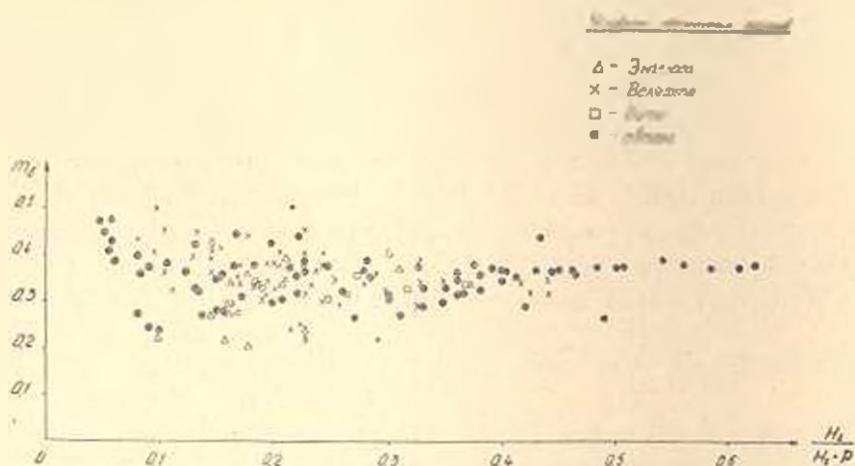


Рис. 1.

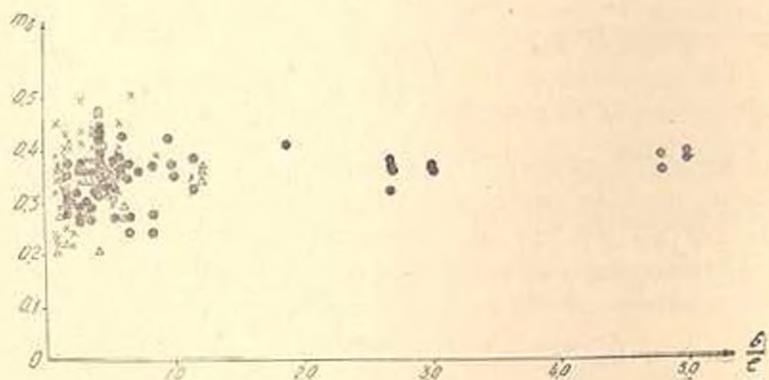


Рис. 2.

Из этих графиков следует, что m_2 — является функцией, притом линейной каждой из величин $\frac{H_1}{H_2}$ и $\frac{v_2}{\sqrt{g h_2}}$. Расчеты показали, что сортировку опытных точек по определенной закономерности в зависимости от числа Фруда на графике $m_2 = f\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$ не получаем.

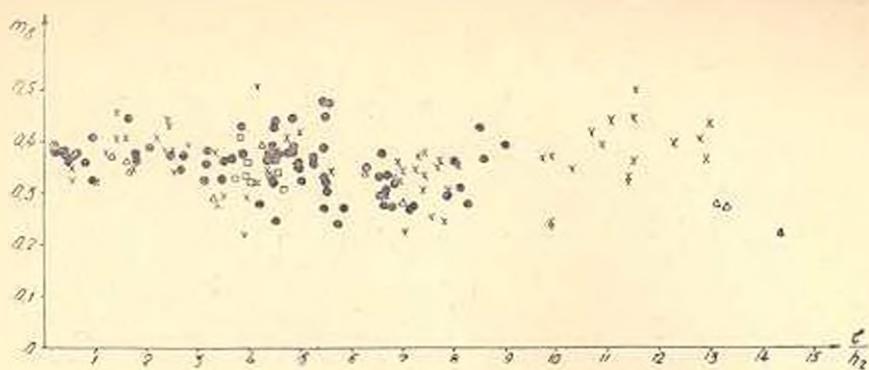


Рис. 3.

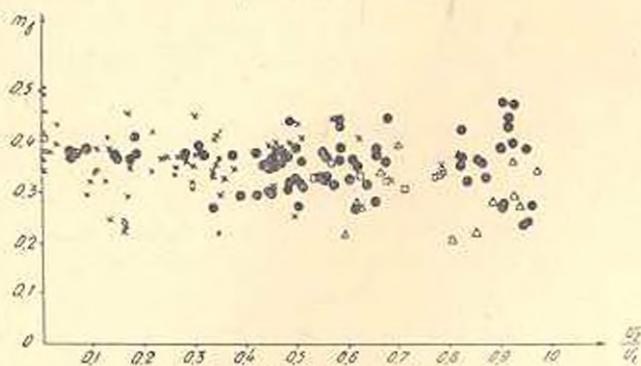


Рис. 4.

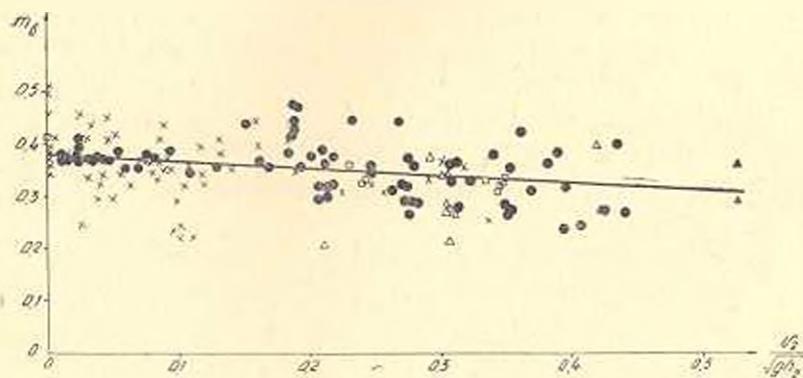


Рис. 5.

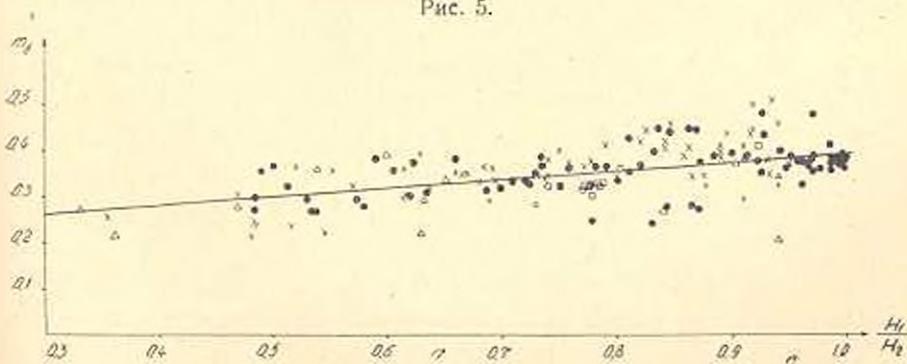


Рис. 6.

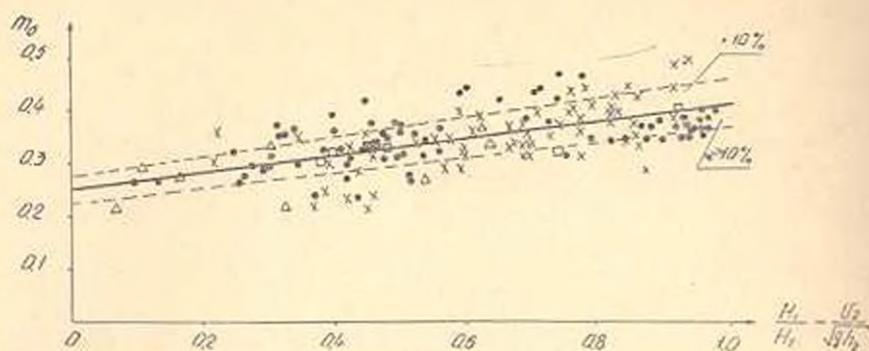


Рис. 7.

Поэтому задаваясь следующим видом связи $m = f\left(\frac{H_2}{H_1} - \frac{v_2}{\sqrt{gh_2}}\right)$, который, как показали вычисления, наиболее удачный по сравнению с произведением, отношением и т. д. и обработав соответствующим образом опытный материал построен график, представленный на рис. 7. Из этого графика следует, что указанная связь линейная. Уравнение этой линии в результате обработки материалов по методу наименьших квадратов получено в виде:

$$m = 0,167 \left[1,5 + \left(\frac{H_2}{H_1} - \frac{v_2}{\sqrt{gh_2}} \right) \right]. \quad (6)$$

Выражение (6) представляет собой эмпирическую зависимость между коэффициентом расхода бокового водослива с острым ребром, в прямоугольном призматическом русле.

На графике рис. 7 среднеквадратичное отклонение точек от указанной линии составляет $\pm 10\%$. Следовательно, по эмпирической формуле (6) коэффициент расхода бокового водослива можно определять с точностью $\pm 10\%$.

Одновременно надо указать, что несмотря на полученное отклонение 10% , сравнение результатов опытов с расчетами по формуле (6) показывает, что если исключить 35 опытов, из 160 дающие большие отклонения от полученной закономерности и составляющие примерно 20% от общего числа опытов, то совпадение опытных данных с расчетными получается удовлетворительное. Среднеквадратичное отклонение при этом составляет $5-7\%$ и лежит в пределах точности проведения опытов. Наряду со сказанным укажем, что увеличение точности определения m , связано, как с точностью проведения опытов с их количеством, так и с тем, насколько удачно выбраны координаты, дающие наименьший разброс точек при обработке опытных материалов.

Что касается точности проведения опытов, то в данном случае она оказалась следующей. Так как $Q_1 = m \sqrt{2g} H_1^2 \cdot I$, то

$$\ln Q = \ln m_1 + \ln \sqrt{2g} + \frac{3}{2} \ln H_2 + \ln l.$$

Дифференцируя последнее выражение и складывая абсолютные величины дифференциалов слагаемых получим относительную ошибку для m_1 как сумму относительных ошибок остальных измеряемых величин:

$$\left| \frac{dm_1}{m_1} \right| = \left| \frac{dQ_1}{Q_1} \right| + \frac{3}{2} \left| \frac{dH_2}{H_2} \right| + \left| \frac{dl}{l} \right|. \quad (7)$$

При измерении расходов в лабораторных условиях с помощью мерных водосливов, допущенная ошибка не превышает $\pm 1\%$. При измерении же напора H_2 абсолютная погрешность могла доходить, например, до 3-4 м.м. при напоре 100 м.м. Такая погрешность весьма вероятна, так как уровень движущейся воды непрерывно колеблется.

Величина этих колебаний зависит, как от скорости, так и от других параметров потока.

Разумеется, что при измерении напоров меньших 100 м.м. но с приведенной допускаемой абсолютной ошибкой 3-4 м.м. относительная ошибка измерения напора при этом увеличится, и наоборот.

В измерении длины водослива ошибка весьма мала.

Таким образом мы имеем:

$$\left| \frac{dm_1}{m_1} \right| = \left| \frac{1}{100} + \frac{3}{2} \left| \frac{3-4}{100} \right| \right| = 5,5-7\%.$$

Анализ ошибок показывает, что при расчете коэффициента расхода, они главным образом складываются из ошибок измерений напоров.

Для конкретного расчета бокового водослива с острым ребром при заданном напоре H_2 , предлагается в первом приближении принимать $m_1 = 0,35$, что соответствует $\frac{H_1}{H_2} = \frac{v_2}{\sqrt{K h_2}} = 0,53$. Соответствующая точка с указанными координатами лежит в середине графика рис. 7.

В дальнейшем, определяя расход бокового водослива по формуле (1) можно определить напор H_1 в начале водослива при помощи формул приведенных в [4] и пользуясь методом последовательных приближений уточнить величину коэффициента m_1 , входящего в формулу (1). Иными словами задачу решить подбором.

Изложенное выше позволяет прийти к следующим выводам:

1. Для расчета расхода бокового водослива, расположенного в призматическом ругле со спокойным течением наиболее приемлемой из существующих зависимостей является формула (1).

2. Исследования, которые проведены на основании теории размерностей и обработки значительного количества экспериментальных данных, показывают, что коэффициент расхода бокового водослива с острым ребром, установленного в прямоугольном русле зависит от отношения $\frac{H_1}{H_2}$ напоров в начале и в конце водослива и от числа Фру-

да $\frac{v_2}{\sqrt{gH_2}}$ в конце водослива.

3. Расчет расхода бокового водослива предложенным методом можно вести только способом последовательных приближений.

Հ. Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ՈՒՂԱՆԿՅՈՒՆ ՊՐԻՋՄԱՏԻԿ ՀՈՒՆՈՒՄ ՀԱՍՏԱՏՎԱԾ ՍՈՒՐ ԵՄՅՐՈՎ ԿՈՂԱՅԻՆ ՋՐԹԱՓԻ ԹՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Սուր ծայրով կողային ջրթափի ջրաթողունակությունը որոշելու համար, որը հաստատված է ուղղանկյուն պրիզմատիկ հունում, օգտագործված է սովորական ջրթափի բանաձևը (1)։ Այդ բանաձևի մեջ որպես հաշվարարային մտնում է կողային ջրթափի վերջում հաստատվող ջրի սլան ճնշումը, իսկ ելքի գործակիցը որոշվում է ուղղակի կերպով փորձնական տվյալների հիման վրա։

Կողային ջրթափի թողունակությունը, կամ ինչպես մինչևս նշել է ելքի գործակիցը որոշելու համար օգտագործվել են 160 տարբեր հետադրողների փորձնական կետեր։ Այդ կետերը համապատասխան կարգով մշակման են ենթարկվել չափողականության տեսության հիման վրա։ Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ դիտված պայմաններում ելքի գործակիցը կախված է մեծուղի թվից կողային ջրթափի վերջում և ճնշումների հարաբերությունից ջրթափի սկզբում և վերջում։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Петров Г. А. Движение жидкости с переменным расходом вдоль пути. 1951.
2. Велятца М. Исследование бокового водослива. Energia Ellettrica, 1934, № 6.
3. Вити М. Измерение скорости на боковых водосливах. Energia Ellettrica 1959 36, № 7.
4. Симонян Г. А. К вопросу гидравлического расчета боковых водосливов. Известия АН АрмССР, серия тех. наук, том XIV, № 1. 1961.