

УДК 532

В.А.Калинин (асп., каф. ГТС), С.А.Кузьмин, д.т.н., проф.

О ПАРАМЕТРАХ КОНЦЕНТРАЦИИ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ В НИЖНИХ БЬЕФАХ ВОДОСЛИВНЫХ ПЛОТИН

В настоящее время уделяется большое внимание оценке безопасности гидротехнических сооружений – определению параметров их надежности. Эти исследования необходимы для совершенствования методов проектирования, строительства и эксплуатации сооружений, а также для объективной оценки их остаточного ресурса и необходимости реконструкции или капитального ремонта.

В период с начала 30-х по 80-е гг. XX века в СССР было построено более 20 комплексных низко- и средненапорных гидроузлов на нескальных основаниях (например, Волжский, Камский, Днепровский каскады). Суммарная установленная мощность ГЭС в составе этих гидроузлов превышает 15 ГВт, что говорит об их большом экономическом значении. В составе подавляющего большинства этих гидроузлов имеются многопролетные водосливные плотины, за которыми устроены крепления нижнего бьефа. Надежность и безопасность этих сооружений и устройств, очевидно, является необходимым условием нормального функционирования гидроузла в целом.

Возникшие размывы русел за креплениями нижнего бьефа на нескольких гидроузлах (Камском, Саратовском, Каховском) снижают общий коэффициент надежности системы подводящий канал – водосливная плотина – крепление нижнего бьефа (далее – НБ). Следует отметить, что размывы возникли после пропуска не расчетных сбросных расходов, а расходов большей обеспеченности. Причины могут быть самые различные – среди них на первый план выходит маневрирование затворами плотин. В ряде случаев правильное маневрирование затруднено или вовсе невозможно (отказы оборудования, ремонт агрегатов на водосливных ГЭС) – при этом даже расходы довольно большой обеспеченности могут вызвать размывы. Кроме того, традиционные схемы маневрирования отличаются сложностью и громоздкостью, то есть требуют особой квалификации обслуживающего персонала, что не всегда достижимо.

Необходимо создание единой методики расчета, на основе которой может быть создан алгоритм, позволяющий выбрать оперативную схему маневрирования затворами в конкретных условиях. Эта методика направлена на упрощение анализа протекающих явлений и позволяет внести коррективы в традиционные схемы маневрирования.

Как известно, размывы за креплением возникают в основном при неравномерном открытии пролетов за счет возникающей концентрации удельных расходов. Можно сказать, что параметры концентрации удельных расходов коррелируют с параметрами надежности системы подводящий канал – водосливная плотина – крепление НБ.

При пропуске расходов через многопролетные водосливные плотины при неравномерном открытии пролетов турбулентная, резко изменяющаяся структура течения в нижнем бьефе до настоящего времени не имеет адекватного теоретического описания. Однако исследователями (И.И.Леви, М.А.Михалевым и др.) замечено, что эта структура в достаточной мере обладает характерными особенностями затопленных турбулентных струй. Это означает, что наблюдается развитие зоны интенсивного турбулентного перемешивания (пограничного слоя) с расходящейся внешней границей, на которой составляющая скорости по оси X , направленной вдоль потока, равна либо нулю, либо скорости спутного потока. Также наблюдается внутренняя граница пограничного слоя, на начальном участке струи определяющая положение ядра струи (рис. 1).

Положение границ зоны интенсивного перемешивания может быть определено угловыми коэффициентами C' (внутренняя) и C'' (внешняя):

$$C' = \frac{\Delta'}{L} = \operatorname{tg} \alpha_1; \quad C'' = \frac{\Delta''}{L} = \operatorname{tg} \alpha_2,$$

где Δ' , Δ'' , L , α_1 и α_2 показаны на рис.1. Предыдущими исследованиями установлено, что указанные коэффициенты зависят от относительной ширины начального сечения струи; вместе с тем исследования выполнены лишь для случая, когда отсутствуют спутные потоки. Так как подобные случаи для водосливных плотин редки, необходимо установить зависимость коэффициентов C' и C'' от скорости спутного потока.

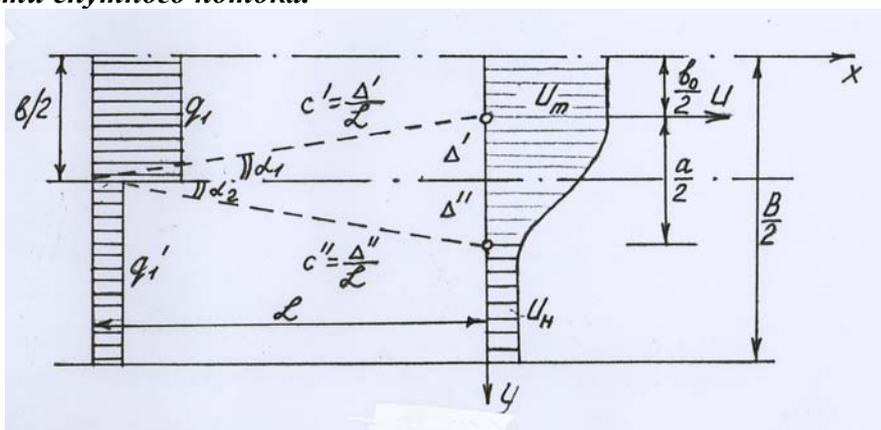


Рис. 1.

В монографиях [1] и [2] показано, что величины угловых коэффициентов при наличии спутных потоков определяются по формулам:

$$C_m' = C' \frac{1-m}{1+m}; \quad C_m'' = C'' \frac{1-m}{1+m}.$$

Коэффициент m может быть определен опытным путем. Эта работа выполняется в лаборатории кафедры ГТС СПбГПУ в рамках продолжаемых исследований по рассматриваемой проблеме.

Рассмотрение структуры потока как совокупности затопленных турбулентных струй влечет за собой еще два важных положения:

1) профиль распределения продольной составляющей средней скорости в любом сечении струи универсален и выражается формулой Шлихтинга [1]:

$$\frac{u - u_n}{u_m - u_n} = (1 - \eta^{1.5})^2$$

где u_m – скорость на оси струи, u_n – скорость спутного потока, $\eta = y/0,5a$. Здесь y – координата точки определения скорости, отсчитываемая от оси струи; в качестве параметра a удобно принять ширину зоны интенсивного перемешивания в данном сечении струи, хотя, как показано в [1], этот параметр можно интерпретировать как любой характерный линейный размер рассматриваемой струи.

2) эжектирующая способность струи в любом ее сечении универсальна (гипотеза Яковлевского) и для начального участка струи определяется формулой, приведенной в [3]:

$$Q_x = (1 + \chi \bar{x}) Q_1,$$

где Q_x – расход в любом сечении рассматриваемой струи; Q_1 – расход в начальном сечении струи; $\bar{x} = x/0,5b$ (x – координата сечения струи, отсчитываемая от начального сечения; b – ширина начального сечения); χ – коэффициент удельного присоединения расхода.

Применяя приведенные выше зависимости с учетом фактически заданного расхода Q_1 , можно определить геометрическое положение совокупности струй в системе координат x, y (рис.1) и получить эпюру удельных расходов в любом створе крепления НБ.

Применимость расчетной схемы и ее соответствие практике подтверждены исследованиями, проведенными кафедрой ГТС СПбГПУ.

Выводы:

1. Представление потока в НБ многопролетных водосливных плотин как совокупности турбулентных струй позволяет с достаточной точностью оценить кинематическую структуру потока с учетом различных влияющих на нее параметров.
2. Описанная расчетная схема поддается алгоритмизации, что позволяет реализовать ее на ЭВМ и использовать в проектировании и при мониторинге существующих гидроузлов.
3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение коэффициентов, входящих в уравнения, и совершенствование расчетной схемы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.: Издательство физ.-мат. литературы, 1984.
2. Михалев М.А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом. Л.: «Энергия», 1974.
3. Яковлевский О.В. Гипотеза об универсальности эжекционных свойств турбулентных струй газа и ее приложения. «Известия АН СССР. Механика и машиностроение», №3, 1961.