

К ВОПРОСУ О ПРЕДЕЛЬНОМ ЗАТОПЛЕНИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

А.М. Кушер, М.Р. Барамыков

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, г. Москва, РФ

Точность измерений расхода воды с помощью гидрометрических сооружений, принцип действия которых основан на сжатии потока (водосливы и лотки), зависит от уровня воды в нижнем бьефе сооружения. Декларируемая точность достигается только в режиме свободного истечения при наличии критического режима течения в сооружении. В случае превышения индивидуального для каждой конструкции допустимого уровня воды в нижнем бьефе точность измерений резко снижается. В отличие от критического режима при частичном затоплении гидравлические характеристики потока в сооружении, в том числе контрольный параметр - напор в верхнем бьефе, зависят от структуры потока в нижнем бьефе. При этом погрешность измерений на порядок больше нормальных значений. Измерение напора одновременно в верхнем и нижнем бьефе, как, например, в лотке Паршалла, не решает полностью проблемы снижения точности измерений расхода, так как одновременно с напором изменяется форма профиля скорости в сооружении.

Параметром оценки предельного затопления гидрометрических лотков и водосливов является коэффициент предельного затопления:

$$S_{пред} = \left(\frac{H_{НБ}}{H_{ВБ}} \right)_{max} = \left(\frac{h_{НБ} + \frac{V_{НБ}^2}{2g}}{h_{ВБ} + \frac{V_{ВБ}^2}{2g}} \right)_{max},$$

где $H_{НБ}$, $H_{ВБ}$ - полный напор, соответственно, в нижнем и верхнем бьефе.

В общепринятых методиках максимально допустимым напором в нижнем бьефе $H_{НБ}$ принято значение, при котором напор в верхнем бьефе $H_{ВБ}$ увеличивается на 1 % [1,2].

Анализ известных нормативных и литературных источников показал, что величина $S_{пред}$ существенно различается для однотипных гидрометрических сооружений. Причем, согласно отечественным источникам величина $S_{пред}$ зависит только от типа и формы контрольной секции сооружения [1,3]. В данной работе представлен краткий анализ влияющих факторов и принятых оценок устойчивости к затоплению гидрометрических лотков и водосливов с широким порогом.

Расходная зависимость всех гидрометрических сооружений может быть аппроксимирована степенной функцией (рис.1).

Из графика на рисунке 1а видно, что вследствие нелинейности функциональной зависимости $Q = f(h_{ВБ})$ при $H_{НБ} = H_{НБ max}$ абсолютная погрешность измерения расхода на больших расходах существенно больше, чем при малых расходах. Например, при работе в режиме предельно допустимого затопления, найденного по традиционной методике, абсолютная

погрешность измерения расхода для параболического лотка критической глубины с фокальным параметром 0,014 м на максимальном расходе в 8,3 раза больше, чем на минимальном: $\Delta Q_2 / \Delta Q_1 = 8,3$. Диапазон экспериментальных расходов $0,003 \text{ м}^3/\text{с} \div 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ [4].

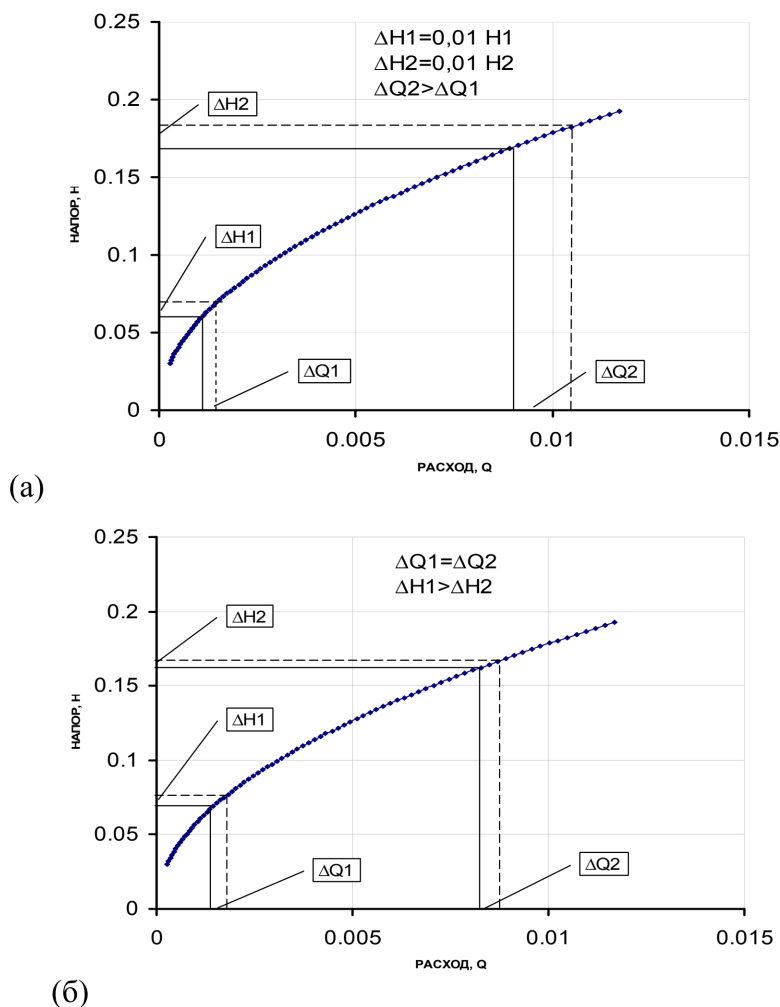


Рисунок 1 - К определению коэффициента предельного затопления по известной (а) и предлагаемой (б) методике

Учитывая, что важнейшей характеристикой гидрометрического сооружения является абсолютная погрешность измерений, целесообразно определять верхний предел рабочего диапазона по затоплению исходя из погрешности измерения расхода (например, 1% от максимального расхода) (рис.1б). При выборе рабочего участка расходной зависимости, близкого к линейному, значения $S_{пред}$, вычисленные по принятой и предлагаемой методике, практически совпадают. Однако при установке в земляном русле или при высокой концентрации взвешенных наносов расходная зависимость сооружения для предотвращения заиливания верхнего бьефа должна иметь нелинейную форму, максимально приближенную к расходной зависимости канала (рис.2). Поэтому расчет предельного затопления по предлагаемой методике будет обеспечивать более точную оценку рабочего диапазона

гидрометрического сооружения.

Помимо типа сооружения и формы контрольной секции коэффициент предельного затопления, зависит от расхода и условий сопряжения с отводящим каналом. Так, в лотке критической глубины переход от сверхкритического режима к спокойному происходит в форме прыжка-волны на малых расходах, переходящему с увеличением расхода в слабый прыжок с неразвитым вальцом. При повышении уровня нижнего бьефа затопление лотка начинается при входе фронта стоячей волны в контрольную секцию сооружения. Экспериментально установлено, что в безотрывном течении в выходной секции (угол раскрытия выходной секции меньше 20°) основными параметрами, определяющими устойчивость к затоплению являются глубина и скорость на выходе контрольной секции, зависящими, в свою очередь, от расхода воды.

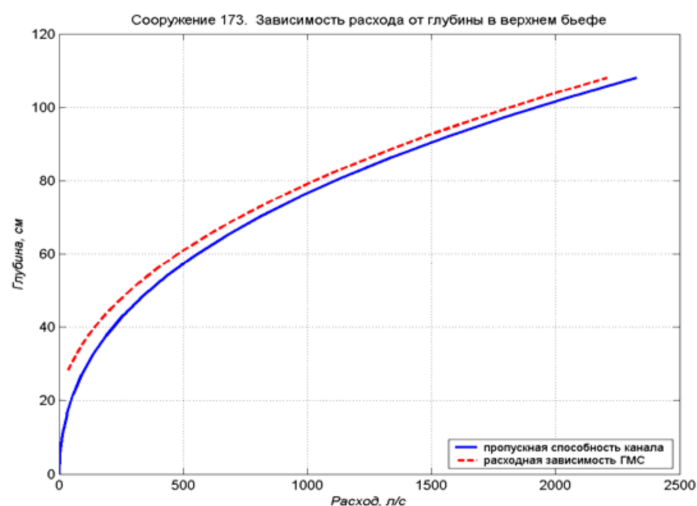


Рисунок 2 - Расходная зависимость гидрометрического лотка, обеспечивающего свободный пропуск взвешенных наносов

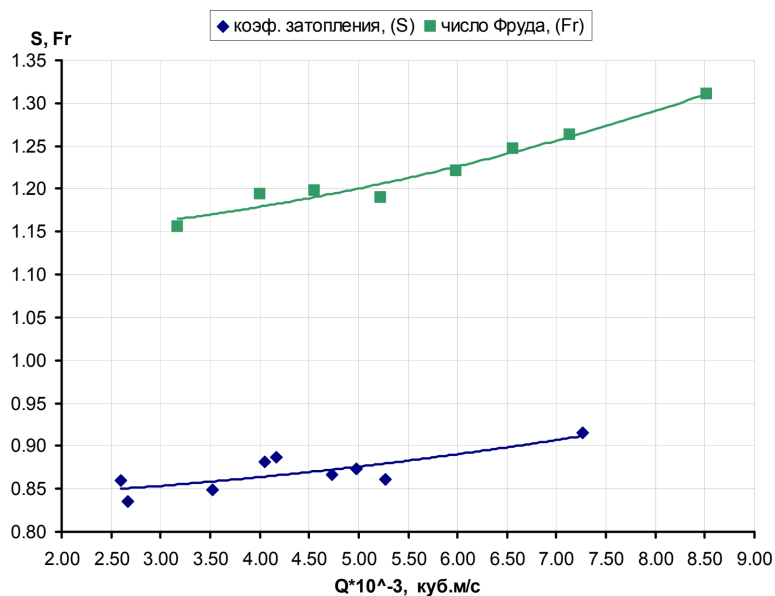


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента предельного затопления и числа Фруда на выходе контрольной секции лотка критической глубины от расхода

На рисунке 3 представлены результаты измерений коэффициента предельного затопления $S_{пред}$ и числа Фруда Fr в режиме свободного истечения на выходе контрольной секции прямоугольного лотка критической глубины шириной 0,142 м в прямоугольном канале шириной 0,3 м.

Коэффициент корреляции между сглаженными методом наименьших квадратов зависимостями $S_{пред} = f(Q)$ и $Fr = f(Q)$ близок к единице.

Выводы

В сравнении с существующей предлагаемая методика определения предельного затопления обеспечивает более точную оценку рабочего диапазона гидрометрического сооружения и, в результате, повышенную достоверность измерений расхода воды.

Целесообразно включить в нормативные и рекомендательные документы, касающиеся применения лотков и водосливов на каналах водохозяйственных систем, значения границ диапазона расходов (или напоров), для которых величина предельного затопления меньше заданных пределов.

Коэффициент предельного затопления $S_{пред}$ гидрометрического лотка и водослива с широким порогом является переменной величиной, зависящей от глубины и скорости потока на выходе на выходе контрольной секции. По данным экспериментальных исследований прямоугольного лотка критической глубины величина $S_{пред}$ пропорциональна значению числа Фруда.

Литература

1. МИ 2406-97. Расход жидкости в безнапорных каналах систем водоснабжения и канализации. Методика измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. 1997г.
2. Water Measurement Manual. US Department of the Interior. Bureau of Reclamation, 2010.
3. Филиппов Е.Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков. – Л.: Гидрометиздат, 1990.
4. Вали У.Г. Разработка методов определения пропускной способности гидрометрических лотков в малых трапецидальных каналах. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н., М., 2002.