

Макалада суу агымынын, бурулуш нуктардагы гидродинамикалык мүнөздөмөсү берилген.

В статье дается гидродинамическая характеристика потока в плане в момент наблюдения сбойного течения.

The article considers hydrodynamic properties of flow during turbulent stream observation.

Сбойное течение представляет собой наиболее часто встречающуюся на практике и вместе с тем сравнительно малоизученную пространственную форму сопряжения бьефов.

Отличительной особенностью сбойного течения является искривление динамической оси потока в плане и в движении его вдоль одного из берегов, что обуславливает резко выраженную неравномерность распределения удельных расходов по ширине русла. Кроме того, в противоположность явлению растекания бурного потока в плане, для которого характерно уменьшение удельных расходов по течению вдоль динамической оси, при сбойном течении происходит, наоборот, увеличение удельных расходов в транзитной части потока в первой половине участка сопряжения бьефов.

На явление сбойного течения внимание исследователей было обращено сравнительно недавно. Так, в начале развития плотиностроения исследователи рассматривали в качестве расчетной схемы сопряжения бьефов схему сопряжения потоков посредством гидравлического прыжка в условиях плоской задачи. Впоследствии практика эксплуатации как крупных, так средних и малых гидротехнических сооружений все чаще выдвигала новые задачи, связанные с необходимостью учета возможного большего количества реальных факторов, влияющих на гидравлику нижнего бьефа и, в первую очередь, пространственности явлений. В настоящее время изучению следствий планового сжатия потока сооружением уделяется большое внимание /1/.

В общем случае плановое сжатие потока сооружением может быть односторонним, двухсторонним, несимметричным и двусторонним симметричным (рис. 1).

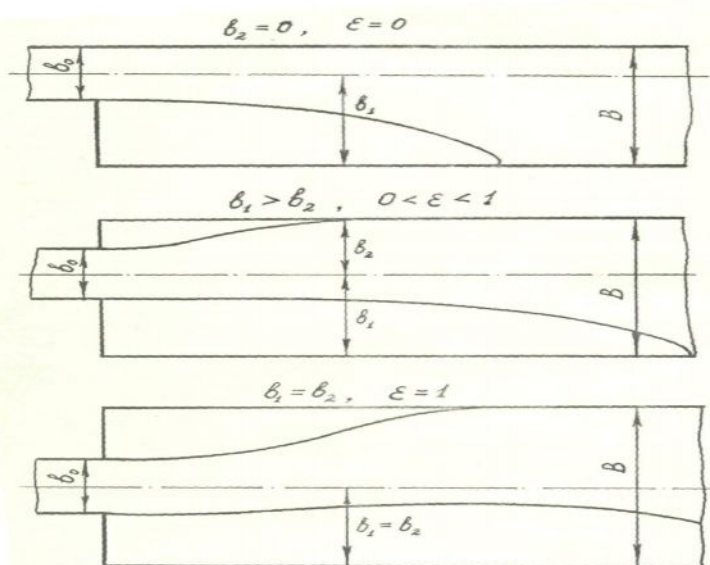


Рис. 1. Схемы планового сжатия потока сооружением:

- а) одностороннее сжатие $\mathcal{E}=0$, б) двухстороннее несимметричное сжатие $0<\mathcal{E}<1$,
 в) двухстороннее симметричное сжатие $\mathcal{E}=1$

Вид планового сжатия потока можно характеризовать специальным коэффициентом симметричности сжатия:

$$\mathcal{E} = \frac{b_1 - 0,5b_0}{b_2 - 0,5b_0} = \frac{2b_1 - b_0}{2b_2 - b_0} = \frac{b_1 - b_0^1}{b_2 - b_0^1}, \quad (1)$$

где b_1 – расстояние от оси суженной части русла до ближнего берега в нижнем бьефе; b_2 – расстояние от оси суженной части русла до дальнего берега в нижнем бьефе (рис. 1, б).

Как видно из рис. 1, при одностороннем сжатии потока сооружением $v_1 = v_0$ и $\mathcal{E} = 0$, при двухстороннем несимметричном сжатии $0<\mathcal{E}<1$ и при двухстороннем симметричном сжатии $\mathcal{E} = 1$.

За участком одностороннего сжатия потока после затопления пространственного прыжка происходит медленное одностороннее расширение в плане.

Если имеет место двухстороннее несимметричное сжатие потока сооружением, то после затопления прыжка, как правило, он отклоняется (сбивается) к ближнему берегу и за сечением, в котором крайние струи достигают берега, двигается вдоль последнего, претерпевая одностороннее сжатие, как и в предыдущем случае.

Наиболее интересным представляется двухстороннее симметричное сжатие, когда поток отклоняется произвольно к одному из берегов и заранее невозможно предугадать, к которому произойдет отклонение.

Значительное сжатие потока по глубине на входе в сооружение щитом (при глубине перед щитом $3h_{кр.с}$) происходит потому, что линии равных глубин на участке растекания бурного потока вытягиваются в сторону нижнего бьефа, т.е. участок растекания удлиняется с возрастанием скорости в выходном сечении. При этом скорости в области косых прыжков возрастают настолько, что нарушение устойчивости динамической оси потока в плане может произойти до надвигания прямого прыжка на сечение с полным растеканием бурного потока.

Оставив этот случай для более полного изучения в дальнейшем, приступим к рассмотрению явлений, происходящих после затопления пространственного прыжка, образованного при двухстороннем симметричном плановом сжатии потока сооружением и при отсутствии сжатия на входе щитом.

При этом уменьшение ширины прыжка сопровождается уменьшением доли кинетической энергии, рассеиваемой в прыжке, и соответственным удлинением участка сопряжения, на котором происходит успокоение потока.

Возмущение на свободной поверхности волны и неравномерный характер движения наблюдаются на значительном расстоянии от выходного сечения. Положение оси потока становится неустойчивым, прыжок сбивается к одному из берегов, а у противоположного берега образуется большой водоворотный валец с медленным вращением масс воды. Временами прыжок затопляется полностью, и при этом расширение транзитного потока, приходящееся на единицу длины участка сопряжения, незначительно. Общая длина участка сопряжения становится еще больше. Если глубина в нижнем бьефе достаточно большая, то положение сбитого к одному из берегов устойчиво, и гидравлический прыжок вновь не возникает /2/.

На рис. 2 показан участок сопряжения со сбойным течением, которое образуется после полного затопления пространственного прыжка. Основными параметрами, характеризующими такую форму сопряжения, являются угол сбоя транзитного потока α и длина большого водоворотного вальца ℓ_b .

Угол сбоя потока можно принимать равным углу между осью русла и прямой, соединяющей точки на динамической оси потока в сечении 0-0 на выходе из сооружения и в сечении 1-1, в котором поток достигает берега (рис. 2).

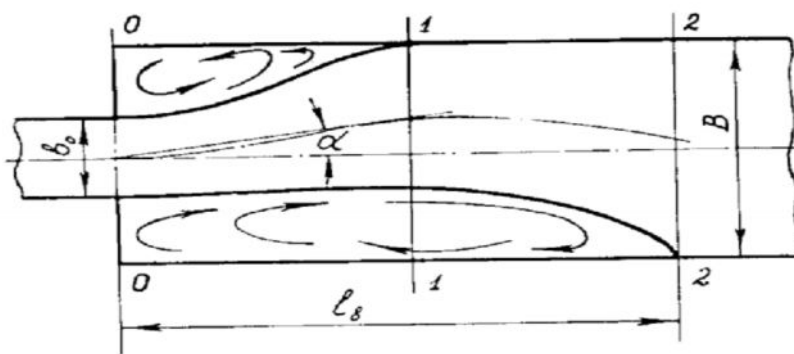


Рис. 2. Сопряжение потоков участков сбойного течения

За сечением 1-1 поток движется вдоль берега, и внешне картина мало отличается от таковой, имеющей место за односторонним с плановым сжатием потока сооружением. Полное расширение транзитного потока со сбойным течением происходит в сечении, расположенном в конце большого водоворотного вальца. Однако распределение удельных расходов по ширине русла остается здесь еще неравномерным, и только на последующем участке происходит окончательное перераспределение скоростей в плане, что видно по эпюрам, показанными на рис. 3. Поэтому длина участка сопряжения потоков при сбойном течении может быть принята равномерной длине большого водопроводного вальца только приближенно.

В тех случаях, когда глубина потока в отводящем канале достаточно большая, например, порядка $2h_{кр.с}$, разница отметок свободной поверхности в области водоворотных вальцов и транзитной части потока, а также в начале участка сопряжения и в конце его незначительна.

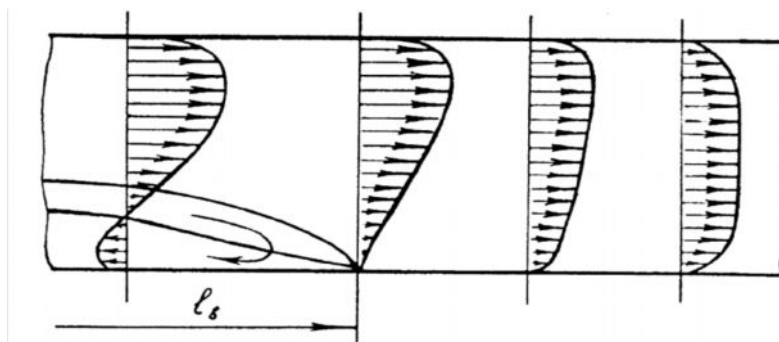


Рис. 3. Перераспределение скоростей по ширине русла за участком одностороннего планового расширения потока

С уменьшением глубины в отводящем русле эта разница возрастает, на свободной поверхности возникают возмущения. На рис. 4 схематически показаны характерные особенности участка сопряжения при сбойном течении. Обычно глубина транзитного потока в начале участка меньше, чем в конце, т.е. свободная поверхность имеет обратный уклон.

В области водоворотных вальцов (правого и левого) свободная поверхность имеет значительно меньший уклон. Поэтому в начале участка (сечение 1-1) глубина вальцов больше, чем глубина транзитного потока, а в конце (сечения 2-2) – наоборот. Поперечный уклон свободной поверхности, образование которого объясняется указанной разницей глубин, можно схематически представить в виде сосредоточенного перепада Δh на линии АВС, по которой продольные скорости равны нулю. Принято считать, что возникновением

поперечного уклона свободной поверхности обусловлена циркуляцией масс воды, образующей вальцы. При этом некоторое количество воды в транзитный поток из вальцов в областях АВ и А*В*, и затем во второй половине вальцов в областях ВС и В*С* выходит из потока, образуя возвратные потоки у берегов.

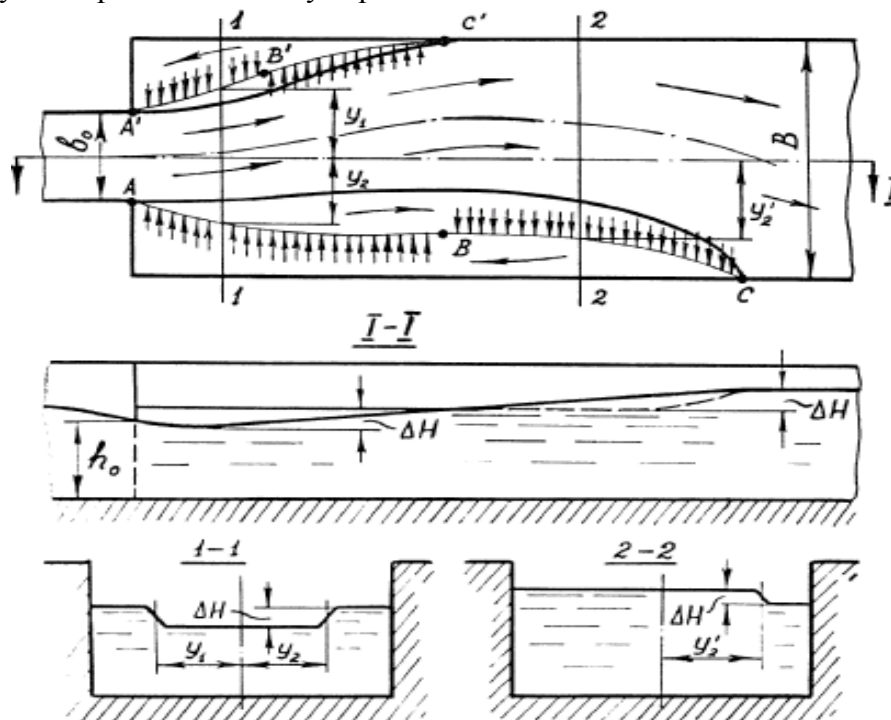


Рис. 4. Изменение отметок поверхности потока при сбойном течении

В соответствии с непрерывным массообменом между областями поступательного и возвратного движения расход в потоке со сбойным течением вначале увеличивается, а затем уменьшается и конце участка сопряжения становится равным расходу в выходном сечении сооружения.

Следует отметить, что приведенная выше схематизация участка сопряжения не всегда отражает действительную картину. Например, при большой глубине потока в нижнем бьефе, как было отмечено выше, разница глубин в вальцах и транзитном потоке становится незначительной, а при глубине за участком сопряжения, близкой к $h_{кр.с}$. Глубина в начале большого вальца может оказаться даже меньше, чем в транзитном потоке. Поэтому циркуляция масс воды при сбойном течении объясняется не только наличием поперечного уклона свободной поверхности, но и эжекцией, т.е. отсасыванием некоторого количества воды транзитной частью потока из области вальца в начале участка сопряжения.

Влияние эжекции может быть настолько значительным, что уменьшение глубины в области вальца вызывает растекание бурного потока и возникновение прыжка, который впоследствии вновь затопливается вследствие того, что глубина за участком сопряжения остается больше, чем вторая сопряженная глубина последнего. Это явление называется неустойчивым сбойным течением, или «раскачкой бьефа».

Таким образом, необходимость учета массообмена между потоком и вальцовыми данными, значительные возмущения на свободной поверхности, пульсация скорости и давления, а также недостаточная изученность особенностей взаимодействия потока с поверхностью русла делают теоретическое определение длины участка сопряжения крайне затруднительным даже для относительно простого симметричного сжатия потока сооружением в плане.

В сравнении с растеканием бурного потока в плане и пространственным прыжком с криволинейным вальцом явление сбойного течения можно характеризовать как форму

сопряжения бьефов, который соответствует наиболее широкому диапазону изменения глубины в нижнем бьефе. По мере уменьшения глубины в канале за сооружением участок сопряжения затопливается, и скорость в выходном сечении сооружения уменьшается. При $Fr_0 < 1$ имеет место сбойное течение спокойного потока. Дальнейшее увеличение глубины в нижнем бьефе приводит к тому, что внешне движение на участке сопряжения мало отличается от равномерного движения в отводящем канале на большом удалении от сооружения. Длина участка сопряжения при этом значительно уменьшается, границы между транзитным потоком и вальцами становятся нечетными, хотя распределение скоростей по ширине русла остается неравномерным. Переход к такой картине движения от обычного сбойного течения с резко выделяющимися боковыми водоворотными вальцами происходит плавно по мере затопления участка сопряжения.

М.М. Селеметова [3] вводит условную границу между сбойным течением и формой сопряжения, которую называют «равномерным движением» (рис. 5).

Понятно, что такая граница расплывчата и отличается от случаев возникновения прямого прыжка за участком растекания бурного потока и последующего затопления пространственного прыжка с образованием сбойного течения, когда происходит резкое скачкообразное изменение параметров потока. На основе этих исследований автор приходит к выводу о том, что с увеличением заложения откосов «m» предельная глубина, при которой наблюдается переход от сбойного течения к равномерному режиму, уменьшается.

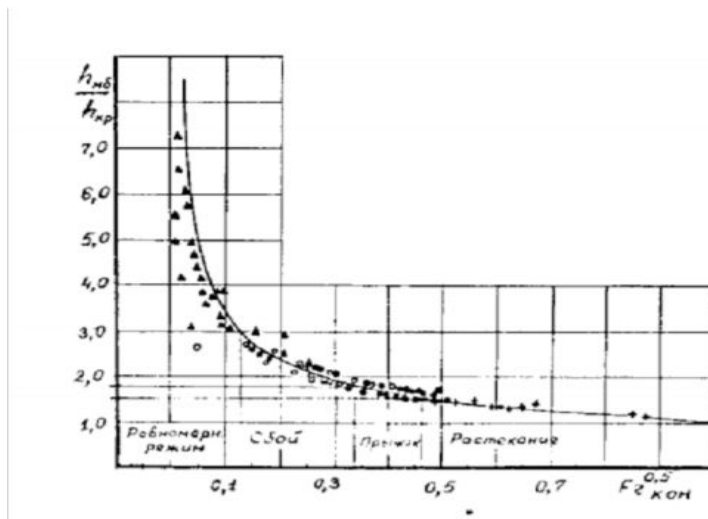


Рис. 5. График зависимости $h_{нб} / h_{кр} = f(\sqrt{Fr_{кон}})$

Наряду с указанным выше выводом нам в этой работе представляется важным то, что по результатам опытов можно сопоставлять пределы изменения глубины за участком сопряжения, соответствующие растеканию бурного потока, пространственному прыжку и сбойному течению. Так, растекание бурного потока за трубчатым регулятором происходит при глубине $h_{нб} < 1,5 * h_{кр}$, гидравлический прыжок имеет место при $h_{нб} = 1,5...1,75 * h_{кр}$, сбойное течение – при $h_{нб} = 1,75...3,0 * h_{кр}$, и равномерный режим наблюдается при $h_{нб} > 3,0 * h_{кр}$. С уменьшением заложения откосов русла переход от сбойного течения к равномерному происходит при большой глубине, приблизительно равной $h_{нб} = 4,0 * h_{кр} / 4$.

Как видно, даже при введении условной предельной глубины, ограничивающей область существования сбойного течения, этой форме сопряжения соответствует более широкий диапазон измерения глубины в отводящем канале, чем другим. Кроме того, следует отметить, что в большинстве случаев условия эксплуатации оросительных систем исключают возможность работы необлицованных каналов при глубине наполнения, меньшей $1,5h_{кр}$, во избежание недопустимых деформаций русла. Отсюда понятно, что сбойное течение

за большинством сооружений на каналах является наиболее часто встречающейся формой сопряжения бьефов.

Выводы

1. В зависимости от соотношения между второй сопряженной глубиной прыжка и глубиной воды в отводящем русле в условиях плоской задачи могут иметь место следующие формы сопряжения потоков прыжком:

- а) при $h_2 > h_{нб}$ – сопряжение отогнанным прыжком;
- б) $h_2 = h_{нб}$ – сопряжение прыжком, надвинутым на сжатое сечение за щитом;
- в) $h_2 < h_{нб}$ – сопряжение затопленным прыжком.

2. Прыжок и послепрыжковой участок представляют собой область, в которой часть энергии потока рассеивается из-за интенсивного турбулентного перемешивания жидкости. Эти потери энергии можно представить как разность энергии в сечениях перед прыжком при глубине h_1 и в конце после прыжкового участка при глубине потока h_2 .

3. Одним из характерных параметров участка растекания бурного потока в плане является угол растекания α . Значение угла α соответствует состоянию потока непосредственно на выходе из сооружения. С удалением от выходного сечения как продольная, так и поперечная составляющие скорости изменяются, а в соответствии с этим меняется и угол растекания потока.

4. С уменьшением степени сжатия потока сооружением в плане угол расширения бурного потока перед прыжком уменьшается, криволинейные расчетные сечения перед прыжком и за ним приближаются по своей форме к плоским.

5. Необходимость учета массообмена между потоком и вальцовыми данными, значительные возмущения на свободной поверхности, пульсация скорости и давления, а также недостаточная изученность особенностей взаимодействия потока с поверхностью русла делает теоретическое определение длины участка сопряжения крайне затруднительным даже для относительно простого симметричного сжатия потока сооружением в плане.

Список литературы

1. Тажибаев Л.Е. Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1969. – 304 с.
2. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. – М.: Колос, 1971. – 150 с.
3. Бабаджанова Ш.А. Местный размыв за сооружениями на каналах (с горизонтальным креплением): Автореф. ... к.т.н. – Ташкент, 1972. – 32 с.
4. Кремес С.А. Опыт строительства и эксплуатации малых водохранилищ ЦЧО. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1975. – С.200-203.