

На правах рукописи

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛОРУССКОЙ ССР

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

ПАРАХНЕВИЧ
Владимир Тимофеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ В СЛУЧАЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО
СОПРЯЖЕНИЯ БЪЕВОВ

(причины и некоторые вопросы
скоростной структуры)

05.23.07 - "Гидротехнические сооружения"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации за соискание учёной степени
кандидата технических наук

г. Минск - 1973 г.

Работа выполнена на кафедре гидравлики Белорусского ордена
Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель - кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент

Я.Т.КОВАЛИВ

Официальные оппоненты: доктор технических наук

Л.В.МОШКОВ

член-корреспондент АН БССР, профессор

Г.А.ПЕРЫШКИН

Ведущее предприятие - Белгипростроиз.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1973 г.

Защита состоится " 8 " июля 1973 г. на

заседании Совета по присуждению степеней по строительным, гидро-
техническим, строительству коммунальных сооружений и химико-тех-
нологическим специальностям при Белорусском ордена Трудового
Красного Знамени политехническом институте.

Минск, Ленинский проспект, 65, главный учебный корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Учёный секретарь совета
кандидат технических наук,
доцент

И.С.КАЧАН

В В Е Д Е Н И Е

Намеченная XXIV съездом КПСС программа создания прочной энергетической базы страны предусматривает освоение богатых энергоресурсами рек Сибири, Средней Азии, Закавказья. Удовлетворение всё возрастающего спроса населения страны на продукты питания требует ввода новых посевных площадей на засушливых и переувлажнённых землях. Выполнение этих планов связано со строительством крупных гидротехнических сооружений, позволяющих комплексно решать задачи народного хозяйства.

В большинстве своём гидросооружения работают в пространственных условиях, характерных неравномерным распределением расхода по ширине нижнего бьефа. При работе отдельных пролётов водосборного фронта наступают особенно неблагоприятные условия, способствующие возникновению сбойных течений. В этих случаях поток нижнего бьефа сохраняет значительные скорости на достаточно большом участке нижнего бьефа, что приводит к серьёзным размывам и разрушениям русла.

Глубокое изучение причин зарождения, существования, исчезновения, скоростной структуры, мер борьбы со сбойными течениями следует считать одной из основных задач теории сопряжения бьефов.

Данная работа посвящена дальнейшему изучению причинности и осреднённых характеристик скоростной структуры сбойных течений.

Диссертационная работа состоит из шести глав. В первой главе приводится обзор литературы по вопросу пространственного сопряжения бьефов, анализ которой позволил сформулировать задачу исследования. Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки, условиям и методике проведения опытов. В третьей главе рассматриваются причины возникновения, существования и исчезнове-

ния сбойного течения. Четвёртая глава посвящена определению границ области существования сооиноного течения. В пятой главе рассматривается изменение осреднённой скорости вдоль транзитной струи сбойного течения. Шестая глава содержит рекомендации по практическому использованию результатов исследования. В конце реферлируемой работы помещены сводные таблицы экспериментальных данных.

Анализ литературы и постановка задачи исследования.

Изучению пространственного сопряжения бьефов посвятили свои работы И.П. Линчевский, Б.А.Мацман, Ф.И.Пикалов, И.И.Тараймович, А.С.Образовский, К.И.Росинский, И.И.Леви, Д.И.Кумин, М.С.Вязго, Ф.Г.Гулько, С.К.Лузнецов, И.А.Шеренков, Н.Ф.Антонников, М.А.Михалёв и ряд других авторов.

Имеющиеся работы можно разделить на три группы:

- а) работы, посвящённые изучению свободного растекания потока;
- б) работы, рассматривающие как свободные растекания, так и сбойное течение;
- в) работы, посвящённые изучению сбойных течений.

Свободное растекание потока в настоящее время достаточно хорошо изучено и находит своё решение во многих инженерных задачах. Исследования И.А.Шеренкова позволяют определить величину удельного расхода, скорость и глубину в любой точке зоны свободного растекания.

Изучение сбойных течений шло по двум направлениям: первое - исследование причин возникновения, основных форм существования, границ перехода от одного вида сооия к другому; второе - разработ-

ка систем гасителей, рекомендаций по рациональным схемам работы водосбросных отверстий сооружения для предотвращения сбойного течения.

В имеющихся работах достаточно хорошо описана картина сбойного течения. Приводятся определения этого вида сопряжения бьефов. Так, Ву Ван Тао даёт следующее определение сбойного течения:

"Сбойным течением (сбойностью) называется такое течение за местом резкого расширения русла в плане, когда поток, ограниченный с боков водоворотами, устремляется к одному из берегов или блуждает от одного берега к другому".

В большинстве работ отмечается медленное гашение скорости в транзитной струе, неравномерное распределение расхода по ширине нижнего бьефа.

В работах Ф.Г.Гулько приводится классификация основных видов сбойного течения, имеются рекомендации по борьбе с ними.

Б.А.Мадман, Я.Т.Ковалёв, Ф.И.Шикалов, С.К.Кузнецов, Н.М.Константинов, Н.Г.Позняя рекомендуют в своих работах зависимости, позволяющие определить глубину нижнего бьефа, при которой возникает сбойное течение.

В начальной стадии сбойное течение существует при наличии затопленной зоны растекания. С увеличением глубины нижнего бьефа размеры зоны растекания уменьшаются, и на определённом этапе происходит её исчезновение. Сопряжение бьефов осуществляется в виде сбойного течения с затопленным входным потоком. М.В.Абрамов, Д.И.Кумин, В.И.Кузменков предлагают зависимости, позволяющие определить момент затопления входного потока.

Дальнейшее увеличение глубины нижнего бьефа приводит к возникновению переменного сбойного течения, которое характеризуется

периодическим отклонением транзитной струи то к одному, то к другому берегу нижнего бьефа. Для определения глубины нижнего бьефа, при которой происходит возникновение переменного сбойного течения, можно воспользоваться зависимостями С.К.Кузнецова и Ву Ван Тао.

Работы Ф.Г.Гуныко, С.К.Кузнецова и Ву Ван Тао содержат универсальные зависимости, с помощью которых можно определить наличие и вид сбойного течения на любой стадии сопряжения. В основном зависимости получены на основании применения закона изменения количества движения для определённых сечений нижнего бьефа.

В работах Ф.Г.Гуныко, Н.Г.Позней, Н.М.Константинова даны графики изменения скорости вдоль транзитной струи сбойного течения, аналогичные приведенным на рис.3. Вопрос исследования сбойного течения, расчёта изменения скорости в транзитной струе не нашёл пока ещё удовлетворительного решения.

Анализ исследований, проведенных другими авторами, показал, что основные виды сбойного течения достаточно хорошо изучены и нашли отражение в работах Ф.Г.Гуныко и Ву Ван Тао. Кроме того, получены зависимости, позволяющие установить вид сбойного течения по заданной глубине нижнего бьефа.

Имеется ряд рекомендаций по борьбе со сбойными течениями для конкретных схем сопряжения.

Задача наших исследований - выяснение причины возникновения, условия существования и исчезновения сбойного течения для прогнозирования бессбойного сопряжения бьефов, а также изучение изменения осреднённой скорости вдоль транзитной струи с целью определения возможности деформации русла нижнего бьефа.

Экспериментальная установка и методика
проведения опытов.

Сбойное течение исследовалось в прямоугольном горизонтальном лотке шириной $B = 150$ см и длиной рабочей части нижнего бьефа $L = 5 \cdot B = 750$ см. Опыты проводились по схеме внезапного расширения русла на модели плотины практического профиля высотой $P = 35$ см, с криволинейной водосливной гранью. В процессе исследования пропуск расхода осуществлялся через центральное водосливное отверстие, ширина которого (a) изменялась от 3 до 30 см

$$\left(\beta = \frac{a}{B} = 0,02 + 0,2 \right).$$

Исследовалось явление сбойности потока, характера перехода от одного вида сбойного течения к другому, изменение осреднённых скоростей в транзитной струе. Глубина, при которой возникало сбойное течение или происходило изменение его вида, а также глубина потока на промерной вертикали фиксировались системой стационарных и одним переносным пьезометрами. Скорости в транзитной струе сбойного течения измерялись пятиточечным способом при помощи трубки Пито. Расход определялся с помощью треугольного водослива Томсона, расположенного в головной части лотка.

Все опыты были разбиты на десять серий, отличавшихся друг от друга величиной β , изменение которой происходило от серии к серии на одну и ту же величину - 0,02.

Серия опытов начиналась с определения глубины перехода от свободного растекания к сбойному течению. На стадии сбойного течения с незатопленной входной струёй исследовалось изменение скорости вдоль транзитной струи сбойного течения. Далее в опытах фиксировалась глубина перехода к сбойному течению с затопленной входной струёй. Производилось измерение скорости в транзитной

струе. Затем определялся момент появления переменного обойного течения. После увеличения расхода, проходящего через мерный водослив, последования повторялись, начиная со свободного растекания.

Всего было проведено 160 опытов, в 120 из которых измерялись скорости в 2-3 сечениях транзитной струи. Остальные опыты были посвящены качественному анализу пространственного сопряжения бьефов.

Величина расхода изменялась в пределах $Q = (3,0 + 63,0)$ л/сек, число Фруда для потока в сжатом сечении в пределах $Fr = 10 + 40$, а Рейнольдса $Re = 30.000 + 140.000$ и для сечений транзитной струи, в которых измерялась скорость, $Re_s = 12.000 + 90.000$, что соответствует автомоделльной области.

О причинах возникновения обойного течения.

В настоящее время принято считать, что основной причиной возникновения обойного течения является наличие перепада уровней между большим и малым водоворотами. Ввиду разности уровней, что вызывает перепад давления, транзитная струя отклоняется в сторону водоворота с меньшим уровнем. Достоверность данного суждения не вызывает сомнений. Однако, возникновение асимметричных водоворотов само является следствием многих причин.

При асимметричном входе потока в широкий нижний бьеф транзитная струя отклоняется в сторону ближайшего берега, где образуется малый водоворот. Асимметричные водовороты в данном случае порождаются геометрией сопряжения. При расположении водосбросного фронта в пределах некоторой центральной зоны положение транзитной струи заранее неизвестно. Анализ литературных данных и новые исследования позволяют сделать заключение, что в таком случае по-

ложение транзитной струи зависит от "скрытой" асимметрии. Под "скрытой" асимметрией следует понимать всё то, что способствует концентрации расхода на некотором участке нижнего бьефа и служит предпосылкой зарождения сбойного течения. В качестве "скрытой" асимметрии может быть асимметрия верхнего бьефа, сооружения и нижнего бьефа.

Следовательно, первопричиной сбойного течения является постоянная асимметрия потока в пространственных условиях. Это заключение справедливо не только при сопряжении бьефов, но и для открытых потоков.

Сбойное течение в зависимости от глубины нижнего бьефа может принимать несколько видов: сбойное течение с незатопленным и затопленным входным потоком, переменное сбойное течение.

Причиной возникновения сбойного течения с незатопленным входным потоком, когда имеет место подтопленная зона растекания, следует считать косые гидравлические прыжки.

После входа потока в широкий нижний бьеф наблюдается его растекание, что уменьшает концентрацию расхода и препятствует образованию сбойного течения. Однако, наклонное положение косых прыжков относительно оси сооружения способствует последующей концентрации расхода в месте соединения прыжков, где зарождается транзитная струя сбойного течения.

Концентрация расхода косыми прыжками происходит ввиду обмена некоторой массой жидкости между вальцом прыжка и транзитным потоком.

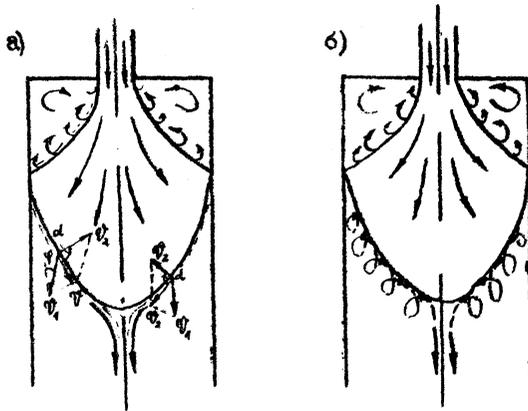


Рис. I. Концентрация расхода косыми гидравлическими прыжками.

- v_1 - скорость в конце зоны растекания; v - результирующая скорость;
 v_2 - скорость частиц в вальце прыжка; φ - угол растекания;
 $\alpha \approx 90^\circ$.

Частицы жидкости, попавшие в валец из транзитного потока, обуславливают винтовое движение жидкости в нём, направленные к месту соединения прыжков (рис. I-б). В транзитном потоке происходит сложение движения частиц, покинувших валец, с движением частиц транзитного потока. Результирующая суммарного движения направлена вдоль косога прыжка (рис. I-а).

Формирование транзитной струи **собойно** течения при затопленном входном потоке происходит непосредственно на начальном участке нижнего бьефа. Отклонение её от **осевого** положения обуславливается геометрией сопряжения или "скрытой" асимметрией потока в пространственных условиях.

При значительной глубине нижнего бьефа происходит прорыв

жидкости из большого водоворота в малый. В большом водовороте в месте прорыва образуется локальный вихрь, который способствует утечке жидкости в малый водоворот. Происходит его наполнение, размеры водоворота увеличиваются, транзитная струя перемещается к оси нижнего бьефа. Однако, ввиду инерционности процесса, утечка жидкости продолжается ещё некоторое время. Локальный вихрь превращается в малый водоворот, отклоняя в свою сторону транзитную струю. Наблюдается вынос жидкости транзитным потоком из вновь образовавшегося малого водоворота, вследствие чего размеры его уменьшаются. На определённой стадии при критическом перепаде уровней водоворотов для данных условий наблюдается прорыв жидкости из большого водоворота в малый, процесс повторяется.

Дальнейшее увеличение глубины нижнего бьефа приводит к тому, что над входным потоком имеет место постоянное сообщение между водоворотами, вследствие чего происходит ликвидация перепада уровней, размеры водоворотов становятся одинаковыми. Исчезновение асимметричных водоворотов приводит к ликвидации обойного течения. Сопряжение происходит в виде истечения под уровень.

На стадии обойного течения с затопленным входным потоком была проделана попытка отклонить транзитную струю к противоположному берегу нижнего бьефа, что достигалось путём введения преграды (листа фанеры) в транзитную струю под углом к ней. Отражённая струя разругала большой водоворот, и на его месте образовывался малый. За преградой, на месте малого, возникал большой водоворот. При удалении преграды транзитная струя сохраняла своё новое положение, причём размеры водоворотов, длина участка течения были как бы зеркальным отображением прежней картины обойного течения. Измерение скорости в соответствующих сечениях подтвердило такое заключение, так как отклонение их было в пределах

точности измерений.

Описанный эксперимент позволил сделать следующий вывод: положение транзитной струи при центральном входе потока в широкий нижний бьеф определяется "скрытой" асимметрией сопряжения; размеры транзитной струи, распределение скоростей зависят от характеристик сопрягающихся потоков. Это позволяет исследовать сбойное течение при работе центрального водосбросного отверстия как стационарный процесс, так как структура транзитной струи в данном случае не зависит от её положения.

Область существования сбойного течения.

Одним из основных факторов, влияющих на характер сопряжения бьефов, следует считать их относительную ширину (β), которая может изменяться в широких пределах ($0 < \beta < \infty$). При $\beta > 1$ имеет место внезапное сужение русла, сопряжение характеризуется сжатием потока. Если $\beta > 4,0$, то наблюдается совершенное сжатие потока, и размеры русел не влияют на величину сжатия. Этот диапазон изменения можно назвать бесконечно широким верхним бьефом.

В пределах $3,5 < \beta < 4,0$ сказывается влияние размеров подводящего русла на величину сжатия потока. Однако, это влияние незначительно, и им можно пренебречь. Данный диапазон изменения характеризуется как переходная зона.

При $\beta < 3,5$ сжатие потока уменьшается при уменьшении β . В данном случае уже необходимо учитывать влияние размеров верхнего бьефа на величину сжатия потока на участке сопряжения. Этот диапазон можно назвать верхним бьефом конечной ширины.

В диапазоне $0,8 \leq \beta \leq 1,2$ на участке сопряжения поток практически не претерпевает изменений - имеет место плоская за-

дача.

Дальнейшее уменьшение β характеризуется сопряжением в виде внезапного расширения потока ($\beta < 1$). При этом поток на участке сопряжения должен принять размеры более широкого русла, что возможно в виде свободного растекания, сбойного течения и истечения под уровень. Следовательно, в этом диапазоне изменения β при определённых условиях возможно возникновение сбойного течения.

Как показали наши исследования, при достаточной ширине нижнего бьефа наступают условия, исключающие возможность существования сбойного течения. Сопряжение происходит в виде свободного и подтопленного растекания и истечения под уровень. Значительная ширина нижнего бьефа предотвращает возможность образования асимметричных водоворотов. Входной поток растекается симметрично относительно оси нижнего бьефа. В наших опытах это наступало при $\beta = 0,02$ и $Fr = 10$.

Диапазон изменения $0,02 < \beta < 0,8$ можно назвать нижним бьефом конечной ширины, а при $\beta < 0,02$ - нижним бьефом бесконечной ширины. Граница перехода от нижнего бьефа конечной ширины к бесконечной его ширине требует дополнительных исследований, так как она зависит от величины числа Фруда входного потока.

В зависимости от соотношения размеров сопрягающихся русел предлагается следующая классификация сопряжения бьефов:

I. Внезапное сужение русла $I < \beta$.

- а) верхний бьеф бесконечной ширины $4,0 \leq \beta < \infty$;
- б) переходная зона $3,5 \leq \beta < 4,0$;
- в) верхний бьеф конечной ширины $1,2 < \beta < 3,5$;

II. Плоская задача $0,8 \leq \beta \leq 1,2$;

III. Внезапное расширение русла $0,0 < \beta < 0,8$;

- а) нижний бьеф конечной ширины $0,2 < \beta < 0,8$;
 б) нижний бьеф бесконечной ширины $0,0 < \beta < 0,02$.

Нижний бьеф конечной ширины характеризуется тем, что в данном диапазоне изменений β возможно возникновение сбойного течения. Наличие конечной ширины нижнего бьефа для возникновения сбойного течения является необходимым условием, но не достаточным. В качестве достаточного условия в данном случае выступает значение определённой глубины нижнего бьефа. Если взять координатную плоскость с осями $\zeta_h = \frac{h_{нб}}{h}$ и β , где: $h_{нб}$ - глубина потока нижнего бьефа; h - глубина потока в сжатом сечении, то на этой плоскости существует область, в пределах которой возможно существование сбойного течения (рис.2).

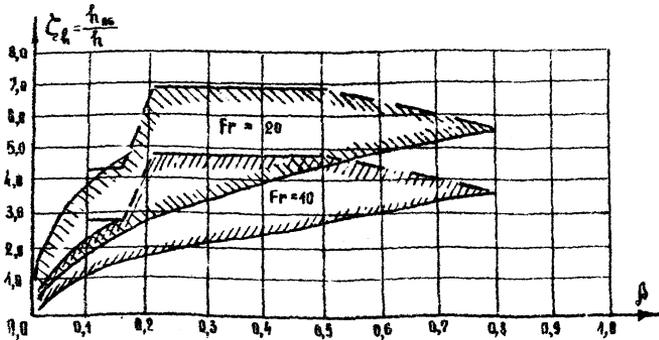


Рис.2. Область существования сбойного течения.

Снизу эта область ограничена условиями свободного растекания потока и может быть найдена согласно зависимости С.К.Кузнецова:

$$\zeta_h = \frac{h_{нб}}{h} = 0,5 \cdot K \cdot \beta \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \frac{d \cdot Q^2 \cdot B^2}{g \cdot b^3 \cdot h^3}} - 1 \right) \quad (I)$$

где: $\kappa = 0,8 - (0,9 - \beta) \cdot 0,15$

Справа область ограничена условиями плоской задачи $\beta > 0,8$, слева - условиями бесконечно широкого нижнего бьефа $0,02 > \beta$, сверху - условиями истечения под уровень, которые могут быть определены согласно рекомендациям Ву Ван Тао:

для $\beta = 0,2 + 0,5$

$$\zeta_{\kappa} = 0,6 (\sqrt{1 + 8 \cdot Fr} - 1) \quad (2)$$

для $\beta = 0,1 + 0,17$

$$\zeta_{\kappa} = 0,25 (\sqrt{1 + 16 \cdot Fr} - 1) \quad (3)$$

Так как ранее исследования верхней границы сбойного течения при малых числах β почти не проводились, нами были проведены опыты для этой области ($0,02 \leq \beta \leq 0,2$). Всего этому вопросу было посвящено 45 опытов. Исследования позволили обнаружить существование бесконечно широкого нижнего бьефа и получить зависимость для определения верхней границы сбойного течения в следующем виде:

$$\zeta_{\kappa} = 0,75 \cdot \sqrt[4]{Fr \cdot \beta} \quad \text{или} \quad (4)$$

$$h_{не} = 0,75 \cdot h \cdot \sqrt[4]{Fr \cdot \beta} \quad (5)$$

где: $h_{не}$ - глубина нижнего бьефа, при которой происходит ликвидация сбойного течения.

В диссертации приводится номограмма для решения зависимости (5). Сравнение результатов, полученных по зависимости (5) с данными Ву Ван Тао показывает хорошее совпадение их.

При увеличении числа Фруда входного потока область существования сбойного течения, увеличиваясь в размерах, перемещается вверх относительно координатной оси β (рис.2). Так как область построена в безразмерных координатах, она носит универсальный

характер.

Исследование скоростной структуры
сбойного течения.

Анализ изменения скорости вдоль потока сбойного течения (рис.3) позволил установить два характерных её участка. Участок формирования, на котором происходит интенсивное гашение энергии входного потока за счёт питания водоворотов и образования транзитной струи. Последующий участок характеризуется плавным расширением её по ширине и глубине. Здесь наблюдается медленное гашение скорости, что приводит к размыву русла нижнего бьефа.

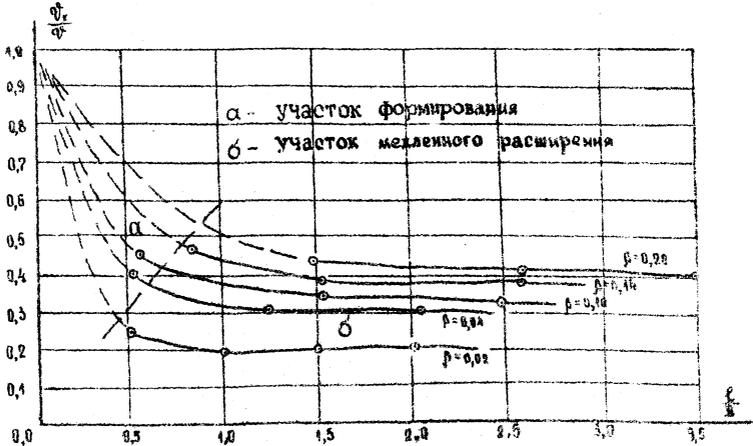


Рис.3. Изменение относительной скорости вдоль оси транзитной струи сбойного течения.

В зависимости от глубины нижнего бьефа следует различать два принципиально различных случая формирования транзитной струи. В первом случае, при незначительной глубине нижнего бьефа, когда имеет место подтопленная зона растекания, формирование транзитной струи происходит благодаря наличию ксеногидравлических

прыжков. Во втором случае формирование происходит непосредственно на начальном участке нижнего бьефа. Длина участка формирования (расстояние от сжатого сечения до конца участка формирования, включая и зону подтопленного растекания) для первого случая может быть определена согласно зависимости:

$$l_{\varphi} = B \frac{h}{h_{нс}} \cdot \sqrt{Fr \cdot \beta} \quad (6)$$

а для второго случая:

$$l'_{\varphi} = 0,3 B \frac{h}{h_{нс}} \cdot \sqrt{Fr \cdot \beta} \quad (7)$$

Обработка результатов исследования способом наименьших квадратов позволила установить следующие зависимости:

а) для определения средней по глубине скорости в конце участка формирования при незатопленном входном потоке (при наличии зоны растекания):

$$V_1^{\varphi} = 2,3 \cdot V^{\varphi} \cdot \beta^{0,46} \cdot \left(\frac{h_1}{h}\right)^{0,3}; \quad (8)$$

б) тоже при затопленном входном потоке (при отсутствии зоны растекания):

$$V_1^{\varphi'} = 1,6 \cdot V^{\varphi} \cdot \beta^{0,4} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_1}}; \quad (9)$$

где: V_1^{φ} и $V_1^{\varphi'}$ - средние по глубине скорости на оси динамической струи сбойного течения;

h и h_1 - глубина в сжатом сечении и в конце участка формирования;

V^{φ} - скорость в сжатом сечении.

Сбойное течение при незатопленном потоке (при подтопленном растекании) наблюдается в случае, если:

$$h_p \leq h_{нс} \leq 1,2 \cdot h$$

где: h_p - глубина, полученная по зависимости (1);

Сбойное сопряжение с затопленным входным потоком происходит

дит, согласно рекомендациям Ву Ван Тао и нашим исследованиям при:

$$1,2h \leq h_{нб} \leq 1,2 \cdot h''$$

где: h'' - вторая сопряжённая глубина совершенного гидравлического прыжка, если первая равна глубине потока в сжатом сечении.

На участке медленного расширения изменение скорости практически не зависит от условий формирования транзитной струи, кривые изменения скорости вдоль транзитной струи на рис.3 практически имеют одинаковый уклон при различных условиях формирования.

Математическая обработка результатов исследования позволила получить эмпирическую зависимость для определения скорости в транзитной струе на участке её медленного расширения:

$$V_2^0 = 1,4 \cdot V_1^0 \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{0,75} \cdot \left(\frac{B}{l}\right) \cdot \beta^{0,21} ; \quad (10)$$

где: V_2^0 - средняя по глубине скорость в некотором сечении транзитной струи на её динамической оси;

V_1^0 - тоже в конце участка формирования;

B - ширина нижнего бьефа;

l - расстояние от конечного сечения участка формирования до сечения, где определяется скорость V_2^0 ;

h_1 и h_2 - глубина в конце участка формирования и в сечении, где определяется скорость.

Для облегчения применения зависимостей (8,9,10) в диссертации приводятся номограммы их решения.

Использование зависимостей (8,9,10) ограничено условиями эксперимента $Fr = 10 + 40$, $\beta = 0,02 + 0,2$ и диапазоном изменения входных в зависимости величин. Так, для зависимости (8) - $C_{\lambda} = 0,5 + 1,1$; для (9) - $C_{\lambda} = 1,0 + 7,0$; для (10) -

- $\zeta_k = 1,0 + 1,5$; $\zeta_e = \frac{V}{c} = 0,5 + 1,0$. Использование зависимостей в других пределах может привести к значительным погрешностям.

Рекомендации по практическому использованию результатов исследований.

Область существования сбойного течения позволяет определить вид пространственного сопряжения, а следовательно, возможность появления сбойного течения при известных значениях ζ_k , β , Fr и носит универсальный характер.

Для определения вида сопряжения необходимо подсчитать по величине пропускаемого расхода глубину и число Фруда в сжатом сечении. По кривой связи $h_{нс} = f(Q)$ можно найти глубину нижнего бьефа, после чего необходимо найти безразмерные величины: $\zeta_k = \frac{h_{нс}}{h}$, $\beta = \frac{b}{B}$ и Fr , по которым определим положение расчётной точки на координатной плоскости ζ_k и β . Если она окажется внутри области существования, то сопряжение происходит при наличии сбойного течения. При расположении расчётной точки ниже области существования, сопряжение происходит в виде свободного растекания. Если расчётная точка будет выше области существования, имеет место сопряжение в виде истечения под уровнем, которое наиболее безопасно для устойчивости нижнего бьефа. Анализ сопряжения бьефов в случае периодической работы водосбросных пролётов при попуске расхода на сплавных реках, сбросе плавающих тел, промыве наносов, пропуске шуги имеет особо важное значение. Концентрированный сброс расхода даже за короткие промежутки времени вызывает серьёзные разрушения пна и берегов нижнего бьефа.

В практике проектирования и эксплуатации гидрособоружений

имеют место случаи, когда избавиться от возникновения сбойного течения невозможно. В таком случае необходимо определить безопасную, с точки зрения устойчивости сооружения, глубину размыва за креплением. Задача сводится к определению скорости на предполагаемом участке размыва. Для решения данной задачи могут быть использованы зависимости (8, 9) и (10).

Применение зависимостей требует определённого вида сопряжения бьефов, которое зависит от глубины потока в нижнем бьефе. Если глубина нижнего бьефа:

1. Меньше h_p , подсчитанной по зависимости (1), то сопряжение происходит в виде свободного растекания

$$0 < h_{нб} < h_p$$

2. Больше h_p , но меньше $1,2 \cdot h$, то сопряжение имеет вид сбойного течения с незатопленным входным потоком

$$h_p < h_{нб} < 1,2 \cdot h$$

3. Больше $1,2 \cdot h$, но меньше $1,2 \cdot h''$, то имеет место сбойное течение с затопленным входным потоком

$$1,2 \cdot h < h_{нб} < 1,2 \cdot h''$$

4. Больше $1,2 \cdot h''$, то сопряжение происходит в виде истечения под уровень

$$1,2 \cdot h'' < h_{нб} < \infty$$

Для первого случая расчётная средняя по глубине скорость может быть найдена из условия равномерного распределения расхода за зоной растекания.

Во втором случае необходимо, используя зависимость (6), определить длину участка формирования, а по зависимости (8) среднюю скорость в конце этого участка. Далее, применяя зависимость (10), можно определить скорость на участке медленного расширения

транзитной струи. При этом следует учесть, что увеличение вертикальных размеров транзитной струи в наших опытах было равно:

$$\frac{h_2 - h_1}{l} = 0,0046$$

где: h_1 - гл. Бина в конце участка формирования,
(обычно $h_1 = h_{ис}$);

h_2 - глубина потока в некотором последующем сечении;
 l - расстояние между сечениями с глубиной h_1 и h_2 .

В случае сбойного течения с затопленным входным поток л расчёт аналогичен предыдущему. Сначала по зависимости (7) определим длину участка формирования, а по зависимости (9) среднюю по глубине скорость в конце участка формирования. Зависимость (10) позволит определить скорость на некотором последующем участке нижнего бьефа.

При истечении под уровень расчёт производится аналогично первому случаю, так как на начальном участке происходит равномерное распределение расхода по ширине нижнего бьефа.

По данным расчётов может быть получена средняя по глубине скорость. Опыты показали, что на расстоянии $X = (1,5 + 2,0) B$, эпюра скорости по глубине принимает вид характерный для открытых потоков при равномерном движении, поэтому для определения донной скорости можно воспользоваться зависимостью:

$$\frac{V_3}{V_2} = \sqrt{\frac{0,53 \cdot C - 4,1}{C - 2}}; \quad (12)$$

где: V_3 - донная скорость;

V_2 - средняя по глубине скорость;

C - коэффициент Шези.

В диссертации приведен пример расчёта нижнего бьефа при наличии сбойного течения с затопленным и незатопленным входным по-

тока

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Первопричиной возникновения сбойных течений является постоянная асимметрия потока в случае пространственного сопряжения бьефов, порождаемая верхним бьефом, сооружением и нижним бьефом.

2. Периодическое перетекание жидкости из большого водоворота в малый вызывает переменное сбойное течение, которое исчезает при возникновении постоянного сообщения между водоворотами.

3. Положение транзитной струи сбойного течения определяется асимметрией сопряжения, интенсивность и структура сбойного течения зависят от гидравлических характеристик сопрягающихся потоков.

4. Транзитная струя сбойного течения имеет два характерных участка: формирования и медленного расширения, гашение скорости в пределах каждого носит определённый характер.

5. Для практического использования предлагаются:

а) графический способ определения вида сопряжения бьефов путём построения области существования сбойного течения;

б) зависимости (8), (9) и (10), позволяющие определить величину максимальной скорости на любом участке транзитной струи.

Основные положения диссертационной работы опубликованы:

1. В.Т.Парахневич. Влияние относительной ширины бьефов на формирование сбойного течения, Энергетика, Известия КЭЗов, № 6, Минск, 1971.

2. В.Т.Парахневич. О формировании транзитной струи сбойного течения. Строительство и архитектура, Известия БЭЗов, № 3, Дзержинск, 1971.

Результаты исследований были доложены на XXIII и XXIV профессорско-преподавательских научных конференциях Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.