

Э.С. БЕГЛЯРОВА, А.М. БАКШТАНИН, А.В. ДМИТРИЕВА, С.А. СОКОЛОВА,
Д.П. МИХАЙЛЕЦ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТОПЛЕННОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЫЖКА В НЕПРИЗМАТИЧЕСКОМ РУСЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ГЛАДКОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ДНЕ

Цель работы – на основании полученных результатов экспериментальных гидравлических исследований и анализа существующих рекомендаций предложить расчетные зависимости для затопленного гидравлического прыжка в расширяющемся прямоугольном русле с центральным углом роспуска $2\theta \geq 15 \div 45$ на гладком горизонтальном дне. При разработке вопросов, связанных с обоснованием расчетов и конструкций концевых частей водосбросных сооружений из-за сложности гидравлических процессов, возникающих при сопряжении бьефов, многообразия форм пространственного гидравлического прыжка и неустойчивости самого явления опробовано значительное число различных подходов. В качестве рабочего режима сопряжения был принят режим затопленного прыжка. Вопрос о длине затопленного гидравлического прыжка в непризматическом русле имеет важное значение, поскольку от длины зависят продольные размеры водобойной части сооружений и параметры рисбермы. Получена расчетная зависимость длины пространственного затопленного прыжка на гладком водобое при углах роспуска прямоугольного русла $15^\circ < 2\theta \leq 30^\circ$ и числах $Fr_1 = 15 \div 50$.

Расширяющееся призматическое русло, центральный угол роспуска, затопленный гидравлический прыжок, длина прыжка, первая и вторая сопряженные глубины, степень затопления прыжка, число Фруда.

Введение. Пропуск обычных эксплуатационных и паводковых расходов до сих пор представляет существенные проблемы. При пропуске сбросных расходов имеет место пространственный характер движения потока в нижнем бьефе, что вызывает, в свою очередь, неравномерность распределения гидродинамических нагрузок на плиты крепления и, следовательно, ухудшение условий его работы. В пределах крепления поток имеет еще достаточно большую избыточную кинетическую энергию, значительная часть которой тратится на переформирование дна русла и берегов за пределами крепления.

Несмотря на многочисленные исследования различных типов концевых устройств, из-за многообразия форм пространственного гидравлического прыжка и неустойчивости самого явления возникло значительное число различных подходов, причем полученные результаты зачастую противоречивы, а иногда носят взаимоисключающий характер.

Значительный вклад в изучение вопросов гидравлики нижнего бьефа внесли отечественные ученые: Васильев О.Ф.,

Рахманов А.Н., Чертоусов М.Д., Игнатенко Ф.И., Иноземцев А.С. и многие другие, а также ряд зарубежных исследователей [1...11].

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы на основании полученных результатов экспериментальных гидравлических исследований и анализа существующих рекомендаций предложить расчетные зависимости для затопленного гидравлического прыжка в расширяющемся прямоугольном русле с центральным углом роспуска $2\theta \geq 15^\circ \div 45^\circ$ на гладком горизонтальном дне.

Материалы и методы исследований. Методология исследований заключается в анализе результатов полученных лабораторных данных гидравлических параметров затопленного прыжка и сопоставление их с расчетными данными по формулам ряда авторов.

При проведении исследований на масштабных гидравлических моделях использовались лабораторные методы, которые базировались на теории подобия. Теоретические исследования проводились для получения новой расчетной зависимости по определению длины затопленного прыжка.

Гидравлический прыжок в расширяющемся прямоугольном русле отличается от так называемого «плоского» прыжка в прямоугольном русле и может быть классифицирован как «пространственный» прыжок.

Характерной особенностью пространственного прыжка является наличие осевого поверхностного водоворота и интенсивных боковых водоворотов, меняющих свое местоположение и размеры в зависимости от чисел Фруда Fr , угла расширения θ , глубин в нижнем бьефе $h_{НБ}$.

Пространственный прыжок сильно пульсирует в продольном и вертикальном направлениях, а также характеризуется наличием поперечных колебаний транзитного потока между боковыми водоворотами – с уменьшением числа Fr_1 интенсивность колебаний уменьшается.

Во всех литературных источниках в качестве критериев затопления гидравлического прыжка используют неравенство $h_2 < h_{НБ}$ (h_2 – вторая сопряженная глубина, $h_{НБ}$ – бытовая глубина в нижнем бьефе, где распределения скоростей близки к бытовым условиям).

Длина прыжка имеет важное практическое значение, от длины прыжка зависят продольные размеры водобоя и рисбермы, которые необходимо крепить во избежание размывов в нижнем бьефе.

Исследователи интерпретируют длину прыжка в расширяющемся прямоугольном русле на гладком водобое по-разному:

- от сжатого сечения до конца водобойной зоны;
- от сжатого сечения до сечения с критическим состоянием потока;
- от сжатого сечения до сечения, в котором происходит равномерное распределение поверхностных скоростей;
- принимают равной горизонтальной проекции поверхностного вальца;
- от сжатого сечения до сечения в нижнем бьефе, где глубина потока достигает бытовых значений.

В связи с этим, необходимость проведения работ по определению геометрических характеристик затопленного прыжка очевидна.

Экспериментальная установка по изучению затопленного гидравлического прыжка была размещена в зеркальном лотке шириной 100 см с нулевым уклоном и гладким дном, где в средней части располагались

расширяющиеся русла прямоугольного сечения с центральными углами роспуска $2\theta = 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ и 45° .

Начальная ширина воронки роспуска $b_1 = 30$ см, первая сопряженная глубина устанавливалась на выходе из-под плавно очерченной входной грани затвора и во всех опытах была постоянной $h_1 = 3$ см. Относительная ширина потока в сжатом сечении $\beta_1 = b_1/h_1$ составляла 10. Дно лотка и стенки расширяющегося русла выполнялись из железобетонного бетона. Значения чисел Фруда перед прыжком изменялись в опытах $Fr_1 = Q^2 / gb_1^2 h_1^3 = 15 \dots 50$, степень затопления прыжка $\xi_3 = \frac{h_{НБ}}{h_2} = 1,0; 1,2; 1,5; 2,0$, степень расширения потока $\xi_p = \frac{h_{НБ}}{h_1}$ находилась в пределах 4,2...15,8.

Внимание в исследованиях было обращено и на визуальное выявление основных форм сопряжения, изучение особенностей режима движения потока, исследование граничных условий возникновения и схемы форм сопряжения. Наблюдения сопровождалась киносъемкой и зарисовкой каждой формы сопряжения с показом участков транзитного потока, общей картины линий токов, положения зон растекания и водоворотов.

В опытах положение отдельных поверхностей, длины вальцов фиксировались с помощью окрашенных индикаторов и пробковыми поплавками; с помощью тастеров через 2 ÷ 10 см измерялись глубины свободной поверхности; производились замеры скоростей микровертушкой диаметром 8 мм. За конец прыжка принималось сечение, в котором визуально завершался заметный переход ко второй сопряженной глубине h_2 (длина $l_{пр}$ фиксировалась визуально с помощью мерной рейки и при этом учитывались показания донных пьезометров).

Результаты и обсуждение исследований. В качестве примера на рисунке 1 для чисел Фруда $Fr_1 = 15$ и 35 степеней затопления прыжка $\xi_3 = 1,2; 1,5$ и 2,0 дается плановое размещение водоворотов в расширяющейся воронке при $2\theta = 30^\circ$.

Из опытов следует, что при всех углах роспуска воронки в затопленном пространстве прыжке поверхностные водовороты выходят далеко за пределы воронки. Так, в расширяющемся русле $2\theta = 15^\circ$ отмечен выход поверхностных водоворотов за пределы воронки при значениях $Fr_1 = 50$

и затоплении $\xi_3 = 1,2$, а в русле с углами роспуска $2\theta = 30^\circ$ при $Fr_1 = 25$ и $\xi_3 = 1,2$.

На рисунке 2 представлены эпюры скоростей при $Fr_1 = 15$ и разных степенях затопления 1,5 и 2,0 для угла расширения русла $2\theta = 30^\circ$. При рассмотрении этого рисунка видно, что наибольшие по величине скорости потока наблюдаются на начальном участке нижнего бьефа и достигают

1,1...1,5 м/с. При всех исследованных режимах эпюры скоростей на начальном участке водобоя имеют вид, характерный для донного режима. По мере отдаления створов от выходного отверстия эпюры скоростей претерпевают изменения, так наибольшие скорости уменьшаются, достигая в конечных створах, расположенных за пределами водоворотной зоны, значений 0,2...0,5 м/с.

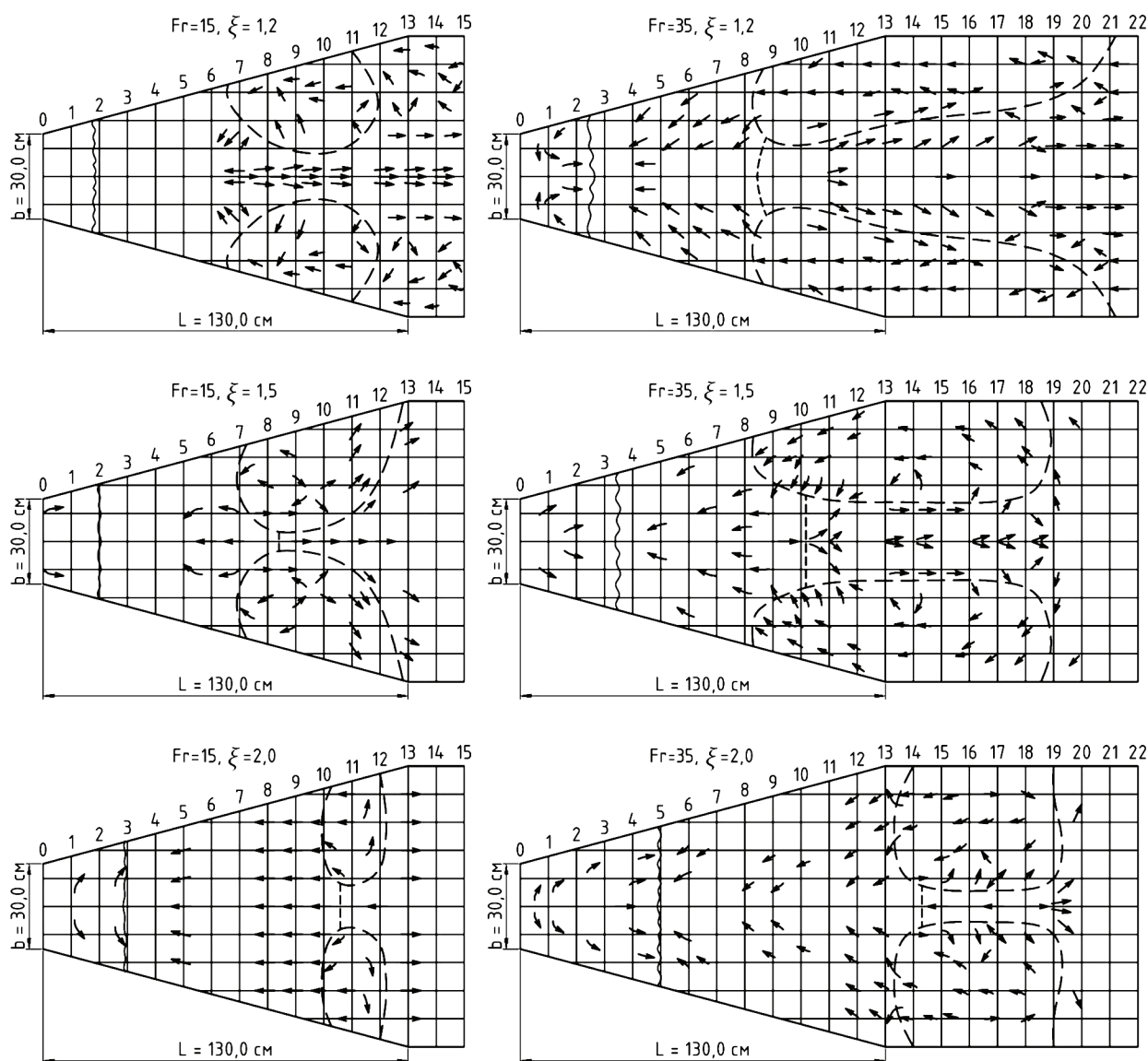


Рис. 1. Гидравлический режим потока в плане расширяющегося русла: при $2\theta > 30^\circ$, глубинах в нижнем бьефе $\xi_3 = 1,2; 1,5$ и $2,0$ и числах Фруда $Fr = 15$ и 35

Как показали наши замеры скоростей вдоль оси затопленного прыжка, поверхностный водоворот имеет значительную протяженность по мере уменьшения затопления нижнего бьефа угла вертикального расширения транзитной струи.

При угле роспуска стенок прямоугольного русла $2\theta > 30^\circ$ и значениях чисел

$Fr_1 = 15$, затопления $\xi_1 = 1,0$ в отдельных случаях осевой поверхностный валец имел некоторое смещение к боковым стенкам воронки без прилипания транзитной струи к стенке. Аналогичное явление отмечено рядом исследователей. С увеличением затопления прыжка и числа Fr_1 асимметрия исчезала [9, 10].

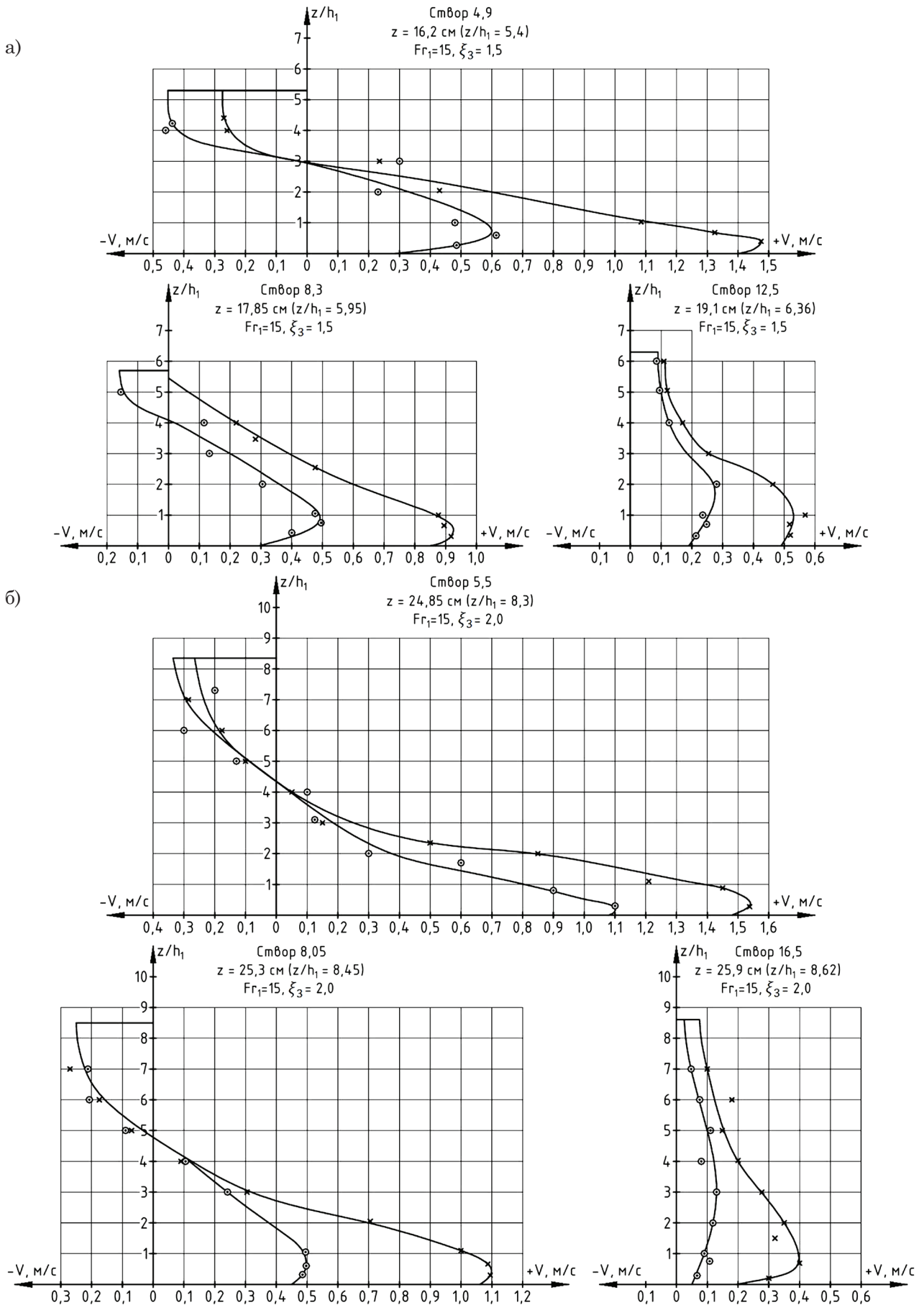


Рис. 2. Распределение скорости в расширяющемся русле при $2\theta = 30^\circ$ и $Fr = 15$:
 x – ось потока; o – на расстоянии $\frac{1}{4}$ ширины створа от стенки, $h_1 = 3 \text{ см}$,
 z – глубина потока в сечении

При расширении стенок воронки до угла $2\theta > 30^\circ$ сопряжение бурного потока со спокойным происходит в виде сбойного течения. По другим данным уже при угле $2\theta > 25^\circ$ поток примыкает к боковой стенке [3].

Все это говорит о недопустимости применения расширяющихся русел с углом $2\theta > (23^\circ \div 30^\circ)$ без гасителей на водобое, так как роль собственно воронки в растекании потока резка снижается, что отмечается и другими исследователями [8].

В результате обработки полученных экспериментальных данных предлагается зависимость для определения длины затопленного прыжка $l_{пз}$ в расширяющемся русле на гладком дне [11]:

$$l_{пз} = \frac{l_1}{0,18 \cdot (\xi_{в} + 1) \cdot l - 1} \cdot h_{1 \lambda} \quad (1)$$

где l_1 – длина совершенного пространственного прыжка в расширяющемся русле (определяемая при углах роспуска $2\theta \leq 15^\circ$ по формуле Ф.И. Игнатенко [5] или М.Д. Чертоусова [4]; для углов $30^\circ \geq 2\theta > 15^\circ$ – по формуле Э.С. Бегляровой [10].

Бегляровой Э.С. при углах расхождения стенок непризматического русла $2\theta \leq 30^\circ$ для значений расширения потока $\beta_1 = b_1/h_1 = 3,7 \div 3,8$ получено для совершенного прыжка уравнение длины:

$$l_{пз} = h_1 (0,06\beta_1 - 3,2\text{tg}\theta + 6,4) \sqrt{Fr_1 - 1} \quad (2)$$

и изменение осевой максимальной скорости:

$$\frac{U_{max}}{U_1} = 0,8 - 0,044 \frac{X}{h_1} + 0,02Fr_1. \quad (3)$$

Для расчета длины затопленного прыжка $l_{пз}$ в расширяющемся русле при углах $2\theta \leq 15^\circ$ известна также зависимость А.С. Иноземцева [6].

Сопоставление опытных и расчетных длин затопленного прыжка в расширяющемся русле по зависимости (1), по зависимости А.С. Иноземцева [6], а также по зависимости для плоского затопленного прыжка, предложенной С.К. Кузнецовым и др. [7] показывает, что предлагаемая зависимость (1) дает совпадение с опытом со средним отклонением расчетных и опытных величин в пределах 4,5...10%. С уменьшением угла роспуска отводящего русла наблюдается тенденция уменьшения длины затопленного гидравлического прыжка, что показательно и для совершенного пространственного прыжка [2-4].

Наблюдаемое увеличение протяженности поверхностного водоворота при затоплении прыжка на гладком водобое как в прямоугольном, так и в расширяющихся руслах требует удлинения крепления нижнего бьефа. Сокращения длины крепления можно достигнуть постановкой гасителей на водобое.

В пределах послепрыжкового участка (длиной $l_{п.п.}$) происходит переход осредненных и пульсационных скоростей и давлений характерных концу гидравлического прыжка к значениям, свойственным потоку в бытовом состоянии.

В конце гидравлического прыжка преобладают крупномасштабные пульсации, а в бытовом режиме потока – мелкомасштабные характерные невозмущенному режиму. Это отражаем и на рис. 2 [2].

Длины послепрыжкового участка входят [9]:

$$\text{– по М.Д. Чертоусову} \quad l_{п.п.} = (2,5 \div 3) l_{пр}, \quad (4)$$

$$\text{– по М.С. Вызго} \quad l_{п.п.}/h_{нб} = 0,4/n_{ш}, \quad (5)$$

где $n_{ш}$ – коэффициент шероховатости русла; $h_{нб}$ – глубина воды в отводящем русле (ниже гидравлического прыжка) в бытовых условиях; $l_{пр}$ – длина гидравлического прыжка.

Длина поверхностного вальца уменьшается с увеличением относительной шероховатости по сравнению с длиной гидравлического прыжка на гладком дне [2, 3].

Глубина в конце вальца также уменьшается с увеличением коэффициента Дарси λ .

Вторая сопряженная глубина h'' на шероховатом русле по сравнению с руслом на гладком водобое уменьшается при увеличении относительной шероховатости [2].

При равнозернистой шероховатости с высотой выступа шероховатости Δ вторая сопряженная глубина h'' при значениях $\Delta/h'' = 0,05$ уменьшается примерно на 9%, при $\Delta/h'' = 0,1$ – на 12%, при $\Delta/h'' = 0,2$ – на 18% по сравнению с гладким руслом.

Свободная поверхность гидравлического прыжка представляет собой криволинейную поверхность сложной формы. В разрезе по оси потока она дает кривую линию, плавно сопрягающуюся с плоской свободной поверхностью спокойного потока.

Кривая, характеризующая осредненную свободную поверхность в «пространственном» прыжке, представлена на рисунке 3. Как видно, все точки, соответствующие замерным глубинам для углов $2\theta = 13^\circ, 16^\circ, 20^\circ$,

20° , 30° независимо от числа Фруда, от относительной ширины потока $\beta_1 = b_1/h_1$ и от угла расширения 2θ , легли на одну кривую, построенную в универсальных координатах, принятых А.Н. Рахмановым [3] при изучении совершенного прыжка в прямоугольном русле. Следовательно, кривая свободной поверхности гидравлического прыжка в расши-

ряющемся непризматическом русле может быть описана зависимостью вида:

$$\bar{Z} = 0,225\bar{X} - 0,0125\bar{X}^2, \quad (6)$$

где $\bar{Z} = \frac{h-h_1}{h_2-h_1}$, $\bar{X} = \frac{X}{h_2-h_1}$, X и h – соответственно расстояние от начала прыжка до рассматриваемого сечения и глубина в этом сечении.

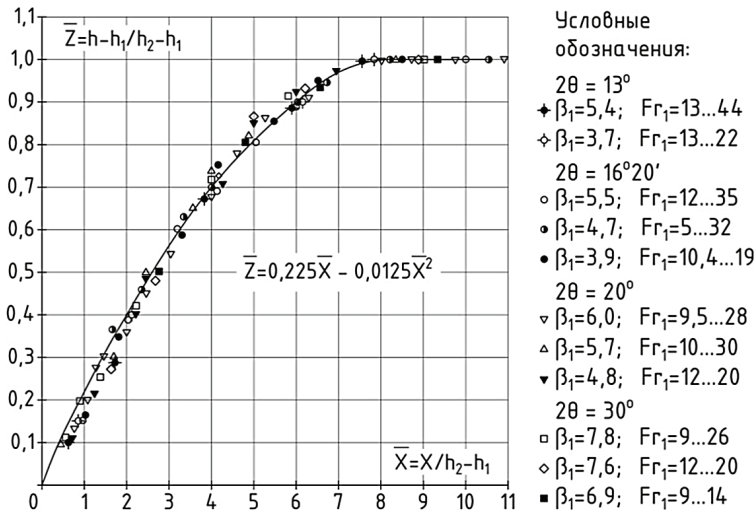


Рис. 3. Профили свободной поверхности гидравлического прыжка

Среднеквадратичное отклонение опытных точек от значений, определенных по формуле (6) равно $\pm 5\%$.

Выводы

Анализ и обобщение как данных других исследователей, опубликованных в научно-технической литературе, так и результатов наших экспериментальных исследований, выполненных в рамках настоящей работы, позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Исходя из структуры скоростного режима, гидродинамического давления, длину прыжка следует принимать как расстояние по оси потока от начального осредненного фронта прыжка до сечения, в котором практически завершается возрастание глубины, т.е. переход бурного потока в спокойное.

2. Относительная величина длины поверхностного водоворота гидравлического прыжка к его высотным размерам $h_B/(h_2-h_1)$ слабо зависит от числа Фруда Fr_1 в сжатом сечении, но является функцией относительного расширения потока $\beta_1 = b_1/h_1$.

3. Получена расчетная зависимость длины пространственного затопленного прыжка на гладком водоеме при углах роспуска прямоугольного русла $15^\circ < 2\theta \leq 30^\circ$ и числах $Fr_1 = 15 \div 50$.

4. Незначительная асимметрия относительно оси русла начальных перед прыжком и граничных вдоль него условий, а также наличие поперечных колебаний транзитного потока между боковыми водоворотами может привести к сбойности, что исключается специальными устройствами (гасителями), сооружаемыми в нижнем бьефе.

Библиографический список

1. Васильев О.Ф. Пространственный гидравлический прыжок и растекание потока в расширяющемся русле. / Труды Гидравлической лаборатории МИСИ. – М.: Госстройиздат. 1958. – С. 40-50.
2. Рахманов А.Н. О двух режимах незатопленного и затопленного донного гидравлического прыжка и о длинах водоворотного участка этого прыжка. / Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1956. Т. 55 – Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1956. – С. 37-73.
3. Рахманов А.Н. Очертание поверхностного водоворота и транзитного потока и некоторые скоростные характеристики донного гидравлического прыжка. / Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1958. Т. 59. – Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1958. – С. 30-61.

4. **Чертоусов М.Д.** Гидравлика. 4-е изд.: Специальный курс. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 630 с.

5. **Игнатенко Ф.И.** Расчетные зависимости для определения размеров гидравлического прыжка в расширяющемся прямоугольном русле // Известия ВУЗов. Новосибирск: Строительство и архитектура. – 1967. – № 5. – С. 141-144.

6. **Иноземцев А.О.** Линейные размеры гидравлического прыжка в расширяющихся руслах с прямоугольными и трапециевидными поперечными сечениями и жестким горизонтальным дном. / Научн. труды № 57. – Омск: ОСХИ, 1965. – С. 352-357.

7. **Кузнецов С.К., Бондарь В.М., Безусян А.В.** Геометрические характеристики затопленных прыжков / Республиканский межведомственный научно-технический сб. «Гидромелиорация и гидротехническое строительство». Вып. 4. – Львов: Львовский государственный университет, 1976. – С. 29-52.

8. **Шеренков И.А.** Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков. – М.: Энергия, 1978. – 240 с.

9. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика: Учебное пособие для ВУЗов. 3 изд., переработ. и дополн. – М.: КолосС, 2004. – 656 с.

10. **Беглярова Э.С.** Исследование гидравлического прыжка в плавно расширяющемся прямоугольном русле / Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М.: МГМИ, 1973. – 17 с.

11. **Дмитриева А.В., Ткаченко П.Е.** О длине затопленного прыжка. / Труды Московского гидромелиоративного института. Гидравлика. Том 68. – М.: МГМИ, 1980. – С. 13-20.

Материал поступил в редакцию
18.01.2018 г.

Сведения об авторах

Беглярова Эвелина Суреновна, кандидат технических наук, профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел. +7(499) 9762156;

Бакштанин Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19. e-mail: bakshstanin@mail.ru

Дмитриева Альбина Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19.

Соколова Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел. +7(499) 9762156; e-mail: sokolovasvetlana@mail.ru

Михайлец Дмитрий Петрович, аспирант кафедры гидротехнических сооружений факультета гидротехнического, агропромышленного и гражданского строительства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел.: +7(962)9977050; e-mail: mihaylets.d.p@yandex.ru

E.S. BEGLYAROVA, A.M. BAKSHTANIN, A.V. DMITRIEVA, S.A. SOKOLOVA, D.P. MIKHAYLETS

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – Moscow Timiryazev agricultural academy», Moscow, Russian Federation

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SUBMERGED HYDRAULIC JUMP IN THE UNPRISMATIC WATERCOURSE HAVING A RECTANGULAR CROSS SECTION AND A SMOOTH HORIZONTAL BOTTOM

The aim of the work is on the basis of the received results of experimental hydraulic investigations and analysis of the existing recommendations to propose rated dependences for the submerged hydraulic jump in the expanding rectangular channel with the central angle of dissolution $2\theta \geq 15 \div 45$ on the smooth horizontal bottom. When developing problems connected with the substantiation of calculations and structures of spillway outlet parts there was tested a substantial number of different approaches due to the complexity of hydraulic processes arising at ponds conjugation, diversity of forms of spatial hydraulic jump and instability of the phenomena. As a working regime

of conjugation there was accepted a regime of the submerged jump. The problem on the length of the submerged hydraulic jump in the unprismatic watercourse is of a great importance because longitudinal sizes of the hearth part of structures and parameters of spillway apron depend on it. There is received a dependence of the length of spatial submerged jump on the smooth hearth with angles of dissolution of the rectangular channel $15^\circ < 2\theta \leq 30^\circ$ and numbers $Fr_1 = 15 \div 50$.

Expanding prismatic watercourse, central angle of dissolution, submerged hydraulic jump, length of jump, first and second conjunction depths, degree of jump submersion, Froude number.

Reference list

1. **Vasiljev O.F.** Prostranstvenny gidravlicheskiy pryzhok i rastekanie potoka v rasshiryayushchemya rusle. / Trudy Gidravlicheskoj laboratorii MISI. – M.: Gosstrojizdat, 1958. – S. 40-50.

2. **Rakhmanov A.N.** O dvuh rezhimakh nezatoplennoy i zatoplennoy donnoy gidravlicheskoy pryzhki i o dlinakh vodovorotnoy uchastka etogo pryzhka. / Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1956. T. 55 – L.: VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1956. – S. 37-73.

3. **Rakhmanov A.N.** Ochertaniye poverhnostnogo vodovorota i tranzitnogo potoka i nekotoryye skorostnyye karakteristiki donnoy gidravlicheskoy pryzhki. / Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1958. T. 59 – L.: VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1958. – S. 30-61.

4. **Chertousov M.D.** Gidravlika. 4-e izd.: Spetsialny kurs. – M. – L.: Gosenergoizdat, 1962. – 630 s.

5. **Ignatenko F.I.** Raschetnyye zavisimosti dlya opredeleniya razmerov gidravlicheskoy pryzhki v rasshiryayushchemya pryamougolnom rusle // Izvestiya VUZov. Novosibirsk: Stroitelstvo i arhitektura. – 1967. – № 5. – S. 141-144.

6. **Inozemtsev A.O.** Linejnyye razmery gidravlicheskoy pryzhki v rasshiryayushchihy ruslah s pryamougolnymi irtrapetsendalnymi poperechnymi secheniyami i zhestkim gorizontalnym dnom. / Nauchn. trudy № 57. – Omsk: OSHI, 1965. – S.352-357.

7. **Kuznetsov S.K., Bondar V.M., Bezusyan A.V.** Geometricheskie karakteristiki zatoplennoy pryzhki / Respublikanskiy mezhvedomstvenny nauchno-tehnicheskyy sb. «Gidromelioratsiya i gidrotehnicheskoye stroitelstvo». Vyp. 4. – Lvov: Lvovskyy gosudarstvennyy universitet, 1976. – S. 29-52.

8. **Sherenkov I.A.** Prikladnyye planovy zadachi gidravliki spokojnykh potokov. – M.: Energiya, 1978. – 240 s.

9. **Shterenliht D.V.** Gidravlika: Uchebnoye posobie dlya VUZov. 3 izd., pererabot. i dopoln. – M.: KolosS, 2004. – 656 s.

10. **Beglyarova E.S.** Issledovaniye gidravlicheskoy pryzhki v plavno rasshiryayush-

chemsya pryamougolnom rusle / Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kand. teht. nauk. – M.: MGMI, 1973. – 17 s.

11. **Dmitrieva A.V., Tkachenko P.E.** O dline zatoplennoy pryzhki. / Trudy Moskovskogo gidromeliorativnogo instituta. Gidravlika. Tom 68. – M.: MGMI, 1980. – S. 13-20.

The material was received at the editorial office 18.01.2018

Information about the authors

Beglyarova Evelina Surenovna, candidate of technical sciences, professor of the department of complex usage of water resources and hydraulics; HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; tel.: 8(499) 9762156.

Backstein Alexander Mikhailovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of complex usage of water resources and hydraulics; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19. tel.: 8(499)9762156; e-mail: bakshtanin@mail.ru

Dmitrieva Albina Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the department of complex usage of water resources and hydraulics; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; tel.: 8(499) 9762156.

Sokolova Svetlana Anatoljevna, candidate of technical sciences, associate professor of the department of complex usage of water resources and hydraulics; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19. tel.: 8(499) 976-21-56; e-mail: sokolovasvetlana@mail.ru.

Mikhaylets Dmitriy Petrovich, postgraduate student of the department of hydraulic structures, FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44, tel.: +7(962)9977050; e-mail: mihaylets.d.p@yandex.ru