


УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБНУ «Федеральный  
научный центр Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
гидротехники и мелиорации имени  
А.Н. Костякова», д.с.-х.н., профессор  
академик РАН

 В.А. Шевченко

«31»  2023 г.



### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертацию «**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНО-ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СОПРЯЖЕНИЯ ПОТОКОВ**» Щесняка Леонида Евгеньевича, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. – гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

#### **Актуальность избранной темы.**

Водосбросные системы гидроузлов и их сопряжения с нижним бьефом представляют собой сложную задачу при проектировании и эксплуатации.

В практике гидротехнического строительства наряду с традиционными конструкциями водосбросных систем гидроузлов всё чаще стали применяться сравнительно новые схемы водосбросов с закруткой потока. Такие конструкции получили название вихревые, поскольку они используют эффекты продольно-циркуляционных (закрученных) потоков. Водосбросы с закруткой потока предназначены преимущественно для использования при высоких напорах и скоростях течения воды. Использование таких сооружений способно защищать обтекаемые поверхности от кавитационной эрозии, обеспечивая безопасное сопряжение сбрасываемого потока с массивом воды в нижнем бьефе за счет гашения кинетической энергии потока в пределах напорного водосбросного тракта, до выхода его в нижний бьеф. В связи с этим тема диссертации Щесняка Леонида Евгеньевича весьма актуальна как в теоретическом, так и прикладном аспектах.

Анализ разработанности проблемы исследования, представленный в диссертации, показывает, что работа Щесняка Л.Е. продолжает отечественную традицию исследования циркуляционных и циркуляционно-продольных течений жидкостей и газов (закрученных потоков) широко используемых в различных технологических процессах, сооружениях и установках.

При этом проблемы сопряжения закрученных потоков с нижним бьефом изучены недостаточно полно, что послужило основанием для выбора тематики настоящего диссертационного исследования.



## **Достоверность и новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Цель работы - исследование гидравлических характеристик сопряжения продольно-циркуляционных течений с массивом воды нижнего бьефа аналитическими, физическими и математическими (численными) методами.

Для достижения поставленной цели выполнялись гидравлические расчеты закрученных турбулентных струй, выходящих из концевых сечений вихревых водосбросов под уровень нижнего бьефа в случае выпуска струи в неподвижное пространство, в спутный или сносящий поток. На экспериментальном стенде проведено физическое моделирование условий сопряжения нижнего бьефа с закрученной затопленной струей, выходящей из вихревого водосбросного сооружения, формирующего донный режим течения. Математическое моделирование с использованием численного метода позволило определить режимы сопряжения затопленной закрученной струи с водным потоком в нижнем бьефе и определить гидравлические условия течения. Достоверность полученных результатов обусловлена применением в работе аналитического, физического и математического способов получения необходимой информации о физическом явлении. Физическое и численное моделирование гидравлических процессов по отдельности являются приближёнными способами. В настоящее время, для получения достоверных данных о сложном механическом явлении используются оба указанных подхода, которые дополняют друг друга, позволяя получить надёжные и достоверные результаты.

**Значимость для науки и практики полученных автором результатов.** Работа имеет несомненную теоретическую и практическую значимость результатов. *Теоретическая значимость работы* состоит в определении базовых характеристик затопленной закрученной струи в безграничном пространстве, включающем распределение максимальной продольной скорости на оси струи и скорости в поперечных ее сечениях, уточнении базовых характеристик струи путем прибавления к ее продольной скорости компоненты скорости воды нижнего бьефа. Также в определении очертания криволинейной оси струи, принимаемой за координатную ось без изменения масштаба длины и ширины струи в плане по требуемой скорости на границе струи с помощью профилей продольной скорости в поперечном сечении струи.

Практическая значимость исследований заключается в организации и проведении физического моделирования, которое позволило получить необходимые данные в лабораторных условиях с помощью экспериментального стенда, позволяющего моделировать закрученный поток с последующим выпуском его в движущийся водный массив в гидравлическом лотке. Также разработанная автором методика измерения скорости закрученного потока ультразвуком в толще воды по трём ортогональным координатам.



Результаты численных экспериментов продемонстрировали сопряжение вихревого водосброса с нижним бьефом под углом в диапазоне  $45\div 60^\circ$ , при котором минимизировано негативное воздействие закрученных потоков на береговые склоны и русло реки, а также инженерные сооружения гидроузла. Сравнение данных, полученных на физической модели, с данными численного эксперимента показали достаточно высокую сходимость, совпадение лежит в диапазоне от 4 до 13%.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации в достаточной мере обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

### **Содержание диссертации, ее завершенность.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Объем работы: 224 страницы машинописного текста, 122 рисунка, 24 таблицы. Список литературы включает 135 наименований.

**Первая глава** посвящена обзору исследований, посвященных сопряжению уровней верхнего бьефа и нижнего через водосбросные гидротехнические сооружения.

Развитие инженерной науки позволяет возводить сложные гидротехнические сооружения с высокими напорами, что влечет за собой ряд сложностей, которые необходимо решить для безопасной и безаварийной работы этих сооружений. Два самых критических явления — это кавитация и избыточная кинетическая энергия. Существуют разные способы решения этих проблем, однако самыми целесообразными является борьба с этими явлениями внутри гидротехнического сооружения. Научные изыскания многих Авторов и расширяющаяся практика применения закрученных потоков в составе гидротехнического сооружения, уже позволяют использовать разного рода завихрители потока при проектировании ГТС, однако, выпуск слабозакрученного потока под уровень нижнего бьефа на начальном участке в  $l \leq 5\div 10d$ , изучен слабо.

**Вторая глава** посвящена рассмотрению закрученных затопленных турбулентных струй в безграничном пространстве, заполненном той же жидкостью. Рассмотрены параметры закрученной затопленной струи в условиях неподвижного массива воды, а также в сносящем и спутном потоке. Аналитически получены безразмерные профили струи для осевой и продольной компонент скорости течения. Определены базовые характеристики затопленной закрученной струи в безграничном пространстве, включающем распределение максимальной продольной скорости на оси струи и скорости по поперечным ее сечениям. Уточнены базовые характеристики струи путем прибавления к продольной скорости струи компоненты скорости воды нижнего бьефа. Определены очертания криволинейной оси струи. Полученная кривая далее принимается за координатную ось без изменения масштаба длины. Определена ширина струи в плане по требуемой скорости на границе струи с помощью профилей продольной скорости в поперечном ее сечении.



**Третья глава** посвящена физическому моделированию распространения затопленной закрученной струи, выходящей из водосбросной системы в стоячий массив воды в нижнем бьефе или сносящий поток. Приводится информация о созданном экспериментальном стенде, с помощью которого моделировалось гидравлическое явление. Дано описание методики проведения модельных исследований и создании модели закручивающего устройства шнекового типа. Приведены результаты исследований в виде полученных распределений скоростей затопленной закрученной струи, выходящей в сносящий поток под разными углами.

Для получения циркуляционно-продольного течения в цилиндрическом канале было изготовлено закручивающее устройство, выполненное из пластика в виде трех шнеков, изготовленных на 3D принтере, отличающиеся шагом спиральной закрутки. Было изготовлено три типа закручивающих устройств одного диаметра. Разработана методика проведения эксперимента. Выполнен анализ условий физического моделирования установившихся вязких закрученных потоков.

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы численного моделирования сложного течения, представляющего сопряжение затопленной закрученной струи со сносящим потоком под разными углами. Дана классификация моделей турбулентности. Создана модель циркуляционно-продольного течения. Исследованы условия сходимости. Получены распределения скорости в потоках сопряжения. Выполнено сравнение результатов физического и численного моделирования.

Дан обзор основных моделей турбулентного течения, их положительные и отрицательные характеристики. Создана модель сопряжения циркуляционно-продольного течения с движущимся массивом воды в нижнем бьефе. Модель реализована в системе Ansys Fluid. Результаты численных экспериментов продемонстрировали, что существует диапазон углов сопряжений вихревого водосброса с нижним бьефом, позволяющий минимизировать негативное влияние закрученных потоков на берега и русло реки, а также инженерные сооружения гидроузла. Рекомендованы углы сопряжения в диапазоне  $45^{\circ} \div 60^{\circ}$ . Численное исследование линий тока частиц в закрученных потоках показало хорошую согласованность вычисленной траектории оси потока с результатами, полученными инженерными методами. Сравнение результатов, полученных на физической модели, с данными численного эксперимента показали их хорошую сходимость (отклонение не превышает  $4 \div 13\%$ ).

#### **Общие выводы по диссертации.**

Анализ содержания и выводов показывают, что поставленные в работе задачи успешно решены автором. Диссертационная работа написана хорошим научным языком, замечаний по оформлению нет.

Выводы являются развернутыми, подтверждающими достижение поставленной цели диссертационной работы, заключающейся в исследовании гидравлических характеристик сопряжения продольно-циркуляционных течений с массивом воды нижнего бьефа аналитическими,



физическими, математическими и численными методами.

Основные положения работы в достаточной мере были обсуждены в докладах на профильных конференциях регионального, всероссийского и международного уровня.

Результаты исследований достаточно полно изложены в 8 научных публикациях, из которых 3 работы опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, (Перечень рецензируемых научных изданий), 3 работы опубликованы в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и 2 работы опубликованы в других научных журналах и изданиях.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и положения, выносимые на защиту.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Полученные научные результаты исследований продольно-циркуляционных течений в задачах сопряжения потоков могут быть использованы в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению «строительство», а так же рекомендованы научным работникам и проектным организациям, занимающимся проектированием высоконапорных водохранилищных гидроузлов.

### **Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации**

К достоинствам работы следует отнести продуманную схему исследований, практическую направленность и значимость полученных результатов, хорошее изложение и оформление экспериментального материала.

К недостаткам и замечаниям по работе можно отнести:

1. Во второй главе приводится аналитический расчёт геометрических и кинематических параметров затопленной закрученной струи в массиве воды нижнего бьефа. Приводятся результаты расчётов. Однако нет сравнения расчётных данных, полученных аналитическим путём, с данными физического моделирования, приведёнными в третьей главе.

2. Автор работы в разделе физическое моделирование (глава 3) для получения закрученного потока, выходящего из водосбросного сооружения, использовал закручивающее устройство в виде четырёхзаходного шнека с различным шагом закрутки. Возможно ли получить закрученный поток закручивающими устройствами других конструкций?

3. Из текста работы не совсем понятны режимы движения воды в гидравлическом лотке при проведении физического эксперимента. Режимы взаимодействия закрученной струи со сносящим потоком в лотке отличались только углом входа, при этом скорость в лотке оставалась неизменной?

Приведенные недостатки не снижают общей научной ценности работы.



**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

Таким образом, диссертация Щесняка Леонида Евгеньевича «Моделирование продольно-циркуляционных течений в задачах сопряжения потоков», является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные разработки, имеющие существенное значение для снижения вероятности кавитационной эрозии, проявляющейся в высоконапорных сопрягающих гидротехнических сооружениях.

Диссертационная работа Щесняка Л.Е. соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. – гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на расширенном заседании отдела гидротехники и гидравлики Федерального государственного бюджетного научного учреждения «ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» «25» октября 2023 года.

Протокол заседания № 5 от «25» октября 2023 г.

Главный научный сотрудник отдела механизации мелиоративных работ ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ

им. А. Н. Костякова», д.т.н., профессор Сметанин Владимир Иванович

Заведующий отделом гидротехники и гидравлики, ведущий научный сотрудник ФГБНУ "ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова", к.т.н.

Щербаков Алексей Олегович

Заведующий отделом механизации мелиоративных работ, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», к.т.н., доцент

Бедретдинов Гаяр Хамзянович.

127550 г. Москва, ул. Б. Академическая, д.44, к. 2

Тел 8(499) 153-72-70

E-mail [contact@vniigim.ru](mailto:contact@vniigim.ru)



ПОДПИСЬ Сметанин В.И.  
Щербаков А.О., Бедретдинов Г.Х.  
ЗАВЕРЯЮ зав.отд.кадров  
7.11.2023