

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Ханова Нартмира Владимировича на диссертационную работу Щесняка Леонида Евгеньевича на тему «Моделирование продольно-циркуляционных течений в задачах сопряжения потоков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6 - Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Актуальность темы исследования

В практику современного гидротехнического строительства внедряются сравнительно новые типы водосбросных систем, использующих эффекты продольно-циркуляционных (закрученных) потоков воды. К ним относятся вихревые водосбросы с монозакруткой или, так называемые, контрвихревые конструкции, в которых происходит взаимодействие двух или более противоположно закрученных и коаксиально расположенных потоков.

Сопряжения выходных участков традиционных водосбросов туннельного или трубчатого типов могут происходить по-разному: в виде взаимодействия выходного потока с водобойными колодцами различной конструкции, отбросом струи с использованием трамплинов или в виде затопленной струи, выходящей в массив воды нижнего бьефа. В отличие от традиционных, вихревые водосбросы могут формировать на выходе в нижний бьеф течения с остаточной закруткой потока. Подобные режимы возникают вследствие изменения режимов работы водосброса или в случае выхода из строя конструктивных элементов в результате поломки или аварии. При этом создаются условия гидравлического сопряжения выходящей закрученной струи в сносящий поток нижнего бьефа. В связи с вышесказанным, исследования режимов сопряжения закрученных потоков с течениями воды в нижнем бьефе представляются актуальными.

Структура и содержание работы

Работа, представленная на рассмотрение, состоит из введения, четырёх глав и списка литературы, которую автор использовал при написании диссертации. В конце работы сформулировано заключение.

Список литературы довольно большой, включает 135 наименований, что отражает степень изученности рассматриваемого вопроса. Приведён перечень работ, опубликованных автором по теме диссертации. Рукопись состоит из 220 страниц машинописного текста. В тексте диссертации имеются 24 таблицы и 122 рисунка.

Введение включает краткое изложение вопросов, обосновывающих поставленные автором задачи исследования. Исследуются особенности гидравлического явления сопряжения закрученного потока и сносящего течения аналитическим методом, а также при помощи физического и численного моделирования. Особое внимание в работе уделяется созданию экспериментального гидравлического стенда, являющегося основой физического моделирования.

Первая глава состоит из двух разделов. Первый раздел носит обзорный характер, в котором автор довольно подробно раскрывает вопрос о важности гидравлических условий сопряжения сбросных потоков с нижним бьефом для работы гидроузла. Приводятся многочисленные примеры разрушений конструкций построенных гидротехнических сооружений, связанных с недоучётом силового воздействия потоков в нижнем бьефе, особенно для высоконапорных гидротехнических сооружений. К таким силовым воздействиям можно отнести кавитационную эрозию, связанную с большими скоростями сбрасываемых потоков, пульсационные воздействия на обтекаемые конструкции из-за повышенной турбулентности течений (например, дно водобойного колодца Саяно-Шушенской ГЭС) и другие.

Во втором разделе рассматривается вопрос применения продольно-циркуляционных течений для работы водосбросных систем гидроузлов. Это сравнительно новый вид конструкций водосбросных сооружений, которые используют эффекты закрученных потоков, а сами конструкции таких водосбросов получили название вихревых. Автор указывает на основании анализа специальной литературы, что гидроузлов с применением вихревых водосбросов сейчас насчитывается более пятидесяти. Среди них Рогунский (Таджикистан), Колымский, Тельмамский (Россия), Тери (Индия), Компося (Китай), Туполанг-

ский (Узбекистан) и другие. В разделе приводятся принципиальные схемы конструкций моновихревых водосбросов и, так называемых, контрвихревых сооружений. Даются некоторые соотношения, поясняющие работу контрвихревых водосбросных конструкций.

В заключении первой главы делается вывод о том, что при работе вихревых водосбросов на их концевых участках (на выходе в нижний бьеф) в ряде случаев могут формироваться закрученные потоки с разной степенью циркуляции. Эти потоки автор классифицирует как слабо закрученные.

Вторая глава посвящена рассмотрению параметров затопленных закрученных потоков в неподвижных водных массивах или массивах, имеющих скоростной потенциал. Автор начинает главу с рассмотрения распространения затопленной закрученной струи в безграничном пространстве водного массива. Приводятся системы уравнений, описывающих движение закрученного потока в режиме ламинарного и турбулентного течений в круглоцилиндрическом канале.

Указывается, что рассматривается случай слабозакрученной струи, имеющей параметр закрутки менее 0,35, представляющего собой отношение касательного напряжения к его тангенциальной компоненте. Параметр закрутки связан с коэффициентом Хигера-Бэра. Показан характер связи в виде графика зависимости этих величин. Приводятся данные, связанные с работой вихревого водосброса в режиме подтопления со стороны нижнего бьефа, проведённые Б.А.Животовским.

Сопряжение вихревого водосброса с нижним бьефом путём выпуска струи под уровень воды может происходить по разным схемам: в неподвижное пространство, в режиме спутного течения, в сносящий поток под разными углами в плане. Приводятся расчёты параметров затопленной струи для разных схем сопряжения.

В главе приводится последовательность расчётов параметров затопленной закрученной струи исходя из заданных начальных условий в режимах сопряжения со спутным потоком. Наибольший практический интерес представляет по-

следний раздел главы, в котором даётся расчёт затопленной закрученной струи в сносящем потоке, представляющим собой участок реки в нижнем бьефе. На основе обобщений и анализа расчётных и экспериментальных данных, полученных автором, приводится зависимость основных параметров затопленной закрученной струи в сносящем потоке, имеющим логарифмический характер.

В результате расчётов определены базовые характеристики затопленной закрученной струи, включающие распределение максимальной продольной скорости на оси струи и скорости по её поперечным сечениям. Кроме того, даны контуры границ криволинейной струи в сносящем потоке.

В целом вторая глава представляет собой аналитический анализ, позволяющий получить основные параметры затопленной закрученной струи в первом приближении при различных режимах сопряжения с потоком, сформировавшимся в нижнем бьефе. Такой подход может представлять интерес на первых этапах проектирования гидроузлов, в составе которых предполагается установить вихревой водосброс.

Одно из центральных мест в работе занимает **третья глава**, в которой описана модель и методика физического эксперимента, а так же, порядок его проведения. Экспериментальный стенд включает гидравлический лоток, сопряженный с помощью разработанного автором устройства с водоводом, по которому подается расход, формирующий закрученную затопленную струю, выходящую в сносящий поток лотка. Приводится подробная информация о локальном закручивающем устройстве, выполненным автором по технологии 3D печати. Приведены результаты исследования и на их основе построены графики распределения скорости течения для разных углов сопряжения закрученной затопленной струи с потоком воды в лотке, дана информация об используемом оборудовании, в том числе измерительных приборах и оснастки – закручивающих, и сопрягающих устройств, даны условия моделирования и информация о критерии частичного подобия для установившихся турбулентных продольно-циркуляционных течений вязкой несжимаемой жидкости, приведена сводная система основных критериев гидродинамического подобия при физическом

моделировании установившихся турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости.

В четвертой главе приведена классификация моделей турбулентности. Особое внимание уделено RANS-моделям: k - ω , SST k - ω модели и k - ε модели. Показаны численные методы применительно к стационарным течениям для RANS-моделей, дана математическая модель сопряжения продольно-циркуляционных течений с нижним бьефом, выполненная в программном комплексе Ansys Fluent R19.0. Для нее проведено исследование сходимости результатов математического моделирования по трем моделям, определен вклад турбулентных пульсаций в модель течения, определена зависимость характера течения от скорости и степени закрутки, рассмотрены результаты моделирования сопряжения вихревого стока с нижним бьефом в рамках k - ε – модели. Приведены исходные данные для вычислений и результаты численных экспериментов. Получен характер распространения затопленной закрученной струи в нижнем бьефе. Определены поля скоростей в границах течения. Приведено сравнение данных численного эксперимента с данными лабораторного эксперимента, полученными в ходе физического моделирования, приведенных в третьей главе. Показано, что расхождение результатов определения скорости затопленной струи, полученной при численном и физическом экспериментах находятся в диапазоне $3,64 \div 13,35\%$.

Заключение по работе содержит основные выводы, полученные автором на основании проведенного моделирования и комплекса расчётных мероприятий. Приведены рекомендации по дальнейшей разработке темы. Кроме заключения, обобщающего проведенные исследование по всей работе, каждая глава диссертации имеет свои выводы.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Основными методами гидравлических исследований (за исключением натурального эксперимента) в настоящее время являются физическое и математическое моделирование. Причём эти два метода, являясь приближёнными, требуют вза-

имного сравнения и дополнения. Гидравлическое явление считается корректно изучено, когда полученные результаты гидравлического эксперимента совпадают с результатами численного моделирования в пределах установленных отклонений. Именно такой подход реализован автором диссертационной работы, что указывает на достоверность полученной информации при исследовании довольно сложного гидромеханического процесса взаимодействия двух, разных по характеру, потоков. Кроме того, полученные данные подкреплены расчётами с помощью аналитических зависимостей, полученных и опубликованных ранее другими авторами и проверенными автором на физической модели. Необходимо отметить, что полученные результаты опубликованы в рецензируемых журналах и доложены на конференциях.

Как уже отмечалось, в последнее время наблюдается распространение в практике гидротехнического строительства вихревых водосбросов на большие напоры. В этом отношении изучение взаимодействия закрученных потоков с течениями различного характера в нижнем бьефе можно отнести к новым научным результатам, так как данная задача ещё остается вызовом для исследователей. Кроме того, полученные результаты могут выходить за рамки гидротехники, распространяясь в других отраслях деятельности, поскольку применение закрученных потоков в технике довольно широкое

Автореферат диссертации выполнен по объему и оформлению в соответствии с установленными требованиями, а его содержание соответствует основным выводам и положениям диссертации.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы. Автор в работе уделил большое внимание важности изучения работы водосбросных систем, в частности вихревых водосбросов, показав их широкое распространение на практике, сосредоточив свой исследовательский ресурс на изучении взаимодействия закрученного потока с массивом воды в нижнем бьефе. В этом отношении представленная работа несомненно имеет практическую значимость. Полученные результаты вполне могут быть использованы на началь-

ных стадиях проектирования гидротехнических объектов в качестве обоснования принятия предварительных технических решений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Степень обоснованности научных результатов гидравлических исследований связана с выбором методов и методологий изучения явления. Рассматриваемая работа построена на использовании современных, многократно апробированных, методах, которыми являются физическое моделирование (как основное, но, как правило, относительно дорогое и материалоёмкое) и численный эксперимент (сравнительно более дешёвый). Как было ранее сказано, эти два подхода в настоящее время являются основными. Как правило, полученная этими методами информация, дополняется ещё и расчётами с помощью аналитических зависимостей, что и было выполнено автором.

В целом, диссертационная работа соискателя оставляет весьма положительное впечатление.

Замечания

1. В диссертации не приведены данные по расходу продольного потока. Каким образом изменялся расход воды в гидравлическом лотке и как изменение этого параметра влияет на характер течения при взаимодействии с затопленной закрученной струёй?

2. Не совсем понятно, влияет ли величина заглубления сопла струи на гидравлические характеристики в зоне сопряжения с продольным течением. Изменялось ли высотное положение канала с закручивающим устройством на физической модели?

3. Требуется пояснения, на каком расстоянии от сопла затопленная закрученная струя в гидравлическом эксперименте сохраняла свою компактность и как определялась граница распада струи?

4. В работе не приведены численные значения безразмерных параметров Абрамовича и Хигера-Бэра, характеризующих закрутку потока.

5. При выходе затопленной закрученной струи в неукрепленное русло нижнего бьефа могут наблюдаться значительные скорости течения на отдель-

ных режимах сопряжения потоков, вызывая размыв грунтов основания русла. Было бы целесообразно рассмотреть данный вопрос в диссертационной работе.

Отмеченные выше замечания не снижают ценности полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Щесняка Леонида Евгеньевича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему «Моделирование продольно-циркуляционных течений в задачах сопряжения потоков» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Щесняк Леонид Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6 – Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Официальный оппонент:

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева

Ханов Нартмир Владимирович

«09» ноября 2023 г.

127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: info@rgau-msha.ru,
Тел.: 8(495) 976-04-80

