

Кыргызский государственный технический университет
им. И. Раззакова

Кыргызско-Российский Славянский университет
им. Б. Ельцина

Диссертационный совет Д 01.25.711

На правах рукописи
УДК 532.546

Токтогулова Айчурек Шеркуловна

**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ
ОТ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ И ЗАТОРОВ ЛЬДА
НА РЕКАХ КЫРГЫЗСТАНА**

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек - 2025

Диссертационная работа выполнена в Институте информационных технологий Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова

**Научный
руководитель:**

Кабаева Гульнара Джамалбековна, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института информационных технологий Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова

**Официальный
оппоненты:**

доктор физико-математических наук, профессор

кандидат физико-математических наук, доцент

.....

**Ведущая
организация:**

.....

Защита состоится « » 2025 г. в часов на заседании диссертационного Совета Д 01.25.711 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) наук при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова по адресу: 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, малый актовй зал (МАЗ, аудитория 1/257).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направить по адресу: 720044, г. Бишкек, проспект Ч. Айтматова, 66, диссертационный совет Д 01.25.711.

Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации

Автореферат разослан « » _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного
Совета Д 01.25.711,
к.ф.-м.н., доцент

Ж.Ж. Доталиева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. На территории Кыргызстана широко распространены такие природно-техногенные явления: заторы на реках и шугасодержащие селевые потоки, которые приводят к одному, всем широко известному и опасному явлению – наводнению.

В последние годы мы становимся свидетелями таких явлений, проявляющихся в зимний период после сильных снегопадов на фоне резкого потепления, присуще климату Кыргызстана и на реках образуются зажоры и заторы льда.

Яркие примеры этого явления имели место зимой 2012-2013 и 2017-2018 годы, и повторились зимой 2022-2023 годах на р. Ала-Арча, с водораспределительным сооружением (ВРС) на ул. Скрябина в г. Бишкек, особенно под мостами и ряде участков. Эти физические процессы приводят к последствиям шугасодержащих селевых потоков.

По оценкам МЧС КР участок на р. Ала-Арча с ВРС, относится к затороформирующим препятствиям первой группы. Ликвидация последствий повторяющихся явлений и уход за рекой людьми с техникой на дежурстве длительное время, сутками в морозные дни за рекой, в ожиданиях угрозы по реку, очевидно стоит намного дороже, чем затраты на защитные мероприятия.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями и с государственными и международными программами. Тема имеет прямую связь со Стратегией развития Государственной системы Гражданской защиты и снижения риска бедствий Кыргызской Республики до 2040 года.

Работа является инициативной.

Цель и задачи исследования. Цель исследования заключается в разработке математической модели динамики шугасодержащих селевых потоков, методов и средств защиты от заторов.

Поставленная цель достигнута решением в диссертации следующих задач:

1. Анализ теоретических и экспериментальных методов исследований и научных работ в этой области.
2. Разработка механико-математической модели, представляющей движение шугасодержащего селевого потока, в виде двухфазного течения.
3. Численное решение сформулированной модели динамики шугасодержащего селевого потока.

4. Разработка практических рекомендаций по защите от последствий исследуемых явлений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Исследован процесс формирования шугасодержащего селевого потока на примере русла р. Ала-Арча.

2. Впервые предложена двухфазная математическая модель, где в виде несущей жидкой фазы является вода, твердой фазой является шуга, которая описывает динамику шугасодержащего селевого потока.

3. Предложен новый метод начального управления движением так называемого языка шугасодержащего селевого потока с помощью установленных ограничителей отвода мутной субстанции от защищаемого объекта по течению вдоль потока.

4. Разработаны устройства, позволяющие решить задачу защиты от формирования заторов льда на реках и шугасодержащих селевых потоков с наносами, на которые получены патенты на изобретения.

Практическая значимость полученных результатов.

1. Получена математическая модель двухфазного шугасодержащего селевого потока, решение которой позволяет получить практические результаты для предотвращения наносов у гидротехнического сооружения (ГТС).

2. Результаты исследований формирования и течения шугасодержащего селевого потока позволили получить патент за № 2040 в 2019 г. на изобретение «Устройство для защиты от селевых потоков».

3. Для предотвращения формирования заторов на реках, предложен способ и устройство для отвода воды из-под льда с обеспечением неподвижности всего объема зазорного накопления на русле реки. На это получены патенты за № 2041 в 2019 г. на изобретение «Сооружение для предотвращения заторообразований на реке».

4. Для ликвидации стихийно поступающих с верхней зоны по руслу реки шугасодержащего селевого потока в бассейн до сооружения, получены патенты за № 2250 в 2021 г. на изобретение «Гидротехническое сооружение для предотвращения заторообразований на реке».

5. Разработана рекомендация для МЧС КР по внедрению гидротехнического сооружения, предотвращающего формирование заторов льда на реке Ала-Арча и разработан проект модернизации водораспределительного сооружения и участок, где после внедрения проекта будут минимизированы зазоры у ГТС.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Разработанная двухфазная математическая модель динамики шугасодержащего селевого потока.
2. Численное решение двухфазной модели шугасодержащего селевого потока.
3. Модернизации русла р. Ала-Арча, с целью предотвращения заторов из шугасодержащего селевого потока опасных участках реки.
4. Предложения по внедрению ГТС, предотвращающего формирование заторов на р. Ала-Арча.

Личный вклад соискателя. Диссертация является результатом самостоятельных исследований, выполненных автором. Личный вклад автора состоит в выборе методов достижения поставленной цели, проведении исследований, анализе полученных результатов и формулировке выводов.

Апробация работы. Полученные в ходе выполнения исследований данной диссертационной работы результаты докладывались на следующих международных, республиканских конференциях и семинарах. Основные положения диссертационной работы опубликованы и докладывались: одна работа опубликована в журнале РИНЦ на XVI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева (г. Москва, 15 марта 2021 г.); одна работа докладывалась в рамках проходившей Первой Евразийской конференции «Инновации в минимизации природных и технологических рисков» с 22 по 24 мая 2019 года, в г. Баку, Азербайджан; один доклад опубликован в «Сборник тезисов», доклад на Международной научной конференции «Актуальные проблемы и инновации в науке и образовании» посвященной 70-летию ученого-педагога, доктора физико-математических наук, профессора, член-корреспондента НАН КР Султаналиевой Р.М. (Бишкек, 2023 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

Основные результаты исследований по диссертационной работе опубликованы в 7 научных статьях, в том числе получены 3 патента КР на изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы, изложена на 121 страницах машинописного текста, содержит 1 таблицу, 6 графиков, 38 рисунков, списка использованных источников из 94 наименований и 5 приложений.

Содержание работы.

В введении обоснованы актуальность темы, сформулированы постановки исследуемой цель и задачи исследования, представлена научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена литературному обзору изучению вопросов и методов исследования селевых потоков и заторов льда на реках.

Изучением этих явлений занимались ученые такие как М.П. Псарев, Н.Л. Белов, В. А. Бузин, Р. В. Донченко, Проскуряков, В.П. Берденников, А. Н. Чижов, В.Ф. Перов, К.А. Михайлов, Т.Х. Ахмедов, В.К. Дебольск, А.Т. Ильясов, Б.И. Бийбосунов, Г.И. Логинов, А.И. Бийбосунов, К.Ч. Кожогулов, И.А. Абдурасулов и другие.

При анализе научной литературы, соответствующей теме данной диссертационной работы, основной акцент делался на достаточно периодические природно-катастрофические явления как заторы на р. Ала-Арча, которые были подвергались изучению натурным наблюдением и разработкой соответствующих теоретических математических методов их моделирования.

В частности, в результате многолетних натурных наблюдений р. Ала-Арча и р. Аламедин в черте г. Бишкек, установлены, что заторы льда на р. Аламедин не были обнаружены, а главные заторы из зазора имеют места на р. Ала-Арча. Причины отсутствия заторов льда на р. Аламедин объясняются тем, что русло реки глубокое, дно узкое и вогнутое. А воды в русле зимний период текут под льдом.

Обзор литературы, показывает, что в российских глубоководных реках вопрос защиты от заторов льда решается только с отводом ледохода и шухахода по верху течения воды. Так, в холодную осень помимо интенсивной теплоотдачи с водной поверхности имеет место небольшая скорость течения, поэтому замерзание происходит без зажоров, в основном за счет поверхностного льда. В относительно теплую осень таким течениям наоборот складываются благоприятные условия для образования зажоров, так как выпадающие, как правило, обильные осадки и снеготаяния в период оттепелей приводят к увеличению скорости объема течения воды. При небольшой интенсивности теплоотдачи на глубоководных реках на водной поверхности формируется в основном внутриводный лед, вместе с тем период замерзания затягивается, что способствует скоплению у кромки большого объема внутриводного льда, т. е. образованию зазора.

Проведенный литературный обзор дал одно обстоятельное понимание о том, что анализируемые работы рассматривались для глубоко водных рек, где вскрываются покровы льда, прорываются различными методами, неприемлемыми для рассматриваемых в работе рек, затем следят за

движением шуги и ледохода, обладающими потенциальной энергией, переходившему в кинетическую. Тогда, как для р. Ала-Арча в суровые зимы заторы ликвидируются только удалением материала затора с пути потока и освобождением зажорного покрова на проход воды ручьем.

Во второй главе представлены методы и методология исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования.

Объектом исследования является шугасодержащий поток воды в русле р. Ала-Арча в зимний период при низкой температуре, что приводит к образованию шаровидной шуги с водой, замерзанием их приводит к зажорной закупорке водораспределительных сооружений.

Методология исследования заключается в рассмотрении физических процессов течения воды в русле р. Ала-Арча до формирования шуги, что можно рассматривать как установившее течение реальной жидкости. Это позволяет формулировать течение как, математическую модель течения потока воды в изучаемом русле реки, что основанием опираться на вывод дифференциальных уравнений движения жидкости, в двухмерной системе координат при заданной температуре.

В этой связи, уравнения динамики шугасодержащего селевого потока вдоль потока должны опираться на систему уравнений Навье-Стокса.

Для того, чтобы определить четыре параметра p ; u_x ; u_y ; u_z , необходимо четвертое уравнение. Четвертым уравнением является дифференциальное уравнение неразрывности потока жидкости, полученное после ряда преобразований, с учетом, что сумма изменений проекций скоростей в направлении соответствующих координатных осей равна нулю, то есть:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0.$$

Это значит, что объем воды, поступающей из верхнего русла реки, равен объему воды, вытекающей через водораспределительное сооружение, получается уравнение постоянства расхода на любом сечении потока воды в реке, т.е. уравнение неразрывности движения потока воды:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 = v S = Q = const.$$

В главе 3 приведены решения основных уравнений динамики шугасодержащих селевых потоков. Рассматривается модель механики сплошной среды в виде жидкости и твердой частицы, обладающие свойством непрерывности, а именно, распределения массы и легкой подвижности. Положив в основу такие свойства, установим основные уравнения динамики жидкости, а также физические области их применения при различных допущениях и упрощениях при исследовании динамики вязкой жидкости.

Уравнение состояния, которое устанавливает связь давления p , плотность ρ , температуры T рассматриваемой жидкости, и в общем виде записывается как $p = F(\rho, T)$, где T – абсолютная температура в данной точке.

Уравнение неразрывности в декартовых координатах имеет вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости имеет вид

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2) \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

Для плоского случая двухфазного течения, где жидкая фаза – вода, твердая фаза – шуга, указанные уравнения можно записать в виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho(u_{\text{ж}}+u_{\text{т}}))}{\partial x} + \frac{\partial(\rho(v_{\text{ж}}+v_{\text{т}}))}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial(u_{\text{ж}} + u_{\text{т}})}{\partial t} + (u_{\text{ж}} + u_{\text{т}}) \frac{\partial(u_{\text{ж}} + u_{\text{т}})}{\partial x} + (v_{\text{ж}} + v_{\text{т}}) \frac{\partial(v_{\text{ж}} + v_{\text{т}})}{\partial y} \right) &= \\ = F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2(u_{\text{ж}}+u_{\text{т}})}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(v_{\text{ж}}+v_{\text{т}})}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial(v_{\text{ж}} + v_{\text{т}})}{\partial t} + (u_{\text{ж}} + u_{\text{т}}) \frac{\partial(u_{\text{ж}} + u_{\text{т}})}{\partial x} + (v_{\text{ж}} + v_{\text{т}}) \frac{\partial(v_{\text{ж}} + v_{\text{т}})}{\partial y} \right) &= \\ = F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u(u_{\text{ж}} + u_{\text{т}})}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(v_{\text{ж}} + v_{\text{т}})}{\partial y^2} \right) \end{aligned}$$

Таким образом, образуется система уравнений для движения вязкой несжимаемой жидкости в двумерной постановке: уравнений неразрывности и уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости.

Если массовые силы рассматривать как заданные, тогда остаются четыре неизвестные величины u , v , w , p и для их определения имеем четыре уравнения. Однако, необходимо отметить, что до настоящего времени вследствие больших математических трудностей не получено ни одного

общего решения уравнений Навье-Стокса в их полном виде, т.е. с сохранением всех конвективных членов, учитывающих вязкость. Но вместе с тем, имеются некоторые частные решения. Например, для ламинарного течения в трубе или для течений в пограничном слое и эти частные решения столь хорошо совпадают с экспериментальными результатами, что вряд ли можно сомневаться с общей применимости уравнений Навье-Стокса.

При решении системы уравнений теории пограничного слоя для какой-нибудь конкретной задачи необходимо учесть начальные и граничные условия данной задачи. Начальные условия формируются для случая вязкой жидкости также, как и для случая идеальной жидкости. Они сводятся к тому, что если движение является неустановившимся, то для некоторого момента времени, принимаемого за начальный, задаются скорости, давление, температуры и плотности как функции координат. Существенные отличия от идеальной жидкости имеют место при формулировке граничных условий. В теории идеальной жидкости допускается, что жидкость скользит по поверхности обтекаемого тела с некоторой конечной относительной скоростью. Если же твердое тело обтекается вязкой жидкостью, то по современным воззрениям и опытным данным, частицы жидкости прилипают к поверхности тела, и, следовательно, не только нормальные, но и касательные составляющие векторов скорости жидкости и тела должны быть одинаковыми в точках на поверхности тела.

В диссертационной работе рассмотрены селевые потоки связанного типа, содержащие шуги. Тогда принимаются, что скорости жидкости и твердых частиц (шуга) практически одинаковы. Другими словами, в гетерогенных двухфазных системах вязкие шугасодержащие селевые потоки перемещаются как ламинарные течения, причем жидкая и твердая фазы движутся с одинаковой скоростью.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0.$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

Для вывода основных дифференциальных уравнений движения шугасодержащего селевого потока остановимся на следующих предположениях, используемых при изучении двухфазных течений двухмерной модели процесса:

1. Среда является двухскоростной, т.е. в каждой точке селевого потока имеются две скорости – это скорость жидкости и скорость шуги. При этом совокупность частиц считается непрерывно распределенной по всему объему с условной плотностью частиц, равной произведению численной концентрации частиц в единице объема на массу одной частицы.

2. Течение двумерное нестационарное.

3. Частицы имеют одинаковые размеры и не взаимодействуют между собой.

4. Давление создается только жидкостью, влиянием частиц пренебрегаем.

5. Массовый расход жидкости и массовый расход частиц вдоль по течению постоянны.

6. Вязкие силы проявляются только при взаимодействии шуги с жидкостью.

Кроме этих допущений полагаем, что двухфазное течение селевого потока моделируется как движение шугасодержащего массива в поле силы тяжести со свободной поверхностью, где глубина слоя достаточно мала по сравнению с размерами ширины и длины. В таком случае, поток считается двумерным течением в канале. Сечение канала имеет произвольную форму и может меняться вдоль его длины. Тогда для двумерного двухфазного течения шугасодержащего селевого потока имеют место следующие уравнения.

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= A_1 R_1 u^n \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= A_2 R_2 v^n\end{aligned}\quad (6)$$

где u – продольная составляющая скоростей, v – поперечная составляющие скоростей, с соответствующими начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned}u(0,t) &= u_l \\ v(0,t) &= v_l \\ u(x,0) &= 0 \\ v(y,0) &= 0.\end{aligned}\quad (7)$$

При этом уравнение неразрывности, которое в данном случае является «тестовым», обеспечивает корректность физико-математической модели исследуемого процесса.

Для численного решения системы уравнений введем разностную сетку: $x_k = x_0 + k \Delta x$, $y_j = y_0 + j \Delta y$, $t_i = t_0 + i \Delta t$, где Δx , Δy , Δt – пространственные и временные шаги ($i = 1, 2, \dots, M$, $k = 1, 2, \dots, N$), заменяя производные их разностными отношениями, получим систему разностных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{U_{i+1,k} - U_{i,k}}{\Delta t} + U_{i,k} \frac{U_{i+1,k} - U_{i,k}}{\Delta x} + V_{i,k} \frac{U_{i,k+1} - U_{i,k}}{\Delta y} &= F_1 \\ \frac{V_{i+1,k} - V_{i,k}}{\Delta t} + U_{i,k} \frac{V_{i+1,k} - V_{i,k}}{\Delta x} + V_{i,k} \frac{V_{i+1,k} - V_{i,k}}{\Delta y} &= F_2 \end{aligned} \quad (8)$$

где F_1 и F_2 являются постоянными величинами – это интенсивность осадков коэффициент вязкости, силы сопротивления. Для определения значений искомым переменных U , V , из этой системы конечно-разностных уравнений получим следующие рекуррентные формулы:

$$\begin{aligned} U_{i+1,k} &= (F_1 - ((U_{i,k+1} - U_{i,k}) \cdot U_{i,k} + F_1(V_{i,k+1} - V_{i,k}))/\Delta x) \cdot \Delta t + U_{i+1,k} \\ V_{i+1,k} &= (F_2 - ((U_{i,k+1} - U_{i,k}) \cdot V_{i,k} + F_2(V_{i,k+1} - V_{i,k}))/\Delta y) \cdot \Delta t + V_{i+1,k} \end{aligned} \quad (9)$$

где $i = 1, 2, \dots, M-1$, $k = 1, 2, \dots, N-1$.

Из данной системы уравнений (9) при $i = 0$ и $k = 0$ последовательно находим значения функций $U_{1,1}$, $V_{1,1}$ по формулам:

$$\begin{aligned} U_{1,1} &= (F_1 - ((U_{0,2} - U_{0,1}) \cdot U_{0,1} + F_1(V_{0,2} - V_{0,1}))/\Delta x) \cdot \Delta t + U_{0,1} \\ V_{1,1} &= (F_2 - ((U_{0,2} - U_{0,1}) \cdot V_{0,1} + F_2(V_{0,2} - V_{0,1}))/\Delta y) \cdot \Delta t + V_{0,1} \end{aligned} \quad (10)$$

При этом значения функций $U_{j,0}$, $U_{0,j}$, $V_{j,0}$, $V_{0,j}$, где $j = 0, 1, \dots, N$ определяются из начально-граничных условий.

По найденным значениям функций $U_{1,1}$ и $V_{1,1}$ при следующих значениях индексов и последовательно находим все остальные значения искомым функций на узлах сетки. Например, для продольной составляющей скорости и для перехода от предыдущего узла к следующему узлу применен четырех точечный шаблон.

С целью оценки эффективности модели движения селевого потока и определения параметров модели была проведена серия численных расчетов, по результатам которых построены графики изменений продольной и поперечной составляющей скорости. Точность расчетов определяется известной погрешностью применяемых конечно-разностных методов $O(i,k) \leq 1$.

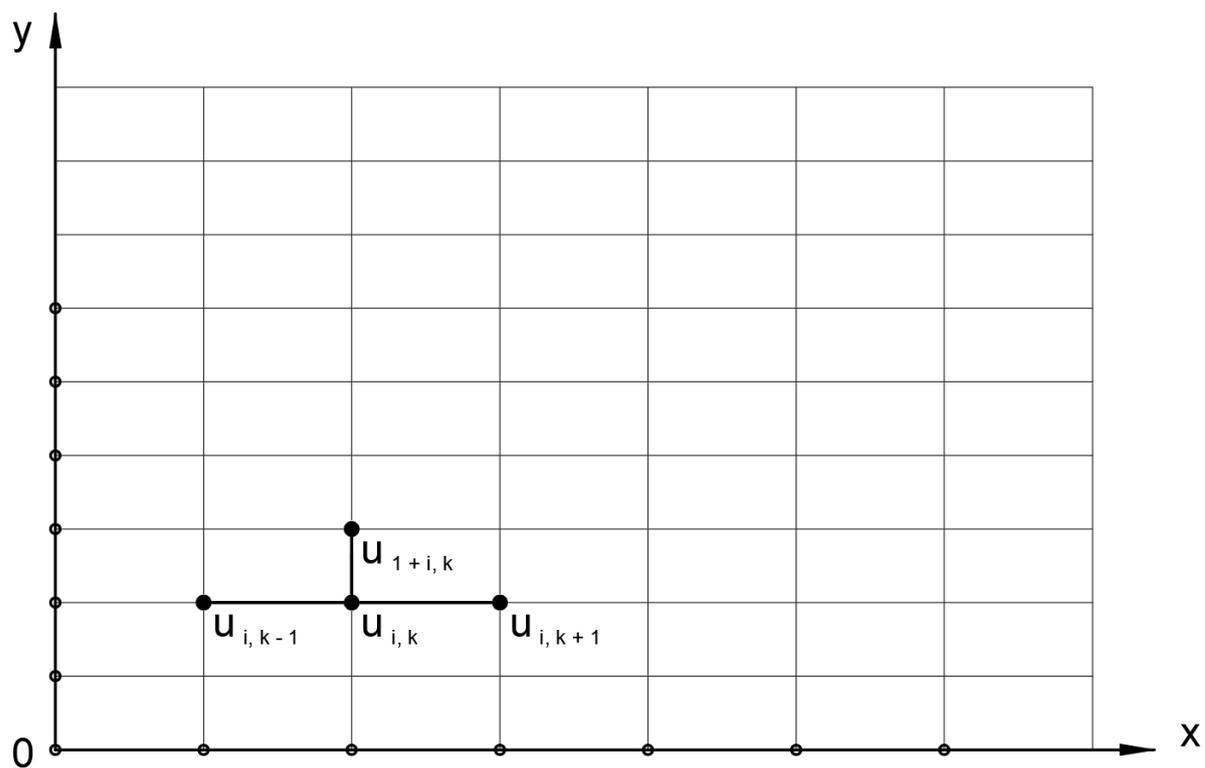


Рис. 3.2. Четырех точечный шаблон

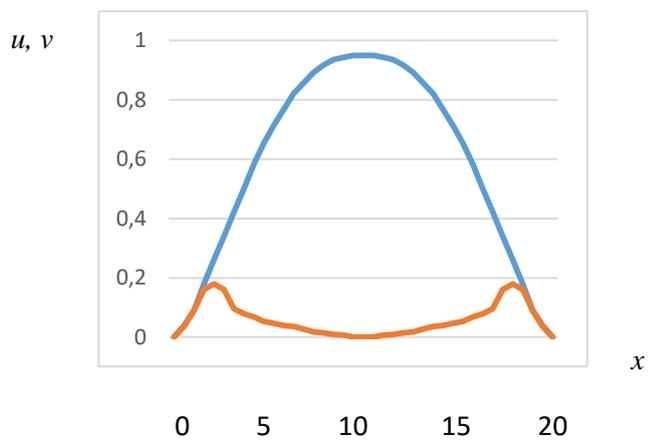


Рис. 3.3. Профили скоростей для моментов времени: $t = 12$ часов

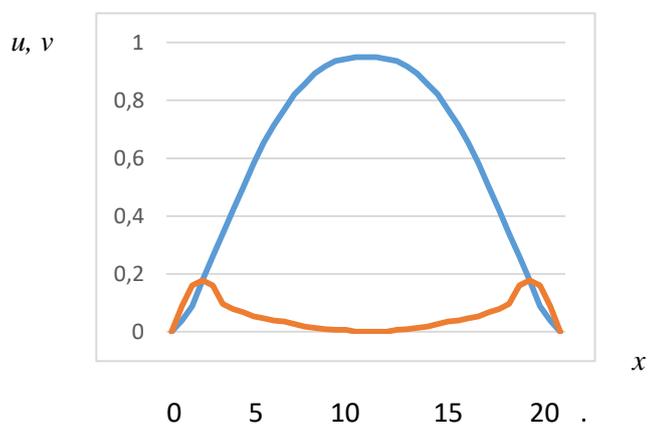


Рис. 3.4. Профили скоростей для моментов времени $t = 24$ часов

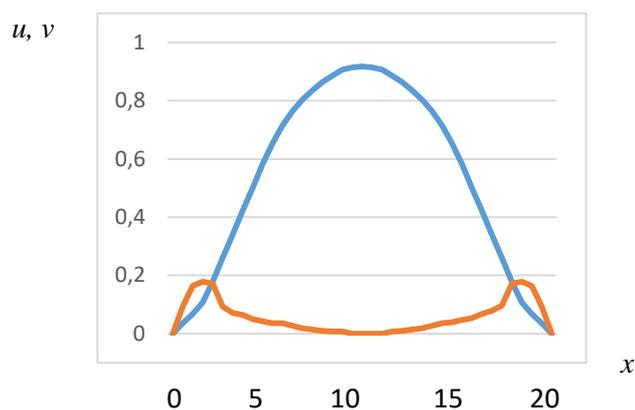


Рис. 3.5. Профили скоростей для моментов времени: $t = 36$ часов

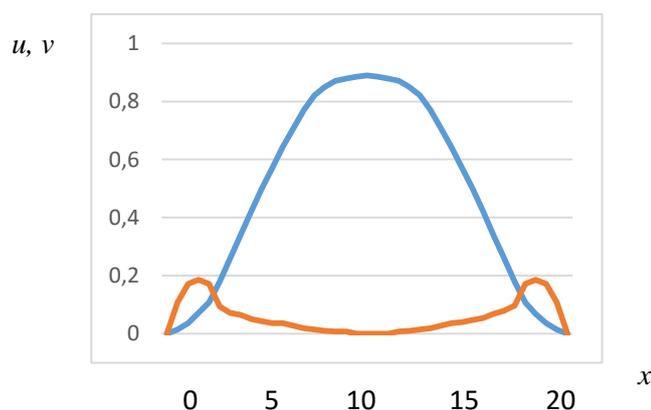


Рис. 3.6. Профили скоростей для моментов времени: $t = 48$ часов

По оси абсцисс расположена ширина канала (от 0 до 20 м), а по оси ординат расположены продольная составляющая u (голубая линия) и поперечная составляющая v (оранжевая линия) скорости (от 0 до 1 м/с). Полученные результаты численных расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

В четвертой главе изложены рекомендация по внедрению гидротехнического сооружения, предотвращающего формирование заторов льда на р. Ала-Арча и разработан проект модернизации водораспределительного сооружения и участок, где после внедрения проекта в низкотемпературные режимы не будут формироваться заторы льда из зазорного накопления. На рис. 4.1 представлен состояний река Ала-Арча, с берега видом с запада на восток, со шугасодержащим потоком до формирования зазорного затора.

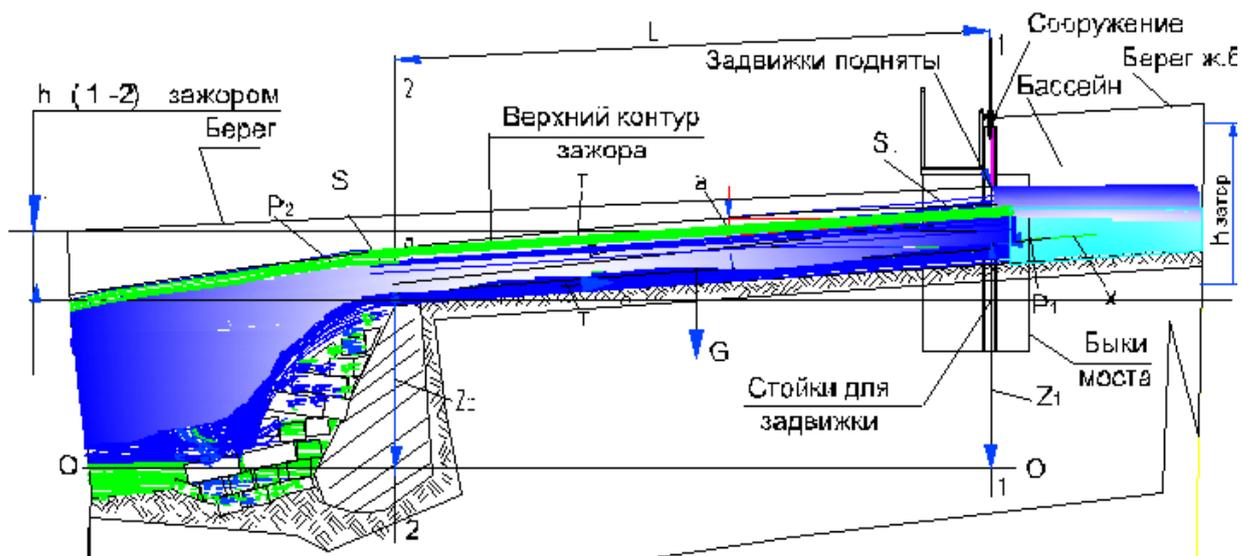


Рис. 4.1. Схема участка в продольном сечении по руслу реки Ала-Арча на участке от ВРС до водопада шугасодержащего потока (при температуре воздуха не более -17°C); до закупорки порога сооружений загорным затором.

На рис. 4.2 представлен состояний река Ала-Арча, также видом с запада на восток, со шугасодержащим потоком после формирования загорного затора закупоркой всех 8 единицы порогов под поднятыми задвижками ВРС.

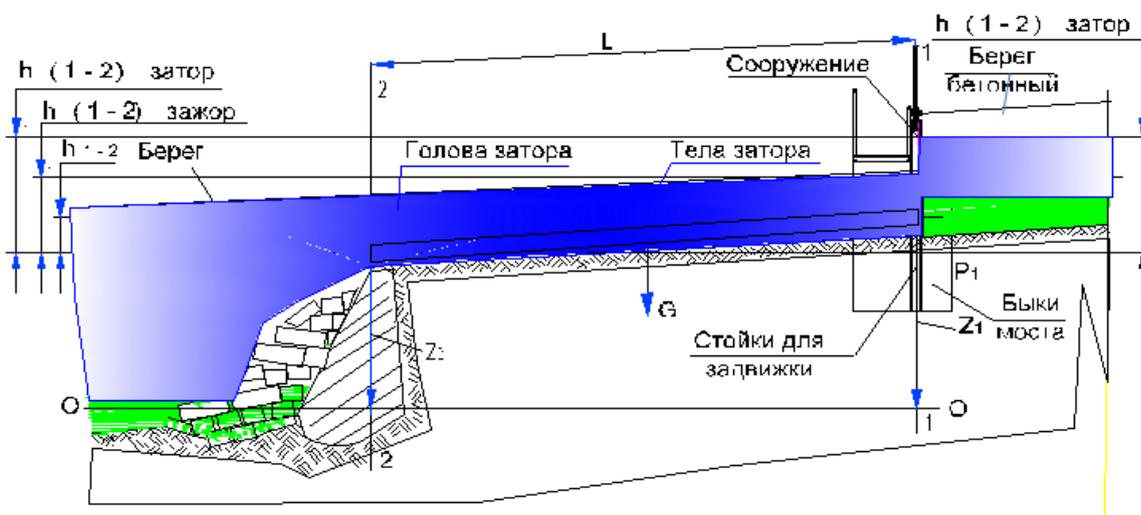


Рис. 4.2. Схема участка видом с запада на восток, в продольном сечении по руслу реки Ала-Арча на участке от ВРС до с загорной закупоркой сооружения, где до сооружения формирован бассейн, (при температуре воздуха $-17 - 21^{\circ}\text{C}$ над рекой)

На рисунке 4.3 представлена средства защиты от формирования заторов льда на реках, разработанный как ГТС под мостам, видом с востока на запад, а) – продольный разрез, по осью А-А, указанный на рис. 4.3, б), видом на ГТС

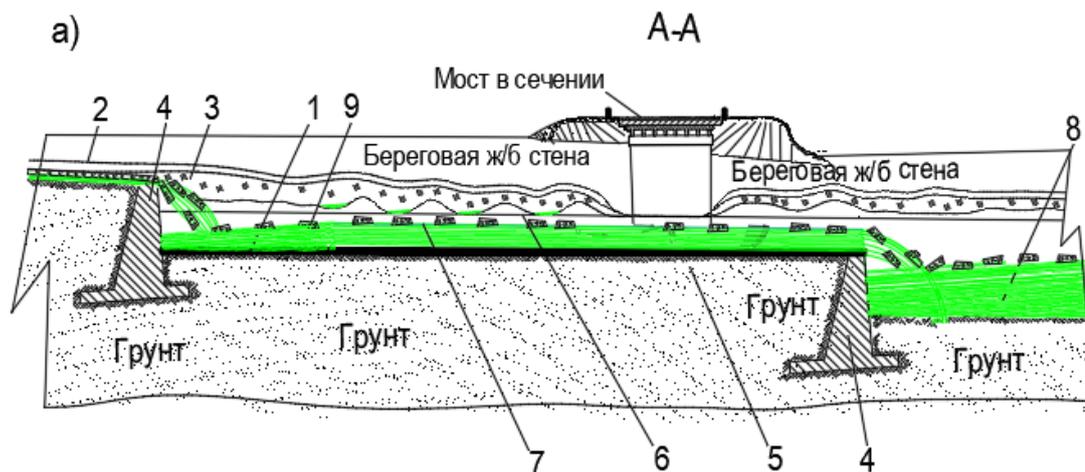


Рис. 4.3 а) - ГТС под мостами, предотвращающая формированию заторов льда на реках: зелёным цветом в схеме представляют потоки воды: 1 – бассейн верхний; 2 – покрыва льда на верхней ступеньке русло реки; 3 – слой снега надо льдом; 4 – перегородка верхней ступеньки в русле реки; 5 – дно канала 6 по середине русло реки; 7 – ж/б канал; 8 – бассейн нижний

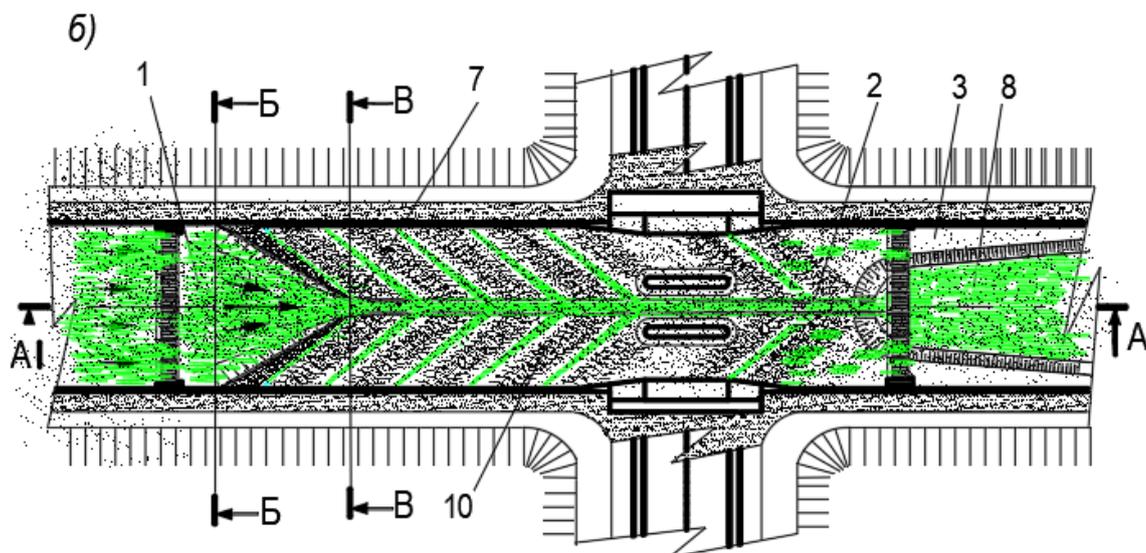


Рис. 4.3, б). - ГТС под мостами, предотвращающая формированию заторов льда на реках: зелёным цветом в схеме представляют потоки воды: 1 – бассейн верхний; 2 – покрыва льда на верхней ступеньке русло реки; 3 – слой снега надо льдом; 4 – перегородка верхней ступеньки в русле реки; 5 – дно канала 6 по середине русло реки; 7 – ж/б канал; 8 – бассейн нижний

Сущность способы и устройства защиты реки от затора льда заключается, со сохранением целостности образованного льда и снегового покрова на поверхности льда по руслу реки, на участке, где всегда происходит затор льда на реках, главным образом у моста, на гидросооружение и других местах, путем отвода воды из-под моста и подо льдом по желобам, уложенным в канал

с углубленным дном, вырытым ниже уровня дна русла реки на том участке, где формировались раньше заторы льда на реках. На рис. 4.4, а) и б) представлены поперечные сечения защитного ГТС, согласно рис. 4.3, б).

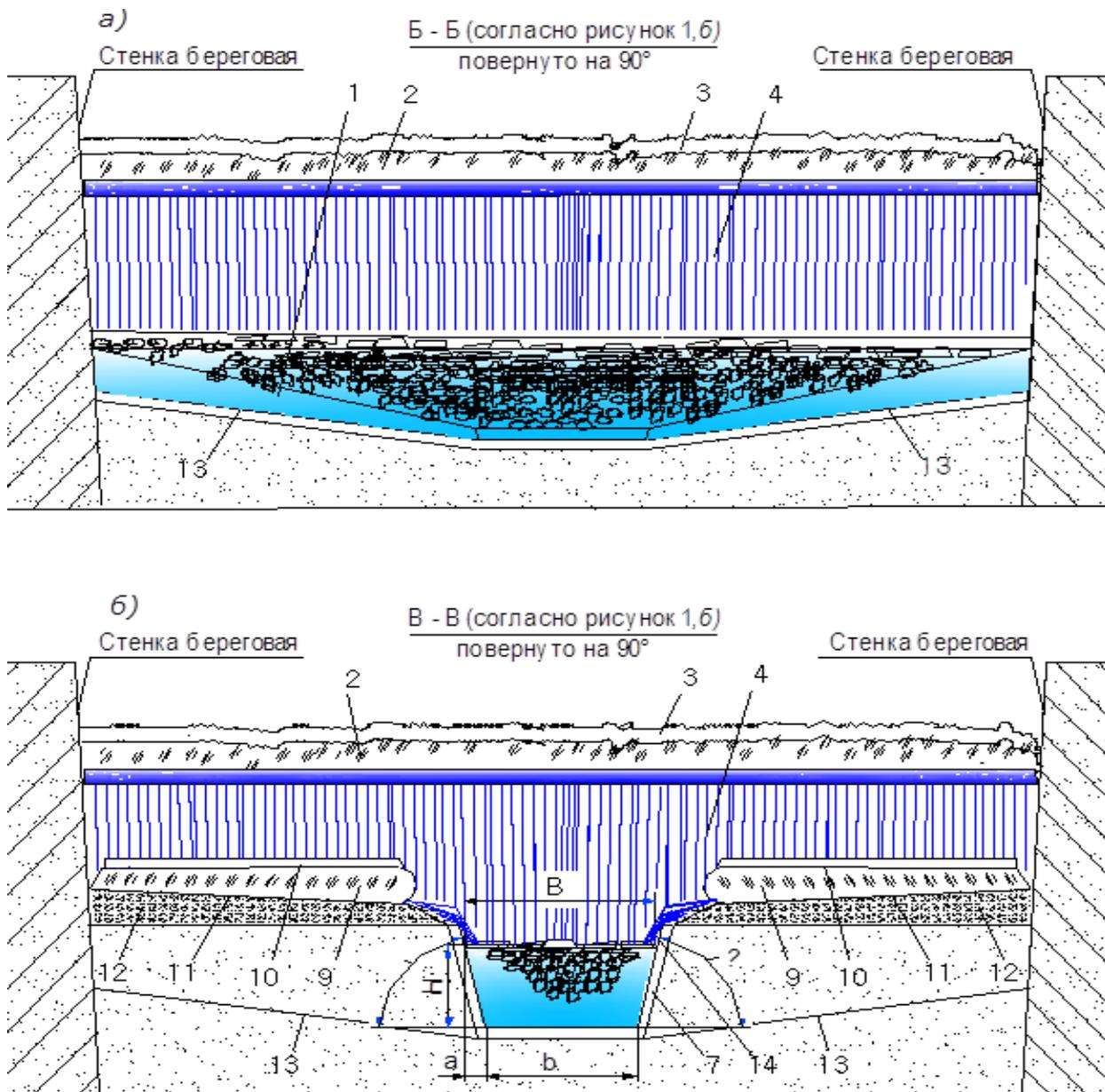


Рис. 4.4. - поперечные сечения защитного ГТС, согласно рис. 4.3, б):

а) – поперечное сечение по Б-Б верхнему бассейну 1 (рисунок 4.3. а и б), в момент обильными поступлениями шугасодержащего потока и раздробленные льда при падении сверху в бассейн 1 (см. рис. 4.3, б); б – поперечное сечение по В-В ж/б канала 7 на участке стыка с бассейном 1, с конструктивными параметрами «живого» сечения ж/б канала 7, и погруженными и транспортируемыми наносами; 1 - верхний бассейн; 2 - покровы крупного льда или зазора на верхней ступеньке в русло реки; 3 - слой снега над покровом льда 2; 4 - перегородка верхней ступеньки в русло реки, с изображением (синие линии) струя водопада от слоя воды подо-льдом 2; 5 - дно траншея 6; 7 - ж/б канала, вложенный встык или залитыми в траншея ж/б раствор по опалубкам; 9 -ледяные накопления, со снегом 10 по берегам траншея; 11 - волнистые поверхности уплотнённых параллельно лежащих на

берегах траншея 6 (см. рисунок 4.3, б) насыпей 12; 13 - дно бассейна 1, (рисунок 4.3. б); 14- вид на струю воды из-под зазорного льда, поступающую сбоку в ж/б канал 7.

Принципы работы способа и защитного средства реки от формирования затора на реках изложены в опубликованных работах [2, 5, 6]. Результаты работы доложены в МЧС КР, получены акты внедрения.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационной работы:

1. Предложенная двухфазная механико-математическая модель достаточно объективно описывает динамику шугасодержащего селевого потока на примере течения вдоль по руслу реки Ала-Арча, в которой в виде несущей фазы выступает вода, а в виде влекаемой фазы выступает шуга.
2. Получены численные результаты решения механико-математической модели для продольной и поперечной составляющих скоростей шугасодержащего селевого потока. Значения профилей скоростей вдоль и поперек течения в достаточной степени удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.
3. Разработаны устройства, позволяющие решить задачу защиты от формирования заторов льда на реках и шугасодержащих селевых потоков с наносами, поступающие с верхней зоны реки, получением два патента, на изобретения за № 2141 «Сооружение для предотвращения заторообразований на реке» в 2019 и № 2250 «Гидротехническое сооружение для предотвращения заторообразований на реке» в 2021 году.
4. Предложена модернизация водораспределительного сооружения и дна русла от первой ступеньки выше сооружения до водопада, для предотвращения формирования заторов льда на р. Ала-Арча.
5. Предложен новый метод начального управления движением так называемого языка шугасодержащего селевого потока с помощью установленных ограничителей отвода мутной субстанции от защищаемого объекта по течению вдоль потока сформированной, на что в 2019 году получен патент «Устройство для защиты от селевых потоков» за № 2140.

Список опубликованных работ.

1. **Токтогулова А.Ш.** Устройство для защиты от селевых потоков [Текст] / Институт геомеханики и освоения недр НАН КР (KG)
Т. Жумаев, К.Ч. Кожоголов, А.К. Орозбекова; А.Ш. Токтогулова // *Кыргызпатент ПАТЕНТ №2140. 2019 г.* Бюл. № 4.
2. **Токтогулова А.Ш.** Сооружение для предотвращения заторообразований на реке [Текст] / Институт геомеханики и освоения недр НАН КР (KG)

- Т. Жумаев, К.Ч. Кожогулов, Г.Дж.Кабаева, А.Ш.Токтогулова, А. К. Орозобекова // *Кыргызпатент ПАТЕНТ №2141. 2019 г.* Бюл. № 4.
3. **Токтогулова А.Ш.** Гидротехническое сооружение для предотвращения заторообразований на реке [Текст] / Институт геомеханики и освоения недр НАН КР (КГ) Т. Жумаев, К.Ч. Кожогулов, Г.Дж.Кабаева; А.Ш. Токтогулова // *Кыргызпатент ПАТЕНТ №2250. 2021 г.* Бюл. 6/1.
4. **Токтогулова А.Ш.** Гидротехническое сооружение для предотвращения образования ледяных заторов на реках Кыргызстана. [Текст] / А.Ш. Токтогулова, И.А. Абдурасулов, Т.З. Масалбеков. // *XVI Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева (г.Москва, 15 марта 2021г.).* – С.220-233.
5. **Токтогулова А.Ш.** Методы борьбы с возникновением заторов и зажоров на реках Ала-Арча и Аламедин в черте города Бишкек. [Текст] / А.Ш. Токтогулова // *Известия вузов Кыргызстана. №6 2021г.* – С.12-17.
6. **Токтогулова А.Ш.** Общность формирования селевого потока и заторов льда с зажорами на реках, методы исследования и борьбы с ними [Текст] / А.Ш. Токтогулова // *Вестник КРСУ 2022. Том 22. №12.* – С. 131-135.
7. **Токтогулова А.Ш.** Методика исследования режимов течения потока воды реки на экспериментальном макете гидротехнического сооружения [Текст] / А.Ш.Токтогулова, Т. Жумаев // *Вестник КРСУ.2023.Том 23. №4.* – С.131-136.
8. **Токтогулова А.Ш.** Математическое моделирование физического процесса в гидротехническом сооружении [Текст] / А.Ш. Токтогулова, Г.Дж. Кабаева, Т.Жумаев // *Вестник КРСУ. 2023. Т. 23 №4.* – С. 137-152.
9. **Токтогулова А.Ш.** Математическое моделирование формирования шаровидной шуги на реке Ала-Арча [Текст] / А.Ш. Токтогулова, Г.Дж. Кабаева, Т. Жумаев // *Вестник КРСУ. 2023. Том 23. № 8.* – С.106 -110.
10. **Токтогулова А.Ш.** Исследование процесса формирования “головой и тела затора” между водосооружением и водопадом на участке русле реки Ала-Арча [Текст] / А.Ш. Токтогулова, Г.Дж. Кабаева, Т. Жумаев // *Вестник КРСУ. 2023. Т. 23 №8.* – С. 111-118.

РЕЗЮМЕ

диссертационной работы Токтогулова Айчурек Шеркуловны на тему:
«Разработка способов и устройств защиты от селевых потоков и заторов льда на реках Кыргызстана» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

Ключевые слова: Шуга, шугасодержащие селевые потоки, «язык» селевого потока, «ядро» потока, заборы, сооружение, затор льда, зазор, «голова и тело затора», вырытый канал, берег, лоток.

Объект исследования: Шугасодержащий поток воды русле реки Ала-Арча зимой при низкой температуре. Формирования в русле зазорных материалов в виде шаровидной шуги с водой и дальнейшее их замерзание их приводят к зазорной закупорке водораспределительного сооружения и под мостом автомагистрали в г. Бишкек.

Предмет исследования: Математическое моделирование динамики шугасодержащего потока в каналах в зимних климатических условиях, а также процессов образования заторов на водораспределительных сооружениях.

Методы исследования: Методы математического моделирования сложных процессов, численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных, а также натурные наблюдения и исследования на каналах, содержащих гидротехнические сооружения.

Цель исследования заключается в разработке математической модели динамики шугасодержащих селевых потоков, методов и средств защиты от заторов.

Поставленная цель достигнута решением в диссертации следующих задач:

1. Анализ теоретических и экспериментальных методов исследований и научных работ в этой области.
2. Разработка механико-математической модели, представляющей движение шугасодержащего селевого потока, в виде двухфазного течения.
3. Численное решение сформулированной модели динамики шугасодержащего селевого потока.
4. Разработка практических рекомендаций по защите от последствий исследуемых явлений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Исследован процесс формирования шугасодержащего селевого потока на примере русла р. Ала-Арча.
2. Впервые предложена двухфазная математическая модель, где в виде несущей жидкой фазы является вода, твердой фазой является шуга, которая описывает динамику шугасодержащего селевого потока.
3. Предложен новый метод начального управления движением так называемого языка шугасодержащего селевого потока с помощью установленных ограничителей отвода мутной субстанции от защищаемого объекта по течению вдоль потока сформированной.

4. Разработаны устройства, позволяющие решить задачу защиты от формирования заторов льда на реках и шугасодержащих селевых потоков с наносами, на которые получены патенты на изобретения.

Область применения: Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего исследования шугасодержащих селевых потоков и при строительстве гидротехнических сооружений для предотвращения заторов.

ТОКТОГУЛОВА АЙЧҮРЕК ШЕРКУЛОВНАНЫН

01.02.05. «Суюктуктардын, газдардын жана плазмалардын механикасы» адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты деген илимий даражасын изденип алуу үчүн «Кыргызстанда сел агымынан коргонуунун жана дарыялардагы муз тыгындын жок кылуунун ыкмаларын жана түзүлүштөрүн иштеп чыгуу» аттуу темадагы диссертациясынын

КЫСКАЧА КОРУТУНДУСУ

Негизги сөздөр: Музылай, музылай камтыган сел, селдин “тили”, агындын “өзөгү”, тыгынды, курулуштар, муз тыгыны, борпоң муз, “тыгындын башы жана тулкусу”, казылган канал, жээк, лоток.

Изилдөөнүн объектиси: Ала-Арча дарыясынын нугунда кышында музылай луу суу төмөн температурада агат. Дарыянын нугунда тоңгон материалдардын суу менен сфералык музылай түрүндө пайда болушу жана алардын кийин тоңушу Бишкек шаарындагы суу бөлүштүрүүчү түзүлүштүн жана автожол көпүрөсүнүн астындагы тоңгон тыгынга алып келет.

Изилдөөнүн предмети: Кышкы климаттык шарттарда каналдардагы музылай агымынын динамикасын, ошондой эле суу бөлүштүрүүчү түзүлүштөрдөгү бөгөттөрдүн пайда болуу процесстерин математикалык моделдөө.

Изилдөө методдору: Татаал процесстерди математикалык моделдөө методдору, айрым туундулуу дифференциалдык теңдемелерди чыгаруунун сандык ыкмалары, ошондой эле гидротехникалык курулуштарды камтыган каналдар боюнча жеринде байкоолорду жана изилдөөлөрдү жүргүзүү методдору.

Изилдөөнүн максаты – музылай камтыган селдердин динамикасынын математикалык моделин, тыгындыдан коргоонун ыкмаларын жана каражаттарын иштеп чыгуу.

Диссертацияда белгиленген максат төмөнкү маселелерди чечүү аркылуу жетишилди:

1. Бул багыттагы теориялык жана эксперименталдык изилдөө ыкмаларын жана илимий эмгектерди талдоо.
2. Музылайы бар селдин эки фазалуу агым түрүндөгү кыймылын чагылдырган механикалык-математикалык моделди иштеп чыгуу.
3. Музылайды камтыган селдин динамикасынын моделинин сандык чыгаруу.
4. Изилденип жаткан кубулуштардын кесепеттеринен коргоо боюнча практикалык сунуштарды иштеп чыгуу.

Иштин илимий жаңылыгы төмөнкүдөй:

1. Ала-Арча дарыясынын нугунун мисалында ылай камтыган селдин пайда болуу процесси изилденген.
2. Биринчи жолу эки фазалуу математикалык модели сунушталды, мында суу ташуучу суюк фаза, ал эми музылай катуу фаза болуп саналат, ал музылай камтыган селдин динамикасын сүрөттөйт.
3. Түзүлгөн агым боюнча корголгон объекттен булганган заттарды алып салуу үчүн орнотулган чектөөлөрдү колдонуу менен музылай камтыган сел тилинин кыймылын баштапкы контролдоонун жаңы ыкмасы сунушталат.
4. Дарыяларда муз тыгындарын пайда кылуудан жана чөкмөлөр менен музылай бар селден коргоо маселесин чечүүгө мүмкүндүк берүүчү приборлор иштелип чыкты, алар үчүн ойлоп табууларга патенттер алынган.

Колдонуу чөйрөсү: Изилдөөнүн натыйжалары музылай камтыган сел агындыларын андан ары изилдөө үчүн жана гидротехникалык курулмаларды курууда бөгөт коюунун алдын алуу үчүн пайдаланылышы мүмкүн.

SUMMARY

dissertation work Toktogulova Aichurek Sherkulovna on the topic: "Development of methods and devices for protection against mudflows and ice jams on the rivers of Kyrgyzstan" for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, specialty 01.02.05. "Mechanics of liquids, gases and plasmas"

Key words: sludge, sludge-containing mudflows, mudflow "tongue", flow "core", fences, ice jam, jam, "head and body of jam", dug channel, bank, chute.

Object of study: A sludge-containing water flow in the Ala-Archa riverbed in winter at low temperatures. Formations of sludge-containing materials in the riverbed in the form of spherical sludge with water and their subsequent freezing lead to sludge blockage of the water distribution structure and under the highway bridge in Bishkek.

Subject of research: Mathematical modeling of the dynamics of sludge-containing flow in canals under winter climatic conditions, as well as processes of blockage formation at water distribution structures.

Research methods: Methods of mathematical modeling of complex processes, numerical methods for solving partial differential equations, as well as field observations and studies on channels containing hydraulic engineering structures.

The aim of the study is to develop a mathematical model of the dynamics of sludge-containing mudflows, methods and means of protection against jams.

The stated goal is achieved by solving the following **tasks** in the dissertation:

1. Analysis of theoretical and experimental research methods and scientific works in this area.

2. Development of a mechanical-mathematical model representing the movement of a sludge-containing mudflow in the form of a two-phase flow, where fluid phase is water, solid phase is sludge.

3. Numerical solution of the formulated model of the dynamics of a sludge-containing mudflow.

4. Development of practical recommendations for protection against the consequences of the phenomena under study.

The **scientific novelty** of the work is as follows:

1. The process of formation of sludge-containing mudflow using the Ala-Archa river bed as an example was studied.

2. A two-phase mathematical model was proposed for the first time, where water is the carrier liquid phase, and sludge is the solid phase, which describes the dynamics of sludge-containing mudflow.

3. A new method is proposed for the initial control of the movement of the so-called tongue of a sludge-containing mudflow using installed limiters for the removal of turbid substance from the protected object along the flow formed.

4. Devices have been developed that make it possible to solve the problem of protection against the formation of ice jams on rivers and mudflows containing sludge with sediments, for which patents for inventions have been received.

Application area: The results of the study can be used for further study of sludge-containing mudflows and in the construction of hydraulic structures to prevent blockages.