

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д.05.16.532

На правах рукописи
УДК 631.6 (575.2)

АСКАЛИЕВА ГУЛЗАДА ОРОЗОБАЕВНА

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ
ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
КЛАССА ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ**

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2018

Работа выполнена в Институте автоматике и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики

Научный руководитель: доктор технических наук, с.н.с.
Пресняков Константин Александрович
(ИАИТ НАН КР)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Абдылдаев Мукаш Юнусалиевич
(КГУ им. И. Арабаева)

кандидат физико-математических наук
Дуйшоков Кайратбек Дуйшокович
(КГТУ им.И. Раззакова)

Ведущая организация: Кыргызский научно-исследовательский институт ирригации
(при КНАУ им. К.И. Скрябина)
г. Бишкек 720005, ул. Медерова, 68.

Защита состоится «25» мая 2018 года в 11:00 часов на заседании Диссертационного совета Д.05.16.532 при Институте автоматике и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной Академии Наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265 «а» и на сайте ИАИТ НАН КР по адресу www.iait.kg . Email: gulsaat@mail.ru.

Автореферат разослан « » 2018 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета к.ф.-м.н.



Керимкулова Г.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации заключается в том, что речные потоки в водных магистралях переносят значительное количество влекомых и взвешенных наносов. Вопросы сохранности и поддержания в рабочем состоянии гидротехнических сооружений и их элементов, соблюдения агротехнической культуры земледелия, применения механизированных способов полива, предохранения плодородного слоя почвы от посторонних включений и соблюдения требований экологии определяют необходимость разработки моделей и алгоритмов идентификации и моделирования для выработки и принятия научно обоснованных проектных решений в указанной области.

Существование в республике целого ряда изученных водотоков, необходимость проектирования гидротехнических сооружений на них в системе автоматизированного водораспределения и, как следствие, сопоставительного анализа и выбора проектных решений определяют актуальность поставленной проблемы.

Настоящая диссертационная работа выполнена в рамках проектов НИР Института автоматики и информационных технологий НАН КР: «Разработка систем дистанционного мониторинга состояния антропогенно-техногенных процессов экзотехносферы» (госрегистрация №0005695) и «Разработка методов информационного обеспечения и компьютерных систем обработки информации для распределенных объектов» (госрегистрация №0007139).

Основная задача исследований: разработать модель нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков, позволяющую идентифицировать измеренные (или литературные) значения указанных параметров диффузионной и гравитационной теорий взвесенесущих потоков воды для обоснованного выбора и назначения технологических режимов эксплуатации указанных водотоков.

Цель научных исследований – повышение качества очистки оросительной воды от взвешенных наносов на основе реализации модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков.

Для реализации поставленной цели необходимо решение следующих **задач**:

1. разработать модель нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков как теоретический фундамент одноименных алгоритмов;
2. провести исследования на основе указанной модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков, позволяющих реализовать упомянутую модель и выявить режимы функционирования указанных водотоков;
3. установить относительную толщину ламинарного пограничного слоя турбулентного потока воды и точку наблюдения динамической скорости потока, позволяющие очертить границу диссипативной зоны турбулентного течения воды;
4. исследовать зависимость относительного коэффициента турбулентной диффузии от вертикальной координаты, позволяющую установить новый факт зависимости его от потерь энергии;
5. выявить новую связь между длиной пути смешения и поперечными масштабами турбулентности.

Практические вопросы исследований:

1. разработать структурные блок-схемы модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков; позволяющие реализовать указанные модель и алгоритмы;
2. определить границы применимости показательного профиля относительной мутности воды для условий средних и малых рек Кыргызстана;
3. преобразовать соотношения Ю.А. Ибад-Заде для скорости и мутности воды к компактному виду;
4. установить формулы определения средней скорости воды на основе профилей Ю.А. Ибад-Заде, Доу Го-жэня, К. Загустина, Кармана, Тэйлора-1, Тэйлора-2 для применения их в процессе нетрадиционной идентификации;
5. провести нетрадиционную идентификацию режимных параметров отдельных водотоков, позволяющую составить визитные карточки идентифицированных объектов;
6. разработать практические рекомендации по применению результатов научных исследований в областях эмпирической идентификации характеристик водотоков и повышения качества очистки оросительной воды от взвешенных наносов.

Объектом исследования являются взвесенесущие потоки воды на натуральных объектах. Натурные объекты: открытые водотоки Кыргызстана (подводящий канал р. Тору-Айгыр, обводной канал р. Аспара и др.), другого географического региона (река Теджен, створ Аулата).

Предметом исследования являются параметры взвесенесущих потоков воды в открытых водотоках.

Методы исследований: сравнительный анализ теоретических и эмпирических (литературных) данных в области поставленной проблемы. Методы математической статистики (метод наименьших квадратов, метод корреляционного анализа), распределения Гаусса и Пирсона и положений практической гидравлики (метод «скорость-площадь», метод зеркальных отображений), применение методов математического, компьютерного и физического моделирования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработанных структурах модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков, которые в комплексе с расчетными соотношениями и формулами, ограничениями модели и алгоритмов составляют упомянутые модель и алгоритмы. Научная новизна проведенных исследований подтверждается патентом №1598 от 31.12.2013 Кыргызской Республики «Способ гидроавтоматической очистки воды от взвешенных наносов» и патентом Кыргызской Республики «Способ определения поверхностной скорости воды» (заявки №20170131.1 от 01.12.2017г.)

Практическая значимость работы определяется установлением перехода от сравнения эксперимента с теорией к выработке практических рекомендаций по повышению качества очистки оросительной воды от взвешенных наносов. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке оригинальных алгоритмов определения поверхностной скорости воды и алгоритмов гидроавтоматической очистки воды от взвешенных наносов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- разработанные модель и алгоритмы нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков, на основе отдельных положений диффузионной и гравитационной теорий взвесенесущих потоков воды, а также моделей изотропной турбулентности;

- установленная (оценочно) относительная толщина ламинарного пограничного слоя, в пределах которого осуществляется диссипация механической энергии в теплоту;
- выявленная зависимость максимума относительного коэффициента турбулентной диффузии $\tilde{\epsilon}_{\text{макс}}$ от потерь энергии: чем выше шероховатость дна водотока (больше потери энергии), тем меньше значение $\tilde{\epsilon}_{\text{макс}}$ и наоборот;
- обнаруженный факт максимума длины пути смещения (и поперечных масштабов турбулентности) в центральной части потока воды, причем максимальные значения указанных характеристик также зависят от потерь энергии;
- предложенная схематическая картина турбулентного перемешивания реальных потоков воды, указанное перемешивание начинается в турбулентном пограничном слое, наиболее интенсивно развивается в центральной зоне потока воды (здесь наблюдаются максимальные значения относительного коэффициента турбулентной диффузии, относительной длины пути смещения и поперечных масштабов турбулентности), выявляется точка наблюдения средней по сечению потока скорости воды, и завершается оно в приповерхностном слое воды;
- проведенная нетрадиционная идентификация режимных параметров ПК р. Тору-Айгыр, ОК р. Аспара и р. Теджен, створ Аулата, в результате которой установлена необходимость очистки взвешенных потоков воды в указанных условиях от взвешенных наносов;
- разработанные практические рекомендации по повышению степени очистки оросительной воды от взвешенных наносов.

Личный вклад соискателя. Результаты, представленные в диссертационной работе и имеющие научную новизну, получены автором лично под руководством научного руководителя Преснякова К.А. В совместных работах с к.ф.-м.н. Керимкуловой Г.К.: при разработке модели вклады авторов: 50/50%; при разработке алгоритмов вклады авторов 60 % – Г.О. Аскалиевой, 40 % – Г.К. Керимкуловой.

Реализация результатов. Основные результаты, полученные в ходе диссертационной работы, внедрены и используются в учебном процессе Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина (г. Бишкек, Кыргызская Республика).

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на IX и X Международных симпозиумах «Фундаментальные и прикладные проблемы науки» (г. Москва: РАН, 2014-2015 гг.), международных, республиканских научно-практических конференциях: «Естественные и математические науки в современном мире» (г. Новосибирск, 2016-2017 гг.) и «Прикладная математика и механика: проблемы и перспективы» (г. Бишкек, КГТУ им. И. Раззакова).

Публикации. Основное содержание диссертации и научные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 20-и печатных работах: одна монография, одна глава в коллективной монографии под эгидой РАН, 16 статей в журналах из перечня ВАК Кыргызской Республики и ВАК Российской Федерации, один патент и одна заявка на патент.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 73 наименований, и пяти приложений; содержит 32 рисунка, 40 таблиц. Основная часть изложена на 180 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи и вопросы исследований, научная новизна, практическая и теоретическая значимость результатов исследований, также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава носит обзорный характер, описывается современное состояние исследуемой проблемы.

Во второй главе разработаны структуры модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков. Модель нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков (вклады авторов: 50 % – Г.О. Аскалиевой, 50 % – Г.К. Керимкуловой) основана на диффузионной и гравитационной полуэмпирических теориях взвесенесущих потоков воды, моделях изотропной и локально – изотропной турбулентности (рисунок 1).

Модель и алгоритмы нетрадиционной идентификации основаны на отдельных положениях диффузионной и гравитационной теорий взвесенесущего потока воды с использованием полуэмпирических распределений скорости и мутности воды: В.М. Маккавеева, А.В. Караушева, М.А. Великанова, Е.В. Клевцова, Доу Го-жэня, Ю.А. Ибад-Заде, К. Загустина, Кармана, Тэйлора-1 и Тэйлора-2.

Диффузионная теория (по типу атмосферной турбулентности в описании В. Шмидта) основана (рисунок 1, блок 1) на использовании нестрогого понятия коэффициента турбулентной диффузии (турбулентного обмена, смешения, перемешивания), который принимается постоянным (В.М. Маккавеев) или переменным по глубине потока (А.В. Караушев) с использованием или параболического или эллиптического профилей скорости воды.

Предлагаемый анализ связан с использованием ряда ограничений модели и алгоритмов по применению указанных теоретических положений к рассматриваемому эмпирическому материалу.

Гравитационная теория основана (рисунок 1, блок 2) на модели двухфазного дисперсоида и концепции работы взвешивания с применением логарифмического профиля скорости воды.

Модель двухфазного дисперсоида позволяет установить связь между пульсационными характеристиками твердой (средние квадраты пульсаций продольной $(\overline{u_s'^2})$ и вертикальной $(\overline{v_s'^2})$ скоростей, среднее значение модуля корреляционного момента $(\overline{|u_s' \cdot v_s'|})$) и жидкой $(\overline{u'^2}, \overline{v'^2}, \overline{|u' \cdot v'|})$ фаз.

Приведены основные признаки и характеристики модели изотропной турбулентности (рисунок 1, блок 3) и локально-изотропной турбулентности (рисунок 1, блок 4).

Указанные теории помогают сформировать круг аналитических материалов, используемых в процессе идентификации, т.е. составить матрицу аналитических данных и матрицу ограничений и дополнительных условий, содержащих формулы и соотношения, необходимые для осуществления анализа.

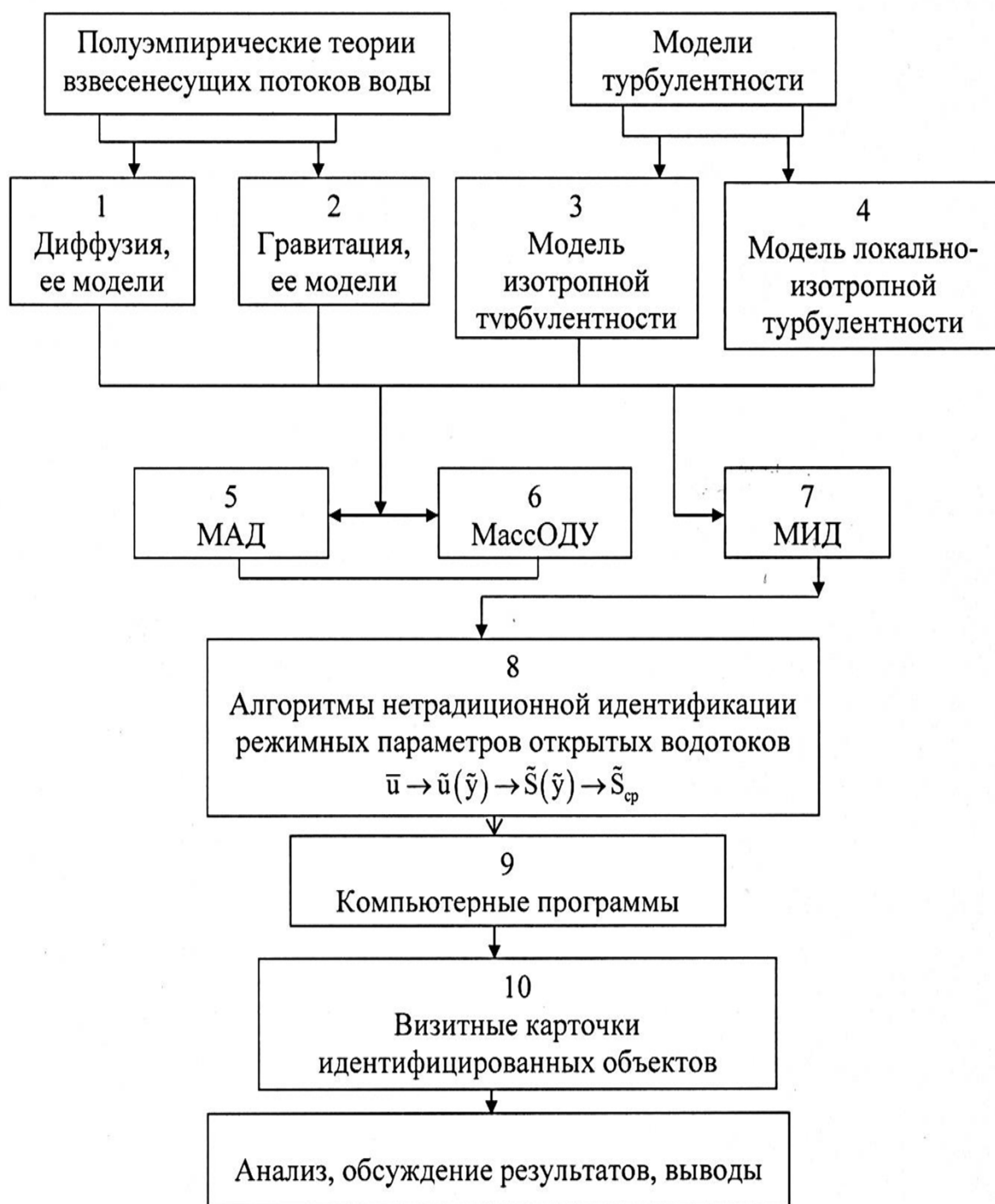


Рисунок 1 – Структура модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков.

Ограничения модели обусловлены свойствами и характеристиками упомянутых теорий.

МАД (рисунок 1, блок 5), МассОДУ (рисунок 1, блок 6) и МИД (рисунок 1, блок 6) являются сырьем для реализации модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков.

Структурная схема алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров открытого водотока (рисунок 1, блок 8) как центрального ядра одноименной модели приведена на рисунке 2.

Таблица 1 – Ограничения модели нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков

| №/№ п/п | Обозначение ограничения | Ограничение |
|------------|--|---|
| 1. | O^3 | $\sqrt{p} = \sqrt{0,57 + \frac{3,3}{C}} < 1$ |
| 2. | $O^{дг}$ | $10 < \frac{C}{\sqrt{g}} < 30;$ |
| 3. | O^u (совокупность ограничений) | для профиля К. Загустина $\frac{u_*}{u_m} \leq \frac{1}{5 \cdot \arctg\left(\frac{1-\tilde{y}}{\tilde{y}}\right)^{3/2}}.$ |
| | | для логарифмики $\frac{u_*}{u_m} = \frac{1}{2,5 \cdot \ln \tilde{y}_r };$ |
| | | для профиля Тэйлора-2 $\frac{u_*}{u_m} = \frac{1}{4,15 \cdot \left\{ \arcsin \sqrt{1-\tilde{y}_r} - \sqrt{\tilde{y}_r} \cdot \sqrt{1-\tilde{y}_r} \right\}};$ |
| | | для профиля Ю.А. Ибад-Заде (прибл. «I») – выбор приближения осуществляют по примеру рис. 5 (глава 2) |
| 4. | $ДФО_1$ (совокупность ограничений) | $Kr^m \leq O_3 / 2 (\leq 15\%)$ для изученного водотока; $\Delta_{cp} \tilde{u}^{3-p} (д.ч) = \frac{ \Delta \tilde{u}^{3-p}(\tilde{\Delta}) + \Delta \tilde{u}^{3-p}(0,2) }{2}$ |
| 5. | O^K (совокупность ограничений) | $G_{(cp,i),max} \leq 0,25; C_{max} \leq 38m^{1/2} / c,$ |
| 6. | O^B | $\beta_2^{гp} \leq 0,32 \cdot (\bar{u} / u_*)^3,$ |
| 7. | $O^{ппм}$ (совокупность ограничений) | $i \geq 0,01; m \leq 4; \beta^* \leq 5; \tilde{\Delta} < 0,3; u_m \geq 1 \text{ м/с};$ $\tilde{y}(\tilde{S}_{мин} \neq 0) \geq 0,5$ |
| 8. | $ДФО_2$ | $\tilde{S}(1) = \begin{cases} \neq 0 \text{ диф.} \\ = 0 \text{ гр.} \end{cases}$ |
| 9. | $O^д$ (расширенный ряд ограничений) | $\left. \begin{aligned} \varepsilon_{(cp,i),max} \cdot \varepsilon_{(взм,i),max} &\leq 2,8; \\ G_{(cp,i),max} \cdot G_{(взм,i),max} &\leq 0,25; C_{max} \leq 38m^{1/2} / c \end{aligned} \right\}$ |
| 10. | $O^{мдд}$ | $W / \bar{u} << (0,62...6,27) / Fr,$ |
| 11. | O_1^r (расширенный ряд ограничений) | $\left. \begin{aligned} \beta_1^{гp} &\leq 5 \cdot f^3(\alpha); \beta_2^{гp} \leq 0,32 \cdot (\bar{u} / u_*)^3; \\ \beta_{cp}^{гp} &\leq 2,5 \cdot f^3(\alpha) + 0,16 \cdot \left(\frac{C}{\sqrt{g}}\right)^3; \frac{\bar{u}^3}{W \cdot g \cdot H} \geq 2 \end{aligned} \right\}$ |
| 12. | O_2^r | $ \overline{u' \cdot v'} \leq \frac{a \cdot g \cdot H}{4} \cdot \frac{W}{\bar{u}}$ |
| 13. | $ДУ^{и-3}$ | $\frac{u_d}{u_m} = A_0 + A_1 \cdot \frac{\bar{u}}{u_m} + A_2 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m},$ |
| 14. | $ДУ^3$ касается вычисления основополагающего параметра z | |

В левой части структурной схемы (рисунок 2) в начале каждого уровня идентификации располагаются там, где это необходимо, блоки проверок ограничений модели. Следовательно, перед проведением идентификации на каждом ее уровне производят отсортировку расчетных профилей скорости (РПС), мутностей потока (РПМ) и соответствующих эмпирических условий (СЭУ), выводя за рамки анализа те РПС, РПМ и СЭУ, которые не удовлетворяют указанным ограничениям модели. В правой части схемы (рисунок 2) – при завершении каждого уровня идентификации располагаются блоки отсортировки РПС, РПМ и СЭУ на те, которые удовлетворяют ограничениям алгоритмов ($O_1 \dots O_5$), и те, которые не согласуются с упомянутыми ограничениями. Последние из них в дальнейшем анализе участия не принимают.

Рассматриваемая структура алгоритмов применима как для изученных полностью, так и для частично (как исходная платформа) изученных водотоков (вклады авторов: 60 % – Г.О. Аскалиевой, 40 % – Г.К. Керимкуловой).

Движение информации в рамках структуры. На основе информации, почерпнутой в матрицах МАД, МассОДУ, МИД, проводим расчет средней скорости, сравнение ее с эмпирическим значением и отбор тех расчетных профилей скорости и соответствующих эмпирических условий, которые дают отклонения расчета от эксперимента не более 10% – по линии фильтра I.

Отсортированные на этом этапе РПС и СЭУ применяют для вычислений распределений относительной скорости воды по глубине потока, проводят сравнение этих профилей с эмпирическими и отбор РПС и СЭУ, которые приводят к отклонениям расчета от эксперимента не более 20% – по линии фильтра II.

На основе отсортированных РПС и СЭУ ищут суммы отклонений $\sum_{\Delta} = \Delta \bar{u}^{3-p} + \Delta_{\text{cp}} \tilde{u}^{3-p}(\tilde{y})$ и проводят отбор тех РПС и СЭУ, которые соответствуют сумме отклонений не более 30% – по линии фильтра III.

Отсортированным на этом этапе данным (РПС и СЭУ) находят соответствующие им расчетные профили мутности (РПМ) воды, рассчитывают распределения относительной мутности воды по глубине потока, проводят сравнения их с эмпирическими профилями и отбирают те РПМ и СЭУ, которые дают отклонения расчета от эксперимента не более 50% – по линии фильтра IV.

Отсортированным на предыдущем этапе анализа РПМ выявляют соответствие их диффузионной или гравитационной теориям, рассчитывают среднюю относительную мутность (по той или другой теории), сравнивают ее с эмпирическим значением, отбирают те расчетные значения средней относительной мутности, которые дают значения отношения $\tilde{S}_{\text{cp}}^{\text{э}} / \tilde{S}_{\text{cp}}^{\text{р}}$ не менее 0,5, но не более 2 – по линии фильтра V.

Рассмотренное движение информации происходит по горизонтальным линиям (фильтры I...V), а переходы между указанными уровнями анализа производят по вертикали.

Ограничения алгоритмов обусловлены, в основном, эмпирическими методиками и экспериментальным оборудованием, применяемыми при гидравлических исследованиях.

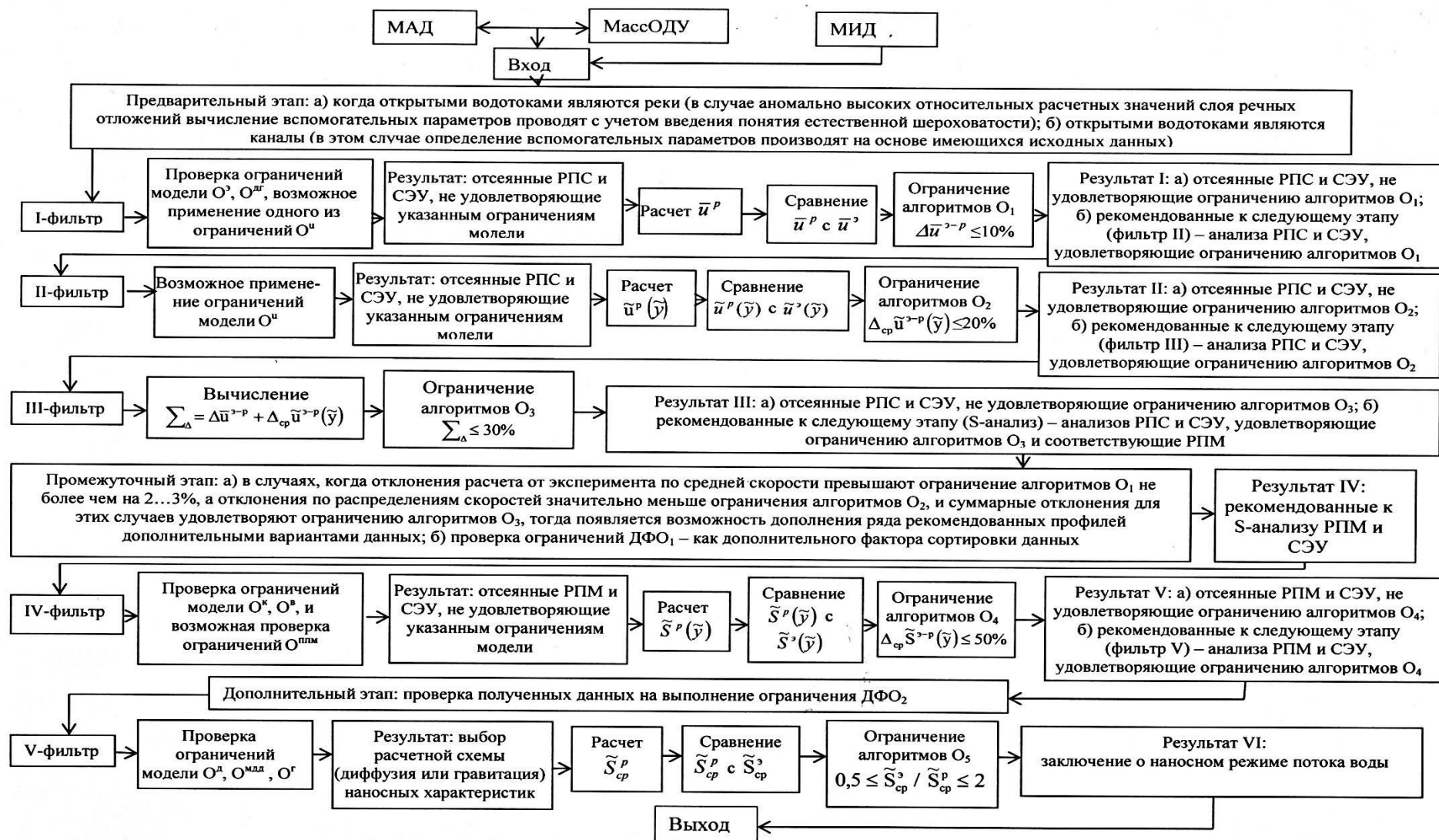


Рисунок 2 – Структура алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков как центрального ядра одноименной модели.

Схемы алгоритмов вписываются в схему модели по линиям матриц МАД, МассОДУ, МИД и блока 9 компьютерных программ (рисунок 1). Алгоритмы и компьютерные программы модели составляются и разрабатываются на основе матриц МАД, МассОДУ, МИД с использованием структуры алгоритмов нетрадиционной идентификации.

На финише идентификации получают режимные параметры идентифицированных изученных открытых водотоков, представляемые в виде визитных карточек идентифицированных объектов (рисунок 1, блок 10).

В разделе 2.3 приведены расчетные формулы и соотношения, применяемые при реализации упомянутых модели и алгоритмов.

В третьей главе исследованы отдельные положения модели нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков.

В разделе 3.1 рассмотрен вопрос определения относительной толщины ламинарного пограничного слоя турбулентного потока воды и условия точки наблюдения динамической скорости потока. Поставленный вопрос решен с использованием показательного профиля и распределения скоростей Доу Го-жень и Ю.А. Ибад-Заде (приближение «0»). Исходя из того, что используемые соотношения показательных профилей Доу Го-жень и Ю.А. Ибад-Заде содержат динамическую скорость \tilde{u}_* можно в правой их части вместо координаты \tilde{y} вывести $\tilde{y}_{\tilde{u}_*}$. Получим:

$$\text{показательный профиль} - \tilde{y}_{\tilde{u}_*} = \tilde{u}_*^m; \quad (1)$$

$$\text{Доу Го-жень} - \tilde{u}_* = 1 - \frac{9,8 \cdot (C/\sqrt{g})^{-0,75} \cdot (1 - \tilde{y}_{\tilde{u}_*})^2}{1 \pm [1 + 50 \cdot \tilde{y}_{\tilde{u}_*} \cdot (1 - \tilde{y}_{\tilde{u}_*})^2]^{\frac{1}{2}}}; \quad (2)$$

$$\text{Ю.А. Ибад-Заде (прибл. «0»)} - \tilde{u}_* = 1 + \left[\frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} - \left(1 - \frac{u_d}{u_m} \right) \right] \cdot (1 - \tilde{y}_{\tilde{u}_*}) - \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} (1 - \tilde{y}_{\tilde{u}_*})^2. \quad (3)$$

При этом выражение (1) применяем непосредственно для вычисления искомой координаты; трансцендентное соотношение (2) решаем методом подбора; уравнение (3) решаем как квадратное.

Для расчетов используем исходные данные по ПК р. Тору-Айгыр.

Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Усредненные по числу опытов значения $\tilde{y}_{\tilde{u}_*}$

| Режим | Значения $\tilde{y}_{\tilde{u}_*}$ для профилей скорости | |
|-------|--|------------------------------|
| | показательный | Ю.А. Ибад-Заде («0» прибл.) |
| ВИВ | $1 \cdot 10^{-3} \dots 6,2 \cdot 10^{-6}$ | $\text{ср} = -0,02 \pm 0,02$ |

Из таблицы 2 видно, что для режима ВИВ (вариант изученных водотоков) получаем для профиля скорости Ю.А. Ибад-Заде («0» прибл.) отрицательные значения корня.

Первое. Предположим, что формула скорости воды на границе ламинарного пограничного слоя (случай гладкой стенки) применима для шероховатого дна и в наших обозначениях запишется в виде

$$u_\delta = \frac{u_*^2 \cdot \delta}{\nu} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{2H} \right). \quad (4)$$

Второе. Допустим, что скорость на границе ламинарного слоя равна динамической, т.е. $u_\delta = u_*$. Тогда выражение (4) будет переписано в виде

$$1 = \frac{u_* \cdot \delta}{\nu} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{2H}\right). \quad (5)$$

Введем безразмерную толщину пограничного слоя $\tilde{\delta} = \delta/H$. Будем иметь

$$1 = \frac{u_* \cdot H}{\nu} \cdot \tilde{\delta} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \tilde{\delta}\right). \quad (6)$$

Преобразуем формулу (6) в степенную функцию

$$\tilde{\delta}^2 - 2\tilde{\delta} + \frac{2\nu}{u_* \cdot H} = 0. \quad (7)$$

Третье. Положим, что $\tilde{\delta} = \tilde{y}_{u_*}$. Для простоты введем обозначение $\tilde{y}_{u_*} = \kappa$. Тогда

$$\kappa^2 - 2\kappa + \frac{2\nu}{u_* \cdot H} = 0. \quad (8)$$

В этом уравнении можно пренебречь первым членом по сравнению со вторым и третьим (то же самое имеет место для эквивалентного (8) уравнения (7)).

Тогда

$$\tilde{\delta} = \frac{\nu}{u_* \cdot H}. \quad (9)$$

Оценка относительной толщины пограничного слоя позволила выявить (таблица 3), что ее величина составляет порядка 10^{-5} для всех опытов. Координата точки наблюдения динамической скорости совпадает по порядку величины с толщиной ламинарного слоя для опытов 1, 4...7 (реализация 56 %).

Таблица 3 – Оценка толщины ламинарного слоя по формуле (9) и сравнение ее с координатой \tilde{y}_{u_*} .

| Опыт | H, м | u_* , м/с | $\tilde{\delta}$ фор. (9) | \tilde{y}_{u_*} фор. (1) |
|---------|------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,20 | 0,210 | $2,5 \cdot 10^{-5}$ | $6,6 \cdot 10^{-5}$ |
| 2 | 0,17 | 0,196 | $3,1 \cdot 10^{-5}$ | 0,00015 |
| 3 | 0,26 | 0,236 | $1,7 \cdot 10^{-5}$ | $6,2 \cdot 10^{-6}$ |
| 4 | 0,23 | 0,242 | $1,9 \cdot 10^{-5}$ | $3,8 \cdot 10^{-5}$ |
| 5 | 0,26 | 0,273 | $1,5 \cdot 10^{-5}$ | $3,3 \cdot 10^{-5}$ |
| 6 | 0,21 | 0,251 | $2,0 \cdot 10^{-5}$ | $6,7 \cdot 10^{-5}$ |
| 7 | 0,19 | 0,284 | $1,9 \cdot 10^{-5}$ | $8,5 \cdot 10^{-5}$ |
| {8; 10} | 0,14 | 0,275 | $2,7 \cdot 10^{-5}$ | 0,0011 |
| 9 | 0,15 | 0,254 | $2,8 \cdot 10^{-5}$ | 0,00022 |

При этом следует иметь в виду, что допущения, принятые нами (о применимости формулы скорости на границе ламинарного слоя (гладкая стенка) для случая шероховатого дна и равенстве этой скорости динамической), нуждаются в тщательной эмпирической проверке.

В разделе 3.2 исследована зависимость относительного коэффициента турбулентной диффузии от вертикальной координаты.

Выражение для относительного коэффициента турбулентной диффузии, с учетом наших обозначений и перехода от абсолютных значений коэффициента турбулентной диффузии к его относительному выражению, имеет вид

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1 - \tilde{y}}{d\tilde{u} / d\tilde{y}}. \quad (10)$$

Распределения относительной скорости воды по глубине потока подставим в формулу (10), тогда получим относительный коэффициент турбулентной диффузии:

парабола –
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{2 \cdot \frac{m_1 \cdot u_*}{u_m \cdot \sqrt{g}} \cdot (1-\tilde{y})} = \frac{\sqrt{g}}{2 \cdot m_1}; \quad (11)$$

эллипс –
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{\frac{p(1-\tilde{y})}{\sqrt{1-p(1-\tilde{y})^2}}} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{\tilde{u}(\tilde{y})}{p}; \quad (12)$$

логарифмика –
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{\frac{u_*}{k \cdot u_m} \cdot \frac{1}{\tilde{y}}} = k \cdot \tilde{y} \cdot (1-\tilde{y}); \quad (13)$$

показательный –
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{\frac{1}{m} \cdot \frac{\tilde{u}(\tilde{y})}{\tilde{y}}} = m \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{\tilde{y} \cdot (1-\tilde{y})}{\tilde{u}(\tilde{y})}; \quad (14)$$

Ю.А. Ибад-Заде, «0» пригл.–
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{-A_3 + 2 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1-\tilde{y})}; \quad (15)$$

Ю.А. Ибад-Заде, «I» пригл.–
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{-A_4 - 2 \cdot A_5 \cdot (1-\tilde{y}) + 2,01 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1-\tilde{y})^2}; \quad (16)$$

Ю.А. Ибад-Заде, «II» пригл.–
$$\tilde{\varepsilon} = \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{1-\tilde{y}}{-A_6 - 2A_7 \cdot (1-\tilde{y}) - 3A_8 \cdot (1-\tilde{y})^2 + 2 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1-\tilde{y})^3}. \quad (17)$$

На основе функций $\tilde{\varepsilon}(\tilde{y})$ установлены следующие факты неприменимости при исследовании профилей скорости воды: эллиптического (причина – прогнозируемый максимум коэффициента $\tilde{\varepsilon}$ на поверхности потока); распределений скорости Ю.А. Ибад-Заде («0» пригл., причина – в выражении для определения координаты максимума коэффициента $\tilde{\varepsilon}$ отсутствует сама координата; «I» пригл., причина – в качестве координаты максимума $\tilde{\varepsilon}$ получаются два комплексно сопряженных числа; «II» пригл., причина – координата максимума коэффициента $\tilde{\varepsilon}$ является действительной величиной, выходящей за область определения вертикальной координаты).

Распределение относительного коэффициента турбулентной диффузии по глубине потока вычислялось по формулам (13), (14) и представлено на рисунке 3.

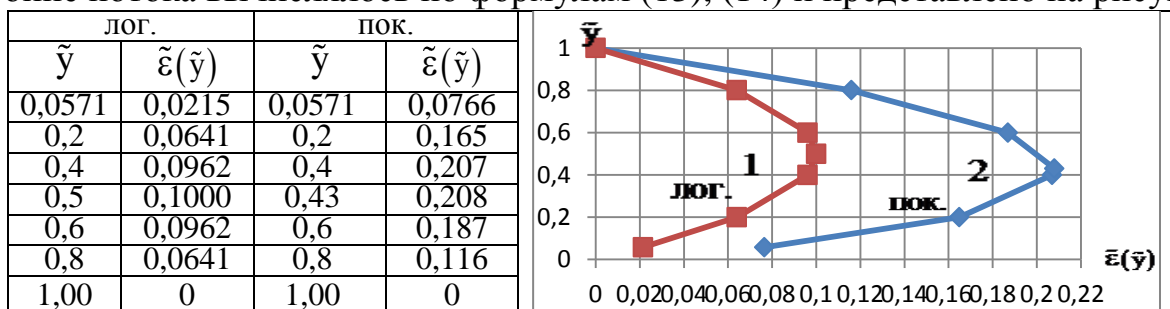


Рисунок 3 – Распределения относительного коэффициента турбулентной диффузии по глубине потока в случаях применения: 1 – логарифмического профиля (гладкое русло) и 2 – показательного распределения скорости воды.

В результате тестовых расчетов (помимо утилитарного их назначения) выявлен новый факт пропорциональности максимального значения относительного коэффициента турбулентной диффузии параметру m показательной зависимости (или коэффициенту Шеши) и обратной пропорциональности его шероховатости русла (или потерям энергии) (рисунок 4).

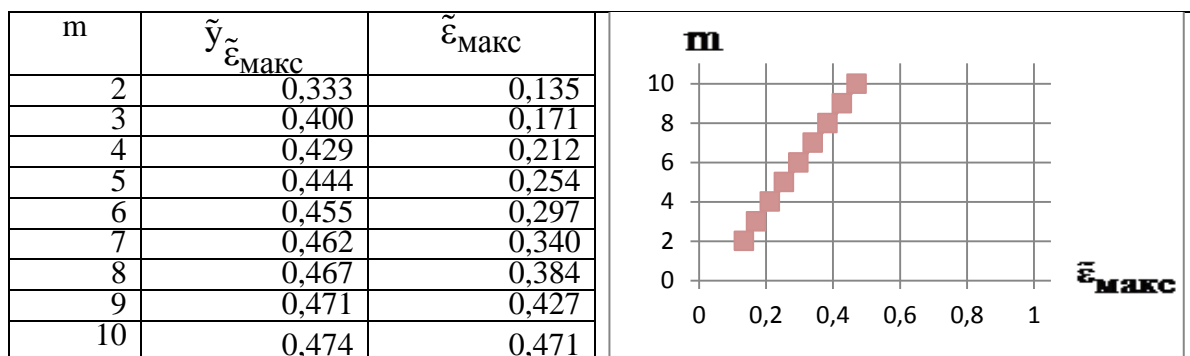


Рисунок 4 – Зависимость максимума относительного коэффициента турбулентной диффузии от параметра $m(C)$.

В разделе 3.3 выявлена связь между длиной пути смешения и поперечными масштабами турбулентности. Длина пути смешения является ключевой характеристикой в полуэмпирических теориях и моделях турбулентного течения жидкости.

Существует аналогия между длиной пути смешения и поперечными масштабами турбулентности: пропорциональность (М.А. Великанов) или равносильность (Е.М. Минский) указанных понятий. Кроме того, отмечена слабость позиций Кармана и Никурадзе, которая заключена при оценке пути смешения в графическом дифференцировании эмпирических распределений скорости воды. Модели турбулентного течения жидкости являются достаточно сложными и в то же время удаленными от реальной картины течения воды в открытых водотоках.

Наряду с этим необходимым и достаточным условием формальной аналогии между турбулентной и физической диффузией выполняются равенства: $\tilde{\varepsilon}(\tilde{y}) = \text{const}$, $\tilde{L}(\tilde{y}) = \text{const}$, $\tilde{\sigma}_v(\tilde{y}) = \text{const}$ для всего потока жидкости.

Далее воспользуемся тем фактом, что вертикальная компонента скорости и ее пульсации близки друг к другу, т.е. $\tilde{\sigma}_v \propto \tilde{\sigma}_{v'}$. С учетом этого формула длины пути смешения (с учетом наших обозначений) запишется в виде

$$\tilde{L}(\tilde{y}) = \frac{\tilde{\varepsilon}(\tilde{y})}{\tilde{\sigma}_{v'}(\tilde{y})}. \quad (18)$$

Получены формулы для относительного коэффициента турбулентной диффузии, согласующиеся с литературными данными, в случаях применения логарифмического (гладкая стенка)

$$\tilde{\varepsilon}(\tilde{y}) = k \cdot \tilde{y} \cdot (1 - \tilde{y}); \quad (19)$$

и показательного профиля скорости воды

$$\tilde{\varepsilon}(\tilde{y}) = m \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot \frac{\tilde{y} \cdot (1 - \tilde{y})}{\tilde{u}(\tilde{y})}. \quad (20)$$

Воспользуемся формулой И.К. Никитина для распределения пульсаций вертикальной компоненты скорости воды

$$\tilde{\sigma}_{v'} = \frac{\sigma_{v'}}{u_*} = \frac{0,71 \cdot \tilde{y} (\tilde{y}^2 - 2\tilde{y} + 2)}{\tilde{y} + 0,036}. \quad (21)$$

Подставляя формулы (19), (20) и (21) в выражение (18), получим формулы длины пути смешения для случаев:

$$\text{логарифмика (гладкая стенка)} - \tilde{L}(\tilde{y}) = \frac{k \cdot (1 - \tilde{y}) \cdot (\tilde{y} + 0,036)}{0,71 \cdot (\tilde{y}^2 - 2\tilde{y} + 2)}; \quad (22)$$

$$\text{показательный профиль} - \tilde{L}(\tilde{y}) = \frac{m \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1 - \tilde{y}) \cdot (\tilde{y} + 0,036)}{0,71 \cdot (\tilde{y}^2 - 2\tilde{y} + 2) \cdot \tilde{u}(\tilde{y})}. \quad (23)$$

Построим графики этих зависимостей (рисунок 5).

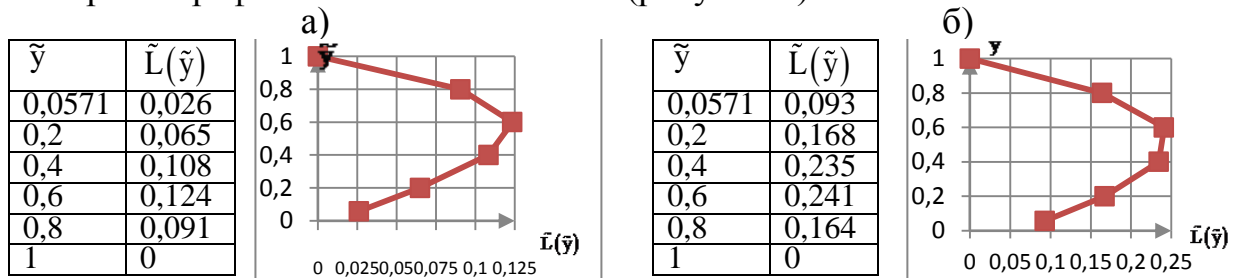


Рисунок 5 – Длина пути смещения: а) – при использовании логарифмического профиля скорости воды (гладкая стенка), б) – показательного распределения скорости воды (счет начинается с относительной шероховатости $\tilde{\Delta} = 0,0571$, опыт {8, 10} ПК р. Тору-Айгыр).

Найдем граничные, средние значения и координаты максимума длины пути смещения (таблица 4).

Таблица 4 – Граничные, средние значения и координаты максимума длины пути смещения

| Профиль | $\tilde{L}(\tilde{y})$ | | \tilde{L}_{cp} | $\tilde{L}_{\text{макс}}$ |
|---------------|------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| | при $\tilde{y} = 0$ | при $\tilde{y} = 1$ | | |
| логарифмика | 0,010 | 0 | 0,08 | 0,124 |
| показательный | расходится | 0 | 0,17 | 0,247 |

Как было отмечено выше, кривые $\tilde{L}(\tilde{y})$ имеют вид, подобный кривым поперечных масштабов турбулентности:

первое – имеются максимумы рассматриваемых показателей: $\tilde{L}_{\text{макс}}^{(n)} = 0,124$ при $\tilde{y} = 0,58$, $\tilde{L}_{\text{макс}}^{(n)} = 0,247$ при $\tilde{y} = 0,52$, а для поперечных масштабов турбулентности: $\tilde{L}(uu)_y^{\text{макс}} = 0,118$ при $\tilde{y} = 0,48$ и $\tilde{L}(vv)_y^{\text{макс}} = 0,167$ при $\tilde{y} = 0,48$;

второе – средние значения рассматриваемых показателей: $\tilde{L}_{\text{cp}}^{(n)} = 0,08 \pm 0,04$, $\tilde{L}_{\text{cp}}^{(n)} = 0,17 \pm 0,08$, а для поперечных масштабов турбулентности: $\tilde{L}_{\text{cp}}(uu)_y = 0,08 \pm 0,03$, $\tilde{L}_{\text{cp}}(vv)_y = 0,10 \pm 0,04$;

третье – граничные значения рассматриваемых характеристик $\tilde{L}^{(n)}(0) = 0,010$, $\tilde{L}^{(n)}(0)$ – расходится; $\tilde{L}^{(n)}(1) = 0$, $\tilde{L}^{(n)}(1) = 0$, а для поперечных масштабов турбулентности: $\tilde{L}(uu)_y = \tilde{L}(vv)_y = 0$ и на дне и на поверхности потока.

Подсчитаем соответствующие коэффициенты пропорциональности:

$$\tilde{\gamma}^{(n)} = \frac{\tilde{L}^{(n)}(\tilde{y})}{\tilde{L}(uu)_y} - \text{для логарифмики}; \quad (24)$$

$$\tilde{\gamma}^{(n)} = \frac{\tilde{L}^{(n)}(\tilde{y})}{\tilde{L}(vv)_y} - \text{для показательного профиля}. \quad (25)$$

Результаты указанных расчетов свидетельствуют о нижеследующем:

➤ в случае использования логарифмического профиля скорости воды обсуждаемый коэффициент пропорциональности $\tilde{\gamma}^{(n)} = 0,9 \pm 0,3$, что в свою очередь говорит в пользу утверждения Е.М. Минского о равносильности длины пути смещения и масштаба турбулентности;

➤ в случае применения показательного распределения скорости воды коэффициент пропорциональности $\tilde{\gamma}^{(n)} = 1,5 \pm 0,4$, что свидетельствует в пользу суждения М.А. Великанова о пропорциональности длины пути смещения и масштаба турбулентности.

Из выражения для максимума длины пути смещения с применением показательного профиля скорости воды следует, что указанное значение зависит от параметра показательного закона (рисунок 6).

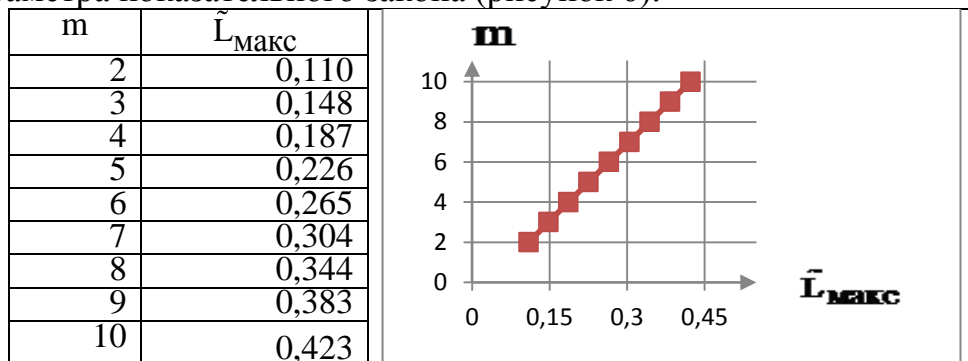


Рисунок 6 – Зависимость максимального значения длины пути смещения (показательный профиль скорости воды) от параметра m .

Выявлена обратно пропорциональная зависимость между длиной пути смещения и шероховатостью дна водотока: чем больше шероховатость русла или потери энергии, тем меньше максимум длины пути смещения; чем меньше шероховатость русла и потери энергии, тем выше максимальное значение длины пути смещения. Это обстоятельство является установленным новым фактом.

Обобщая полученные результаты, можно представить следующую схематическую картину турбулентного перемешивания:

➤ первое – установлена зона (центральная часть потока воды), где наблюдается интенсивное турбулентное перемешивание потока воды, характеризуемая наличием максимальных значений относительного коэффициента турбулентной диффузии ($\tilde{\gamma}_{\tilde{L}_{\text{макс}}} = 0,5$ (логарифмика) и 0,43 (показательный профиль) – наши данные; значение координаты максимума равно 0,5 – литературные данные; максимальные значения длины пути смещения: $\tilde{\gamma}_{\tilde{L}_{\text{макс}}} = 0,58$ (логарифмика), $\tilde{\gamma}_{\tilde{L}_{\text{макс}}} = 0,52$ (показательный профиль) – наши данные и подобное значение $\tilde{\gamma} = 0,48$ – литературные данные);

➤ второе – само перемешивание начинается не со дна потока, где находится тончайший ламинарный слой воды, в котором мельчайшие ламинарные вихри диссипируют механическую энергию в теплоту (кстати, значениям длины пути смещения на дне потока 0,010 (логарифмика) и расходящимся значением (показательный профиль) придавать особого значения не стоит, так как серьёзно говорить о турбулентном перемешивании в условиях ламинарного течения воды не имеет смысла).

В разделе 3.4 установлено ограничение $O^{\text{ппм}}$ применимости показательного профиля мутности воды Е.В. Клевцова к условиям средних и малых рек горно - предгорной зоны Кыргызстана. Указанное ограничение представляет собой совокупность граничных значений уклона и относительной шероховатости дна водотоков, параметров показательных профилей скорости и мутности воды, максимальной скорости воды и предельной координаты минимальной (ненулевой) мутности воды при фиксированном фракционном составе (или крупности) взвешенных наносов.

Составим на основе материалов 17 рек Кыргызстана таблицу 5, в которую включим значения уклонов дна этих водотоков и параметра показательной зависимости β^*

$$\beta^* = \frac{1,65 \cdot W}{i \cdot u_m}. \quad (26)$$

Из беглого ознакомления с ней следует практически интуитивное предположение о нахождении упомянутой границы в районе значений параметра $\beta^* \leq 10$, но оно требует подробного анализа и его проверки.

Составим рисунок 7, где приведем данные о связи $\beta^*(i)$.

Положим, что подобная граница начинается со значения $\beta^* \leq 5$. Однако для оценки достаточно взять несколько объектов из приведенных выше. Остановимся на четырех реках: Бор Дюбе ($\beta^* \sim 1$), Чон Каинды ($\beta^* \sim 2$), Джети-Огуз ($\beta^* \sim 4$) и Карабалты ($\beta^* \sim 5$).

Таблица 5 – Значения уклонов дна и параметра β^* (17 рек Кыргызстана)

| Река | i | β^* |
|-------------------|--------|-----------|
| Тюп (к) | 0,0009 | 91,6 |
| Джергалан (к) | 0,0010 | 59,4 |
| Талас (к) | 0,0015 | 36,9 |
| Сусамыр (к) | 0,0013 | 34,6 |
| Кара-Бура (с) | 0,0090 | 12,7 |
| Суек (с) | 0,0082 | 7,99 |
| Джуван Арык (к) | 0,0075 | 6,55 |
| Карабалты (с) | 0,0140 | 5,06 |
| Ур Марал (с) | 0,0110 | 5,00 |
| Джети-Огуз (с) | 0,0170 | 4,13 |
| устье Б.Кемин (к) | 0,0100 | 4,04 |
| Сокулук (с) | 0,0240 | 2,21 |
| Чон Каинды (с) | 0,0370 | 2,15 |
| Туюк (м) | 0,0430 | 1,74 |
| Джергалчак (м) | 0,0450 | 1,67 |
| Бозщук (м) | 0,0540 | 1,39 |
| Бор Дюбе (м) | 0,0630 | 1,35 |

Примечания: 1. водотоки расставлены в порядке убывания параметра β^* ; 2. условные обозначения «к» – крупная, «с» – средняя, «м» – малая реки.

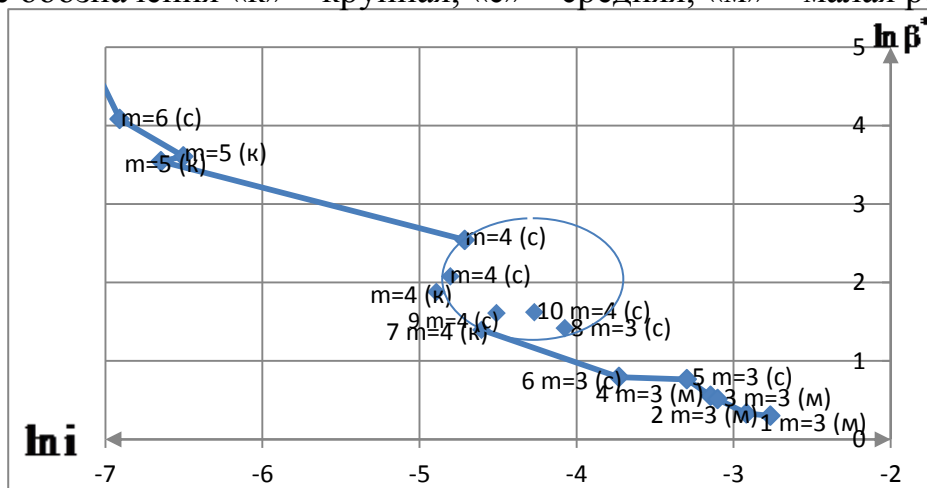


Рисунок 7 – К зависимости $\beta^*(i)$: на рисунке приведены: 1) значения параметра m показательного закона скорости воды; 2) классификационные индексы водотоков «к», «с», «м» – крупная, средняя, малая реки; 3) в правой части графика пронумерованы реки справа налево: 1 – Бор Дюбе, 2 – Бозщук, 3 – Джергалчак, 4 – Туюк, 5 – Чон Каинды, 6 – Сокулук, 7 – Б.Кемин, 8 – Джети-Огуз, 9 – Ур Марал, 10 – Карабалты.

Рассчитаем показательные профили мутности Е.В. Клевцова для выбранных объектов по формулам

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = F_1^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_2^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_3^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_1(\tilde{y}) \cdot F_2(\tilde{y}) \cdot F_3(\tilde{y}). \quad (27)$$

Необходимые для вычисления профилей мутности воды коэффициенты a_i и значения функции $F^{(-)}(\tilde{\Delta}) = F_1^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_2^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_3^{(-)}(\tilde{\Delta})$ приведены в таблицах 6 и 7 соответственно.

Таблица 6 – Значения коэффициентов a_i для выбранных объектов

| Коэффициенты | | | |
|--|-------|-------|-------|
| a_1 | a_2 | a_3 | a_4 |
| р.р. Бор Дюбе, Чон-Каинды, Джети-Огуз; $m=3$ | | | |
| -0,50 | 0,50 | 0,87 | 0,86 |
| a_5 | a_6 | a_7 | a_8 |
| р. Карабалты; $m=4$ | | | |
| 0 | 0 | -1 | 1 |

Таблица 7 – Значения функции $F^{(-)}(\tilde{\Delta})$ для выбранных объектов

| Река | Относительная шероховатость дна водотока $\tilde{\Delta}$ | $F^{(-)}(\tilde{\Delta})$ |
|------------|---|---------------------------|
| Бор Дюбе | 0,12 | 0,52 |
| Чон Каинды | 0,22 | 0,42 |
| Джети-Огуз | 0,18 | 0,12 |
| Карабалты | 0,12 | 4,20 |

Для дальнейшего анализа введем понятие предельного значения относительной вертикальной координаты наблюдения минимальной (ненулевой) мутности, которое лимитирует применение показательного профиля мутности воды $\tilde{y}(\tilde{s}_{\min} \neq 0)$. Будем считать, что подобная величина должна составлять по крайней мере значение $\geq 0,5$. Рассчитанные показательные профили мутности воды приведены на рисунке 8.

Для определенности анализа положим:

- минимальное «ненулевое» значение мутности воды считается таковым, когда первая значащая цифра находится во втором знаке после запятой;
- минимальное «нулевое» значение мутности воды считается таковым, когда первая значащая цифра находится в третьем знаке после запятой.

Руководствуясь данными рисунка 8, устанавливаем, что упомянутые предельные значения $\tilde{y}(\tilde{s}_{\min} \neq 0)$ составляют для рек: Бор Дюбе 0,95 ($\tilde{s}_{\min} = 0,036$), Чон Каинды 0,8 ($\tilde{s}_{\min} = 0,036$), Джети-Огуз 0,6 ($\tilde{s}_{\min} = 0,020$), Карабалты 0,5 ($\tilde{s}_{\min} = 0,022$).

По этим данным построим график (рисунок 9). Видно, что рассматриваемая зависимость носит практически линейный характер.

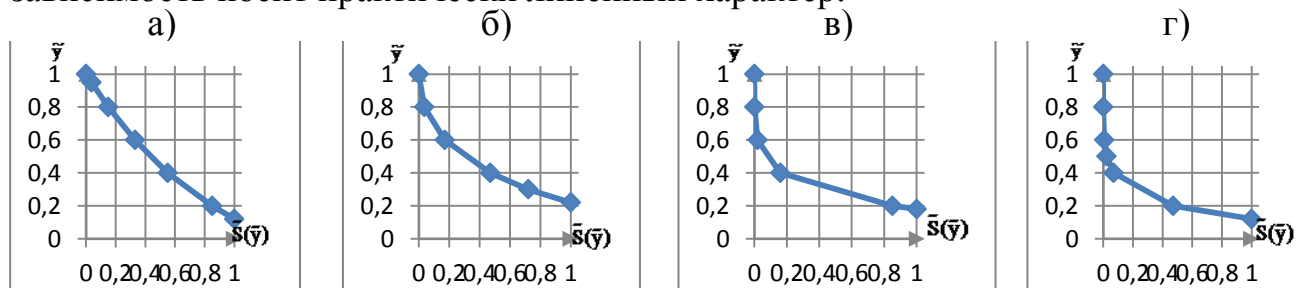


Рисунок 8 – Показательные профили мутности воды для выбранных объектов: а) – р. Бор-Дюбе, б) – р. Чон Каинды, в) – р. Джети-Огуз, г) – р. Карабалты.

Перейдем к формированию ограничения ($O^{\text{ппм}}$) применимости показательного профиля мутности воды.

Указанное ограничение должно охватывать следующий ряд параметров и характеристик: i , m , β^* , $\tilde{\Delta}$, u_m , $\tilde{y}(\tilde{s}_{\min} \neq 0)$.

Обращаясь к данным таблиц 6, 7 и рисунков 8, 9, устанавливаем граничные значения указанных величин: $i \geq 0,01$; $m \leq 4$; $\beta^* \leq 5$; $\tilde{\Delta} < 0,3$; $u_m \geq 1$ м/с; $\tilde{y}(\tilde{s}_{\min} \neq 0) \geq 0,5$ при $\bar{d} \sim 0,5$ мм ($\bar{W} = 0,0524$ м/с).

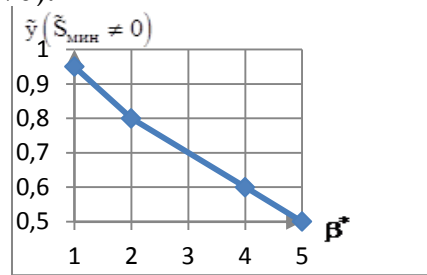


Рисунок 9 – Предельные значения координаты $\tilde{y}(\tilde{s}_{\min} \neq 0)$ в зависимости от параметра показательного профиля мутности воды β^* .

В разделе 3.5 преобразованы соотношения для распределений относительной скорости воды и относительной мутности потока Ю.А. Ибад-Заде (три приближения) к компактному виду с выделением типовых коэффициентов для практического использования упомянутых профилей.

Распределение скорости воды по глубине потока

Ю.А. Ибад-Заде «0» приближение –

$$\tilde{u}(\tilde{y}) = 1 + \left[\frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} - \left(1 - \frac{u_d}{u_m} \right) \right] \cdot (1 - \tilde{y}) - \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1 - \tilde{y})^2 = 1 + A_3 \cdot (1 - \tilde{y}) - \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1 - \tilde{y})^2, \quad (28)$$

$$\text{«I» приближение} - \tilde{u}(\tilde{y}) = 1 + A_4 \cdot (1 - \tilde{y}) + A_5 \cdot (1 - \tilde{y})^2 - 0,67 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1 - \tilde{y})^3, \quad (29)$$

$$\text{«II» приближение} - \tilde{u}(\tilde{y}) = 1 + A_6 \cdot (1 - \tilde{y}) + A_7 \cdot (1 - \tilde{y})^2 + A_8 \cdot (1 - \tilde{y})^3 - 0,5 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m} \cdot (1 - \tilde{y})^4, \quad (30)$$

В эти выражения входит отношение $\frac{u_d}{u_m}$, которое можно привести с учетом предварительного вычисления коэффициентов B_i к виду

$$\frac{u_d}{u_m} = A_0 + A_1 \cdot \frac{\bar{u}}{u_m} + A_2 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m}, \quad (31)$$

где A_0, A_1, A_2 коэффициенты, которые приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Значение коэффициентов A_0, A_1, A_2

| Приближение | A_0 | A_1 | A_2 |
|-------------|-------|-------|-------|
| «0» | -1 | 2 | -0,33 |
| «I» | -1,25 | 2,24 | -0,18 |
| «II» | -1,44 | 2,44 | -0,23 |

Средняя скорость воды

Ее найдем, интегрируя формулы (28), (29), (30) по \tilde{y} от 0 до 1

$$\bar{u}(\text{м/с}) = u_m \cdot \int_0^1 \tilde{u}(\tilde{y}) \cdot d\tilde{y} :$$

$$\text{«0» пригл.} - \bar{u}(\text{м/с}) = 0,5 \cdot u_m \cdot \left(1 + \frac{u_d}{u_m} \right) + 0,17 \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot u_* ; \quad (32)$$

$$\text{«I» пригл.} - \bar{u}(\text{м/с}) = 0,5 \cdot u_m \cdot \left(1,1 + 0,9 \cdot \frac{u_d}{u_m} \right) + 0,236 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot u_* ; \quad (33)$$

$$\text{«II» пригл.} - \bar{u}(\text{м/с}) = 0,5 \cdot u_m \cdot \left(1,18 + 0,82 \cdot \frac{u_d}{u_m} \right) + 0,286 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot u_* . \quad (34)$$

Распределение относительной мутности воды по глубине потока

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = (1 - \tilde{y})^{\left(1 - \frac{u_D}{u_M} + \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_M}\right) \frac{w/u_*}{u_*/u_M}} \cdot \exp\left(-2 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{w}{u_*} \cdot \tilde{y}\right). \quad (35)$$

Полученные нами соотношения содержат безразмерные комплексы такие, как $\frac{u_D}{u_M}, \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_M}, \frac{w}{u_*}$.

В разделе 3.6 получены выражения для средней (по сечению потока) скорости воды для распределений Кармана, Тэйлора-1 и Тэйлора-2. Расчетные значения средней по сечению потока скорости воды имеют следующий вид:

распределение скорости Кармана

$$\bar{u} = \frac{u_*}{\kappa} \cdot \left\{ -\frac{1}{2} + \frac{d_{\text{отм.}}}{2H} - \sqrt{1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}} + \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}\right)^{3/2} - \frac{d_{\text{отм.}}}{H} \cdot \ln\left(1 - \sqrt{1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}}\right) \right\} + u_M \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}\right); \quad (36)$$

использование этой формулы предполагает предварительные знание $u_M, u_*, d_{\text{отм.}}/H$, где $d_{\text{отм.}}$ – средневзвешенный диаметр отмытки русла, m или u_M, H, i, Δ , где Δ – относительная шероховатость дна водотока;

профиль скорости Тэйлора – 1 (перенос количества движения)

$$\bar{u} = \frac{u_*}{0.23} \cdot \left\{ -2 \cdot \sqrt{1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}} + \frac{4}{3} \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}\right)^{3/2} + \frac{d_{\text{отм.}}}{H} \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}}} \right\} + u_M \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{отм.}}}{H}\right); \quad (37)$$

применение этой формулы предполагает предварительное знание $u_M, u_*, d_{\text{отм.}}/H$ или u_M, H, i, Δ .

распределение скорости Тэйлора – 2 (перенос завихренности) –

$$\bar{u} = u_M - 0.59 \cdot u_*. \quad (38)$$

В четвертой главе проведена нетрадиционная идентификация режимных параметров для природных объектов: ПК р. Торуг-Айгыр, ОК р. Аспара и р. Теджен, створ Аулата. В результате установлена необходимость очистки взвесенесущих потоков воды в указанных условиях от взвешенных наносов. Результаты идентификации представлены в виде визитных карточек этих объектов.

Визитная карточка идентифицированного объекта ПК р. Торуг-Айгыр приведена на рисунке 10. В результате проведенной идентификации взвесенесущего потока воды в условиях ПК р. Торуг-Айгыр установлено следующее:

- устойчивая стабильность интерпретации опыта {8; 10} гравитационной теорией (показательное распределение относительной скорости воды, показательный профиль относительной мутности потока) вне зависимости от использованных вариантов (дву-, четырех-, шестизвенного) нетрадиционной идентификации;

- на основе двузвенного варианта идентификации получена количественная граница между обеими теориями ($\bar{d} < 1\text{ мм}$, $\bar{S}^3 \sim 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ – диффузия, $\bar{d} > 1\text{ мм}$, $\bar{S}^3 \sim 3 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$ – гравитация), которая позволяет ориентировочно производить выбор между указанными теориями при анализе эмпирических материалов;

- сравнительный анализ интерпретации эмпирических данных выявил перегруженность взвесенесущего потока воды наносами – диффузия, и недогруженность ими – гравитация.

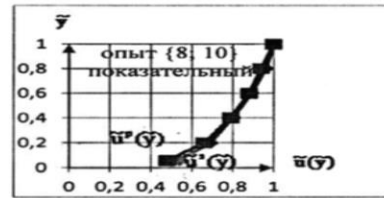
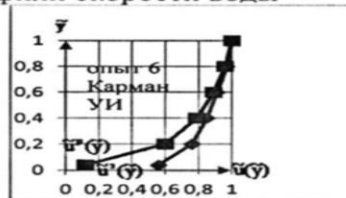
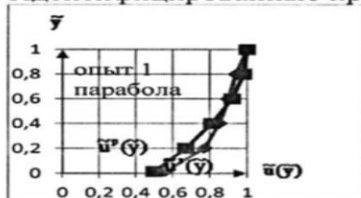
Визитная карточка идентифицированного объекта ОК р. Аспара приведена на рисунке 11. В результате проведенной идентификации взвесенесущего потока воды в условиях ОК р. Аспара установлено следующее:

Исходные данные

| Опыт | $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $H, \text{ м}$ | $\bar{\Delta}$ | i | $u_m, \text{ м/с}$ | $C, \text{ м}^{1/2}/\text{с}$ | $u_*, \text{ м/с}$ | $\bar{u}', \text{ м/с}$ |
|-------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1; 2-зв.ц.(диффузия) | 0,300 | 0,20 | 0,0165 | 0,03 | 1,62 | 32 | 0,210 | 1,27 |
| 6 УИ; 4-зв.ц. (диффузия) | 0,391 | 0,21 | 0,0381 | 0,04 | 2,12 | 30 | 0,251 | 1,65 |
| {8; 10}; 6-зв.ц. (гравитация) | 0,182 | 0,14 | 0,0571 | 0,07 | 1,57 | 24 | 0,275 | 1,15 |

| Опыт | $\bar{d}, \text{ мм}$ | $\bar{S}, \text{ кг/м}^3$ | $d_m, \text{ мм}$ | $S_d, \text{ кг/м}^3$ | $\bar{S}_{cp} = \frac{\bar{S}}{S_d}$ |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 1; 2-зв.ц.(диффузия) | 0,71 | $2,01 \cdot 10^{-3}$ | 0,82 | $3,16 \cdot 10^{-2}$ | 0,064 |
| 6 УИ; 4-зв.ц. (диффузия) | 1,31 | $1,11 \cdot 10^{-1}$ | 1,69 | 1,47 | 0,08 |
| {8; 10}; 6-зв.ц. (гравитация) | 1,03 | $3,15 \cdot 10^{-2}$ | 1,11 | $2,39 \cdot 10^{-1}$ | 0,15 |

Идентифицированные профили скорости воды



Идентифицированные распределения мутности воды



Показатели (%) идентификации

| опыт | I этап | II этап | III этап | IV этап | V этап | VI этап |
|--------|-------------------------------|--|---|------------------------|---|--|
| {8;10} | $\Delta \bar{u}^{2-p} = 8,69$ | $\Delta_{cp} \bar{u}^{2-p}(\bar{y}) = 3,2$ | $\Delta_{cp} \bar{u}^{2-p}(\text{д.ч}) = 7,5$ | $\sum_{\Delta} = 11,9$ | $\Delta_{cp} \bar{S}^{2-p}(\bar{y}) = 40,2$ | $\bar{S}_{cp}^2 / \bar{S}_{cp}^p = 0,48$ |

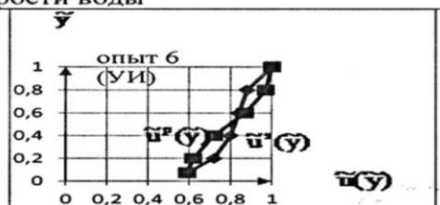
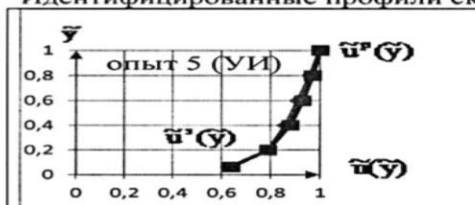
Рисунок 10. Визитная карточка идентифицированного объекта исследований взвесенесущий поток воды в условиях опыта {8; 10} ПК р. Торун-Айгыр.

Исходные данные

| Опыт | $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $H, \text{ м}$ | $\bar{\Delta}$ | i | $u_m, \text{ м/с}$ | $C, \text{ м}^{1/2}/\text{с}$ | $u_*, \text{ м/с}$ | $\bar{u}', \text{ м/с}$ |
|--------------------|---------------------------|----------------|----------------|-------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| 5 (УИ; гравитация) | 0,512 | 0,090 | 0,0622 | 0,040 | 3,49 | 42 | 0,180 | 2,88 |
| 6 (УИ; диффузия) | 0,361 | 0,075 | 0,0747 | 0,040 | 3,22 | 38 | 0,170 | 2,31 |

| Опыт | $\bar{d}, \text{ мм}$ | $\bar{S}, \text{ кг/м}^3$ | $d_m, \text{ мм}$ | $S_d, \text{ кг/м}^3$ | $\bar{S}_{cp} = \frac{\bar{S}}{S_d}$ | Fr |
|--------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----|
| 5 (УИ; гравитация) | 5,41 | $1,87 \cdot 10^{-3}$ | 6,0 | $1,10 \cdot 10^{-2}$ | 0,170 | 9,4 |
| 6 (УИ; диффузия) | 2,26 | $4,59 \cdot 10^{-4}$ | 5,0 | $3,20 \cdot 10^{-3}$ | 0,143 | 7,3 |

Идентифицированные профили скорости воды



Идентифицированные распределения мутности воды



Показатели (%) идентификации

| опыт | I этап | II этап | III этап | IV этап | V этап | VI этап |
|------|-------------------------------|--|---|----------------------------|---|--|
| 5 | $\Delta \bar{u}^{2-p} = 9,7$ | $\Delta_{cp} \bar{u}^{2-p}(\bar{y}) = \pm 1,2$ | $\Delta_{cp} \bar{u}^{2-p}(\text{д.ч}) = \pm 0,8$ | $\sum_{\Delta} = \pm 10,9$ | $\Delta_{cp} \bar{S}^{2-p}(\bar{y}) = \pm 53,8$ | $\bar{S}_{cp}^2 / \bar{S}_{cp}^p = 0,31$ |
| 6 | $\Delta \bar{u}^{2-p} = -3,9$ | $\Delta_{cp} \bar{u}^{2-p}(\bar{y}) = \pm 6,3$ | $\Delta_{cp} \bar{u}^{2-p}(\text{д.ч}) = 7,0$ | $\sum_{\Delta} = \pm 10,2$ | $\Delta_{cp} \bar{S}^{2-p}(\bar{y}) = \pm 55,6$ | $\bar{S}_{cp}^2 / \bar{S}_{cp}^p = 18,9$ |

Рисунок 11. Визитная карточка идентифицированного объекта исследований — взвесенесущий поток воды в условиях опытов 5 и 6 (ОК р. Аспара).

➤ неустойчивость связей средней и максимальной крупностей взвешенных наносов с глубиной потока, обусловленная влиянием степени бурности взвесенесущего потока воды;

➤ сравнительный анализ интерпретации эмпирических данных выявил перегруженность взвесенесущего потока воды наносами – диффузия; опыт 6, и недогруженность ими – гравитация; опыт 5.

В результате проведенной идентификации режимных параметров взвесенесущих потока воды в условиях р. Теджен, створ Аулата выявлено следующее:

➤ неприменимость разработанной модели и ее алгоритмов к взвесенесущему потоку воды в условиях р. Теджен, створ Аулата (равномерные распределения скорости и мутности воды по глубине потока, что соответствует режиму движения взвешенных наносов в камерах отстойного сооружения или в водотоках, функционирующих по варианту («канал-отстойник»)).

Указанное обстоятельство связано с тем, что обе теории (диффузионная, гравитационная) не описывают процесс осаждения взвешенных наносов в упомянутых условиях.

Выявленные факты перегруженности потока воды взвешенными наносами (с точки зрения диффузионной теории) и недогруженности ими (под углом зрения гравитационной теории) обусловлены конкретным видом расчетной формулы транспортирующей способности потока (согласно диффузии – пропорциональность квадрату средней скорости, согласно гравитации – пропорциональность кубу средней скорости).

В пятой главе даны практические рекомендации по повышению степени очистки оросительной воды от взвешенных наносов. Разработаны метод определения поверхностной скорости воды и метод гидроавтоматической очистки воды от взвешенных наносов, подтвержденных патентами КР (совместно с Г.К. Керимкуловой) на соответствующие способы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны структуры модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков, которые в комплексе с расчетными соотношениями и формулами, ограничениями модели и алгоритмов составляют теоретическую базу упомянутых модели и алгоритмов;

2. указанные модель и алгоритмы позволяют установить режимные параметры, назначить технологические схемы эксплуатации открытых водотоков и сформулировать практические рекомендации по повышению качества очистки воды от взвешенных наносов на основе отдельных положений диффузионной и гравитационной теорий взвесенесущих потоков воды, а также моделей изотропной турбулентности;

3. установлена (оценочно) относительная толщина ламинарного пограничного слоя, в пределах которого осуществляется диссипация механической энергии в теплоту;

4. выявлена зависимость максимума относительного коэффициента турбулентной диффузии от потерь энергии: чем выше шероховатость дна водотока (больше потери энергии), тем меньше значение $\tilde{\epsilon}_{\text{макс}}$ и наоборот;

5. обнаружен максимум длины пути смещения (и поперечных масштабов турбулентности) в центральной части потока воды, причем максимальные значения указанных характеристик также зависят от потерь энергии;

6. предложена схематическая картина турбулентного перемешивания реального потока воды: указанное перемешивание начинается в турбулентном пограничном слое, наиболее интенсивно развивается в центральной зоне потока воды (здесь наблюдаются максимальные значения относительного коэффициента турбулентной диффузии, относительной длины пути смещения и поперечных

масштабах турбулентности) выявляется точка наблюдения средней по сечению потока скорости воды, и завершается оно в приповерхностном слое воды;

7. проведена нетрадиционная идентификация режимных параметров ПК р. Тору-Айгыр, ОК р. Аспара и р. Теджен, створ Аулата, в результате которой установлена необходимость очистки взвешенных потоков воды в указанных условиях от взвешенных наносов;

8. даны практические рекомендации по повышению степени очистки оросительной воды от взвешенных наносов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Монографии

1. **Аскалиева, Г.О.** Нетрадиционная идентификация режимных параметров открытых водотоков [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева. – Б: Техник, 2016.– 177с.

2. **Аскалиева, Г.О.** Основные положения модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Итоги науки.– М: РАН, 2014.–Т.1.– С.61-87.

Патенты

3. **Пат. №1598** Кыргызская Республика. E02B 8/02, E02B 8/06, E02B 9/04, E04B 43/12 Способ гидроавтоматической очистки воды от взвешенных наносов [Текст] / К. А. Пресняков, Г. К. Керимкулова, Н. М. Большаков, Г. О. Аскалиева. – № 20120102.1; заявл. 06.11.2012; опубл. 31.12.2013, интеллектуалдык менчик расмий бюл. – № 12; 31.12.2013. –10 с.: ил.

4. Способ определения поверхностной скорости воды [Текст] / К.А. Пресняков, Г.О. Аскалиева; Бишкек. №20170131.1; заяв. 01.12.2017г;

Статьи, опубликованные в журналах и сборниках

5. **Аскалиева, Г.О.** Анализ формул расхода и средней скорости воды [Текст] / Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр.– Бишкек, 2012.–№1(22).– С.43-47.

6. **Аскалиева, Г.О.** Вывод формул средней скорости и распределения по вертикали потока относительной мутности воды для полуэмпирических теорий Кармана, Тэйлора-1 и Тэйлора-2 [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр.– Бишкек, 2012.–№2(23).– С. 40-46.

7. **Аскалиева, Г.О.** Преобразование соотношений Ю.А. Ибад-Заде для скорости и мутности потока воды к компактному виду [Текст] / Г.О. Аскалиева, Э.Б. Турдумамбетова // Проблемы автоматизации и упр.– Бишкек, 2013.–№1(24).– С. 46-51.

8. **Аскалиева, Г.О.** Пример нетрадиционной идентификации скорости и мутности воды по Ю.А. Ибад-Заде на объектах ПК р. Тору-Айгыр и ОК р. Аспара [Текст] / К.А. Пресняков, Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр. – Бишкек, 2013.–№1(24).– С. 52-60.

9. **Аскалиева, Г.О.** Структура метода нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Материалы IX межд. симп., «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – Москва, 2014.–Т. 7.– С. 57-64.

10. **Аскалиева, Г.О.** Метод гидроавтоматической очистки воды от взвешенных наносов [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева и др. // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2014.–№1.– С. 23-26.

11. **Аскалиева, Г.О.** О придонной скорости водного потока [Текст] / Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр.– Бишкек, 2014.–№1(26).– С. 102-107.

12. **Аскалиева Г.О.** О динамической скорости водного потока [Текст] / Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр.– Бишкек, 2014.–№1(26).– С. 121-125.

13. **Аскалиева, Г.О.** Выявление основных режимных характеристик частично изученных открытых водотоков [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Вестн. КРСУ им. Б.Н. Ельцина.– Бишкек, 2014.– Т.14, №12.– С.74-79.

14. **Аскалиева, Г.О.** К результатам исследований основных положений модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Межн. науч.-практ. конф., «Прикладная математика и механика: проблемы и перспективы» КТУ им. И. Раззакова.– Бишкек, 2015.– С. 215-219.

15. **Аскалиева, Г.О.** Река Теджен как объект нетрадиционной идентификации в вариантах изученного и частично изученного водотока [Текст] / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Материалы X межд. симп., «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – Москва, 2015. – С.37-45.
16. **Аскалиева, Г.О.** К вопросу о распределении относительного коэффициента турбулентной диффузии по глубине потока (на основе эллиптического профиля и распределения скорости воды Ю.А. Ибад-Заде) [Текст] / К.А. Пресняков, Г.О. Аскалиева // Естественные и мат. науки в современном мире. – Новосибирск. – 2016. – №7(42). – С.62-75.
17. **Аскалиева, Г.О.** О возможной связи длины пути смещения и поперечных масштабов турбулентности в псевдоизотропном турбулентном потоке воды [Текст] / К.А. Пресняков, Г.О. Аскалиева // Естественные и мат. науки в современном мире. – Новосибирск. 2017. – №1(48). – С. 11-25.
18. **Аскалиева, Г.О.** О границе применимости показательного профиля мутности воды Е.В. Клевцова [Текст] / Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Информатика и системы упр. – Благовещенск. – 2017. – №3(53). – С.125-132.
19. **Аскалиева, Г.О.** К оценке кинематических параметров потока воды в условий малых рек горно – предгорной зоны Кыргызстана [Текст] / Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр. – Бишкек, 2017. – №1 (32). – С.33-42.
20. **Аскалиева, Г.О.** О методе определения характерного кинематического параметра на основе новой информативной характеристики [Текст] / К.А. Пресняков, Г.О. Аскалиева // Проблемы автоматизации и упр. – Бишкек, 2017. – №2(33) -С. 20-26.

Аскалиева Гүлзада Орозобаевнанын «Ачык акан суулардын классында режимдик параметрлерди идентификациялоонун алгоритмдерин иштеп чыгуу жана математикалык моделдөө» темасына 05.13.18 – «Математикалык моделдөө, сандык ыкмалар жана программалар комплекси» адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын коргоого жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: үлгү, алгоритм, үлгүнүн жана алгоритмдердин чектөөсү, адаттан тышкары идентификациялоо, режимдик параметрлер, ачык акан суулар, жарым эмпирикалык теориялар: диффузиялык жана гравитациялык.

Изилдөөнүн аймагы болуп натурдук объектилерде агындыларды агызуучу суу агымы эсептелет. Натурдук объектилер: Кыргызстандын ачык аккан суулары (Тору-Айгыр дарыясынын куйма каналы, Аспара дарыясынын айланма каналы ж.б.), башка географиялык региондон (Теджен дарыясы, Аулатаствору).

Илимий изилдөөнүн максаты – изилденген ачык аккан суулардын режимдик параметрлерин адаттан тышкары идентификациялоонун алгоритмдерин жана үлгүсүн ишке ашыруунун негизинде сугат сууларын жарым-жарты калкыган агындылардан тазалоонун сапатын жогорулатуу.

Изилдөөнүн ыкмалары: коюлган көйгөйдүн аймагында теоретикалык жана эмпирикалык (адабияттан алынган) берилиштерди салыштырма талдоо. Математикалык статистиканын ыкмалары (эң кичине квадраттар ыкмасы, корреляциялык талдоо ыкмасы), Гаусс и Пирсон бөлүштүрүүлөрү жана практикалык гидравликанын жоболору («ылдамдык-аянт» ыкмасы, күзгүлүк чагылдыруу ыкмасы), математикалык, компьютердик и физикалык моделдөө ыкмалары.

Алынган жыйынтыктар болуп суунун үстүнкү ылдамдыгын аныктоонун алгоритмдерин жана суну жарым-жарты калкыган агындылардан гидроавтоматтык тазалоонун алгоритмдерин иштеп чыгуу эсептелет.

Жыйынтыктардын ишке ашуусу. Диссертациялык иште алынган негизги жыйынтыктар Кыргыз-Орус Славян университетине ишке киргизилген жана окуу процессинде колдонулуп жатат (Кыргыз Республикасы, Бишкек ш.).

Колдонуу аймагы: ачык аккан суулар, суу чарба, эксплуатациялык жана долбоорлоо уюмдары.

РЕЗЮМЕ

диссертации Аскалиевой Гулзады Орозобаевны на тему «Математическое моделирование и разработка алгоритмов идентификации режимных параметров класса открытых водотоков» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Ключевые слова: модель, алгоритм, ограничение модели и алгоритмов, нетрадиционная идентификация, режимные параметры, открытые водотоки, полуэмпирические теории: диффузионная и гравитационная.

Объектом исследования является взвесенесущие потоки воды на природных объектах. Природные объекты: открытые водотоки Кыргызстана (подводящий канал р. Тору-Айгыр, обводной канал р. Аспара и др.), другого географического региона (река Теджен, створ Аулата).

Цель научных исследований – повышение качества очистки оросительной воды от взвешенных наносов на основе реализации модели и алгоритмов нетрадиционной идентификации режимных параметров изученных открытых водотоков.

Методы исследований: сравнительный анализ теоретических и эмпирических (литературных) данных в области поставленной проблемы. Методы математической статистики (метод наименьших квадратов, метод корреляционного анализа), распределения Гаусса и Пирсона и положений практической гидравлики (метод «скорость-площадь», метод зеркальных отображений), применение методов математического, компьютерного и физического моделирования.

Полученные результаты заключаются в разработке алгоритмов определения поверхностной скорости воды и алгоритмов гидроавтоматической очистки воды от взвешенных наносов.

Использование результатов исследования: Основные результаты, полученные в ходе диссертационной работы, внедрены и используются в учебном процессе Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина (г. Бишкек, Кыргызская Республика).

Область применения: открытые водотоки, водохозяйственные эксплуатационные и проектные организации.

SUMMARY

of the Askalieva Gulzada Orozobaevna theses on the subject "Mathematical modeling and development of algorithms of identification of regime parameters of a class of open

water currents" for a degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.13.18 – "Mathematical modeling, numerical methods and complexes of programs".

Keywords: model, algorithm, restriction of model and algorithms, nonconventional identification, regime parameters, open waterways, semi-empirical theories: diffusive and gravitational.

Object of a research is vzvesenesushchy water flows on natural objects. Natural objects: open waterways of Kyrgyzstan (the bringing channel of the river Toru-Aygyr, bypass the channel of the Aspara river, etc.), other geographical region (the Tedzhen river, Aulata alignment).

The purpose of scientific research – improvement of quality of purification of irrigating water of the weighed deposits on the basis of realization of model and algorithms of nonconventional identification of regime parameters of the studied open water currents.

Methods of researches: the comparative analysis of theoretical and empirical (literary) data in the field of the put problem. Methods of mathematical statistics (method of the smallest squares, method of the correlation analysis), Gauss and Pearson's distribution and provisions of practical hydraulics (speed area method, method of mirror displays), application of methods of mathematical, computer and physical modeling.

The received results consist in development of algorithms of determination of superficial speed of water and algorithms of hydro automatic water purification from the weighed deposits.

Use of results of a research: The main results received during dissertation work are introduced and are used in educational process of the Kyrgyz-Russian Slavic University (Bishkek, Kyrgyz Republic).

Field of application: open waterways, water management operational and design organizations.

Аскалиева Гулзада Орозобаевна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ
ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССА ОТКРЫТЫХ
ВОДОТОКОВ**

Автореферат диссертации

Подписаны к печати 20.04.2018.
Формат 60x84 1/16 Объем 1.25 п.л.
Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ №504

720020, г.Бишкек, ул. Малдыбаева, 34,б
Кыргызский государственный университет строительства,
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова

Учебно-издательский центр «Авангард»