

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Мирзоева Шоди Ашурмадовича на тему «Некоторые математические модели равномерного турбулентного течения в руслах горных рек», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

### **1. Актуальность темы исследования.**

Республика Таджикистан по своему рельефу - горная страна. Из общей площади Республики лишь 7% (около 1,6 млн. га) приходится на долины равнин, являющихся в большинстве случаев межгорными и предгорными впадинами и расширенными участками речных долин, как сотни рек межгорных ущельев и впадин, так и десятков пойм и конусов выноса крупных рек. На этих землях с древнейших времён сосредоточен центр сельскохозяйственного производства и животноводства, то есть вся культурная и социально-хозяйственная жизнь Республики. Сохранение и защита почв и плодородия земель, городов и деревень от наводнений и оползней, от размыва речными, селевыми и паводковыми потоками постоянная забота правительства и всего населения страны.

В зависимости от строения грунтов поймы, гранулометрического состава русловых отложений, мощности потока воды и от формы русла и характера их размыва берегоукрепительные работы в Таджикистане ведутся с древнейших времен. Однако изменчивость бурного поведения рек и земляных каналов с большой амплитудой колебания расходов воды с взвешенными и влекомыми наносами по дну русел в виде крупного песка, гальки и булыжника требует выполнения научно обоснованных разработок с учётом этих водных стихий горной страны. Весьма важно проектирование и строительство, защищенных от заиления и размыва, оросительных каналов и дренажных сетей в долинах, различных открытых и закрытых селеотводящих руслах и каналах сточных вод в городах и посёлках. Эти вопросы и задачи, решение которых дано в работе, определяет её актуальность.

**2. Объектом исследований определены** - модели течений вод горных рек, открытых каналов и напорные трубопроводы различного поперечного сечения.

**3. Целью исследования работы является** создать и разработать теоретико-экспериментальные модели, описывающие процесс равномерного турбулентного течения вод рек в предгорных и горных условиях Республики Таджикистан.

**4. Для реализации поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:**

1. Изучить вопросы взаимосвязи речных и подземных вод Таджикистана.

2. В рамках теории гидравлического радиуса решить задачи об определении наивыгоднейшего профиля канала. Дать новые оптимальные

формы профилей каналов.

3. Изучить вопросы о степени изученности системы уравнений турбулентного движения Рейнольдса. Рассмотреть замыкания системы уравнений Рейнольдса по Буссинеску и др.

4. Построить математическую модель равномерного турбулентного движения жидкости, учитывающую как молекулярную вязкость Ньютона так и вихревую вязкость Буссинеска для конкретных случаев.

**5. Методы исследования.** В диссертационной работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретические исследования основаны на методах современной технической гидромеханики, теории пограничного слоя, основы газовой динамики, теории фильтрации. Изучены проблемы возникновения турбулентности, т. е. вопрос о том, каким образом и при каких условиях ламинарное течение переходит в турбулентное. Изучены методы замыкания уравнения Рейнольдса с помощью полуэмпирических моделей турбулентности.

**6. Научная новизна работы** заключается в:

1. Усовершенствовании и расширении формулы Шези и Дарси-Вейсбаха для гидравлики открытых каналов и напорных трубопроводов разного правильного поперечного сечения.

2. Установлении существенного влияния формы поперечного сечения русла на величины расхода и средней скорости потока. Решении задачи об определении наиболее выгодного профиля канала в рамках теории гидравлического радиуса; даны новые оптимальные формы профилей для каналов.

3. Исследовании вопроса о влиянии турбулентной вязкости Буссинеска на режим равномерного турбулентного течения путём введения турбулентной вязкости, как функции координаты пространства, удовлетворяющей условию равенства нулю у стенки и возрастанию при отдалении от стенки. Построении ряда новых математических моделей, дающих точное решение поставленных задач, проведен анализ полученных зависимостей.

4. Применении полученных математических моделей к задачам движения жидкости в щели, задаче о равномерном течении жидкости в роднике, задаче о равномерном развитии течения в открытых руслах, в паводках, селевых потоках и т.д.

**7. Основные положения, выносимые на защиту:**

1. В рамках теории гидравлического радиуса выведены новые оптимальные формулы гидравлики в открытых каналах и напорных трубопроводах. Даны формулы скорости и расхода для открытых каналов и напорных труб с различными формами профиля: а) цилиндрические трубы, б) каналы трапецеидального сечения. Рассмотрены задачи об определении наиболее выгодного профиля канала в рамках теории гидравлического радиуса; даны новые оптимальные формы профилей каналов.

2. Исследован вопрос о степени изученности системы уравнений турбулентного движения Рейнольдса. Изучены замыкания системы

уравнений Рейнольдса. Это А) феноменологическая система уравнений Ж. Буассинеса, и Б) аналитическая модификация системы феноменологических уравнений турбулентности Буассинеса, предложенная М.А. Саттаровым.

3. Исследован вопрос о влиянии турбулентной вязкости Буассинеса на режим равномерного турбулентного течения путём введения турбулентной вязкости, как функции координаты пространства. При этом, рассмотрены четыре классические задачи гидродинамики: *Задача 1 - Одномерное течение между двумя параллельными стенками. Течение Пуазейля; Задача 2 - Течение Куэтта; Задача 3 - Течение несжимаемой жидкости под действием внешних сил; Задача 4 - Турбулентное течение в трубках.*

Для каждой из них построена новая математическая модель движения, в которой турбулентная вязкость представлена в виде функции, удовлетворяющей условию равенства нулю у стенки и возрастанию при отдалении от стенки (опыты Никурадзе). Даны точные решения этих моделей. Проведен анализ решений. Показано, что поле осредненных скоростей турбулентного потока имеет упорядоченный характер: осредненная скорость параллельна оси движения потока и её значения убывают от максимального на оси до нуля у стенки. В то же время распределения осреднённых скоростей турбулентного потока существенно отличается от параболы распределения скоростей ламинарного потока. При турбулентном движении скорость в центральной части потока, называемой ядром, характеризуется относительно малыми изменениями по сечению, по мере приближения к стенкам осредненная скорость быстро уменьшается, обращаясь на стенке в нуль.

### **8. Оценка структуры и содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений, общий объем – 131 стр., 22 рисунков, 4 таблицы и библиографического списка, состоящего из 85 наименований.

**Во введении** приводится общая характеристика работы, обосновывается актуальность диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы основные защищаемые положения, представлены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, описывается структура диссертации, краткое содержание диссертации, а также сведения по её апробации, показан личный вклад автора в исследуемую проблему.

**В главе 1** изучены вопросы эффективного использования водных и земельных ресурсов бассейна Аральского моря. Описан климат и поверхностный сток бассейна, дана оценка статических и динамических запасов подземных вод бассейна, включающие линзы пресных вод пустыни, грунтовые воды в конусах выноса рек Таджикистана, колодцы и родники, минеральные и термальные воды бассейна. Показана взаимосвязь речных и подземных вод и предложена защита плодородных земель долины р. Яхсу от засоления.

**В главе 2** рассмотрено стационарное течение вязких жидкостей в

открытых каналах и напорных трубопроводах. Дается вывод формул Шези и Дарси-Вейсбаха для расчёта средней скорости потока и объёмного расхода. Показана связь коэффициента Шези и коэффициента гидравлического сопротивления Дарси-Вейсбаха – пп. 2.1 и 2.2.

В п. 2.3 выведены оптимальные формулы гидравлики в открытых каналах и напорных трубопроводах в рамках теории гидравлического радиуса.

В рамках теории гидравлического радиуса, задача о наивыгоднейшем сечении канала состоит в определении соотношения между размерами ширины канала  $B$  по дну и  $H$  – глубины наполнения канала водой, при которой расходная характеристика  $K$ , следовательно, гидравлический радиус  $R_*$  канала были бы наибольшими.

Рассмотрены задачи об определении наивыгоднейшего профиля канала. Выводятся новые оптимальные формы профилей и формулы скорости и расхода для открытых каналов, и напорных труб с различными формами профиля: 1) цилиндрические трубы, 2) каналы трапецеидального сечения.

**Глава 3** посвящена теории развитого турбулентного течения жидкости с учётом турбулентной вязкости Буссинеска. В п. 3.1 дано описание развития теории турбулентного потока. П. 3.2 посвящена рассмотрением установившийся турбулентный поток в естественных руслах. При этом система уравнений Рейнольдса сильно упрощается, но остается все еще незамкнутой. В пп. 3.2.1 и 3.2.2 рассматриваются замыкания системы уравнений Рейнольдса. П. 3.3 затрагивает стационарного течения жидкости с учетом молекулярной вязкости Ньютона и вихревой вязкости Буссинеска. Рассматриваются следующие задачи:

- одномерное течение между двумя параллельными стенками. Течение Пуазейля;
- течение Пуазейля-Куэтта;
- течение несжимаемой жидкости под действием внешних сил;
- турбулентное течение в трубках.

В **главе 4** на основании результатов главы 3 построены модели турбулентного движения несжимаемой жидкости для трех задач с учётом как молекулярной вязкости Ньютона, так и вихревой вязкости Буссинеска, даны удобные для инженерных расчетов формулы, путем интегрального осреднения коэффициента турбулентной вязкости для следующих задач:

- движение жидкости в щели постоянной ширины;
- течение жидкости в роднике;
- равномерное развитое течение в открытых руслах. Задача развитой турбулентности в руслах со свободной поверхностью

**9. Апробация работы.** Результаты работы по мере их получения регулярно обсуждались на семинаре д.т.н., профессора М.А. Саттарова в лаборатории «Моделирование и информационное обеспечение» Института

водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан, докладывались регулярно заседаниях кафедры «Вычислительной математики и механики» ТНУ, а также обсуждались на республиканских и международных конференциях в Таджикистане и Российской Федерации (2010-2019 гг.).

#### **10. Публикации автора.**

По результатам исследований в открытой печати опубликовано 9 научных работ, 3 из которых статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и 6 тезисов докладов, опубликованных в материалах международных и республиканских конференций.

#### **11. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований диссертанта составляют решение задачи, имеющей значительное значение для Республики Таджикистан, которое основаны на методах современной технической гидромеханики, теории пограничного слоя, основы газовой динамики, теории фильтрации. Изучены проблемы возникновения турбулентности, т. е. вопрос о том, каким образом и при каких условиях ламинарное течение переходит в турбулентное. Изучены методы замыкания уравнения Рейнольдса с помощью полуимперических моделей турбулентности.

Соискателем получен ряд новых научно-обоснованных решений по сформулированной проблеме, и имеет несомненное практическое значение:

1. Расширении и уточнении класса формул среднего движения гидравлики каналов с оптимальными конструктивными элементами живого сечения.
2. Применении новых моделей теоретической гидромеханики при реализации оптимальных проектов оросительных и селезащитных систем в горных условиях.
3. Применении полученных теоретических результатов при повышении уровня квалификации молодых специалистов в вузах и научно-практических мероприятиях и др.

Составлены модели систем уравнений движения описывающие процесс равномерного турбулентного течения вод рек в предгорных и горных условиях Республики Таджикистан.

#### **12. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.**

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации. Автореферат и диссертация оформлены согласно действующим нормативным и рекомендательным требованиям ВАК РТ. В автореферате, согласно требованиям ВАК РТ имеются идентичные резюме на таджикском, русском и английском языках.

Структура, содержание, а также оформление списка цитируемой литературы соответствуют ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информа-

ции, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. -М.: Стандартинформ, 2012». Цитирование оформлено корректно, ссылки на авторов, источники заимствования, соавторов оформлены в соответствии с установленными критериями.

Отражённые в диссертации Мирзоева Ш.А. научные положения соответствуют следующим областям исследований специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, согласно следующим пунктам областей исследований по номенклатуре специальностей научных работников: 1 - Разработка новых математических методов моделирования объектов, систем, процессов и явлений; 2 - Развитие качественных и приближённых аналитических методов исследования математических моделей; 3 - Комплексные исследования научно-технических и фундаментально-прикладных проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента; 4 - Теоретические, прикладные и экспериментальные исследования, и применению математических моделей для решения актуальных задач процесс равномерного турбулентного течения вод рек в предгорных и горных условиях Республики Таджикистан.

Вышеизложенное даёт основание считать, что диссертация и автореферат Мирзоева Ш.А. соответствуют основным требованиям ВАК при Президенте РТ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

**13. Замечания по диссертационной работе** имеют несущественный и рекомендательный характер и не влияют на научное содержание работы:

1. Работа не лишена грамматических и других ошибок технического характера.

2. В изложении работы следует придерживаться единого выбора обозначения физических величин.

3. В работе имеется несоответствие ссылок на некоторые формулы (гл.1).

4. Желательно, привести список обозначения величин с размерностями.

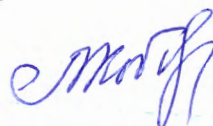
Приведённые замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы и являются напутствием на дальнейшие исследования в данном направлении.

### **Заключение.**

Диссертация Мирзоева Шоди Ашурмадовича на тему «Некоторые математические модели равномерного турбулентного течения в руслах горных рек», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, является законченным научным исследованием, выполненным автором самостоятельно на современном научно-техническом уровне, в котором изложены новые научно-обоснованные решения в области математического

моделирования движения вод в горных рек, открытых каналов и напорные трубопроводы с различного поперечного сечения, что соответствует существующим требованиям, а её автор Мирзоев Шоди Ашурмадович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:  
кандидат физико-математических наук,  
доцент, заведующий кафедрой  
информатики и информационных  
технологий Российско-Таджикского  
(Славянского) университета



Кабилев Маруф  
Махмудович

Подпись Кабилова М.М. заверяю:  
Начальник отдела кадров РТСУ



Алиев А.Д.