

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, доктор технических наук



Гулахмадзода А.А.

« 30 » 03 2026 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Раджабзода Мирзошариф Шариф (Раджабов Мирзошариф Шарифович) на тему: «Оптимизация режимов работы ГЭС Вахшского каскада с вводом в эксплуатацию Рогунской ГЭС», на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы)

**1. Соответствие темы и содержания диссертации паспорту научной специальности.** Тема диссертации соответствует паспорту специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы). Диссертация посвящена разработке и обоснованию комплексной математико-алгоритмической методологии многоуровневого управления режимами гидроэлектростанций Вахшского каскада с учётом изменения структуры каскада при поэтапном вводе Рогунская ГЭС. В диссертации заявлено и содержательно подтверждается соответствие паспорту специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы), прежде всего в части разработки методов и алгоритмов управления режимами электроэнергетических объектов, математического моделирования, а также применения современных вычислительных методов для задач энергетики.

**2. Актуальность темы исследования.** Гидроэнергетика является основой электроэнергетической системы Таджикистана, при этом ключевая роль принадлежит Вахшскому каскаду ГЭС. Ввод в эксплуатацию Рогунской ГЭС, с многолетним регулированием стока, существенно меняет режимы функционирования каскада. Высокая изменчивость речного стока, обусловленная природно-климатическими факторами, приводит к росту неопределённости при планировании режимов работы ГЭС.

Современные подходы, основанные на методах машинного обучения и математической оптимизации, открывают возможности для повышения точности прогнозирования и эффективности управления каскадом ГЭС. Это особенно актуально для Вахшской гидроэнергетической системы,

представляющей собой сложный многообъектный комплекс с гидравлическими связями и разнообразными эксплуатационными ограничениями.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью разработки интегрированных методов оптимального управления режимами работы ГЭС Вахшского каскада, обеспечивающих повышение выработки электроэнергии и эффективности использования водных ресурсов в условиях изменяющегося климата.

**3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации.** Обоснованность работы является логически связанная постановка задачи: от анализа объекта и существующих методов к построению прогностического блока, затем — к формированию правил долгосрочного управления и к детализированной постановке краткосрочной оптимизации режимов. Обоснование базируется на известных подходах системного анализа, гидроэнергетического моделирования и математического программирования, а также на применении инструментов вычислительной реализации.

Выводы и рекомендации согласованы с выполненными разделами и содержат практико-ориентированные предложения по применению разработанных диспетчерских графиков, прогнозной модели и программного комплекса для оптимизации, в том числе в контуре отраслевых организаций и в учебном процессе.

**4. Научная новизна и достоверность полученных результатов.** Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Структурирована и формализована оптимальная многоуровневая схема управления режимами ГЭС Вахшского каскада как задача управления сложной технической системой со смешанными ограничениями и стохастическими входными параметрами.

2. В рамках долгосрочной оптимизации: предложена и реализована двухуровневая схема. На первом уровне разработана гибридная модель для прогноза стока реки Вахш на основе машинного обучения, показавшая превосходство над традиционными методами. На втором уровне на основе прогнозных данных разработаны диспетчерские графики для Рогунской ГЭС, формализующие стратегию многолетнего регулирования в виде зон допустимых режимов.

3. В рамках краткосрочной оптимизации: для Вахшского каскада разработана детализированная математическая модель в форме задачи линейного программирования большой размерности, учитывающей гидравлическую связь, совокупность ограничений по уровням, расходам и

мощностям для каждой ГЭС, а также три возможных режима работы каждого водохранилища, что порождает до 243 структурных комбинаций режимов для всего каскада.

4. С целью алгоритмического и программного обеспечения поставленных задач разработаны и зарегистрированы специализированные программные комплексы и базы данных, реализующие предложенную методологию: а) «ML-VakhshRiver» для прогнозирования стока реки; б) для краткосрочного управления алгоритм «Оптимизация режимов работы ГЭС Вахшского каскада», реализующий последовательный перебор допустимых режимов с учётом ограничений, и выбор оптимального по критерию максимума выработки электроэнергии.

Достоверность результатов в диссертации обосновывается корректностью применяемого математического аппарата и сопоставимостью расчётных данных; отдельно отмечено использование современных инструментов программной реализации (Delphi, Python) и проведение расчётных экспериментов.

**5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации.** Научная значимость заключается в развитии прикладной методологии управления каскадом ГЭС как сложной технической системой, а также в адаптации методов машинного обучения к регионально-специфичной задаче долгосрочного прогнозирования притока реки Вахш.

Практическая значимость подтверждается созданием инструментов, ориентированных на применение в диспетчерском и плановом контуре: диспетчерские графики, программный комплекс краткосрочной оптимизации, а также специализированные базы данных и зарегистрированная программа для ЭВМ. В диссертации указывается потенциальная применимость результатов в отраслевых организациях, включая ОАО «Барки Точик», а также подтверждается внедрение в учебный процесс. Экономическая значимость логически связана с возможностью увеличения выработки и повышения эффективности использования водного ресурса за счёт оптимизации.

**6. Степень достоверности результатов исследования, точность и обоснованность результатов исследования.** Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы данными, полученными при проведении расчета режимов работы каскада ГЭС реки Вахш. Кроме того, достоверность полученных результатов подтверждается корректным применением математического аппарата, а также использованием современных инструментов программной реализации,

включая Delphi и Python. Сопоставление расчётных данных с аналитическими оценками демонстрируют согласованность и непротиворечивость выводов.

Результаты апробированы на международных научных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах, получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных.

**7. Личный вклад соискателя в исследование.** Личный вклад соискателя является существенным и определяющим. Вклад соискателя учёной степени в подготовке диссертации выражается в определении целей и задач исследований; выборе методологической и информационной базы; проведении исследований, разработке методик и алгоритмов; разработке программного комплекса.

**8. Публикации результатов диссертации в рецензируемых научных журналах.** По теме диссертации опубликовано 22 печатные работы, в том числе 7 научных статей в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи входящих в международные базы данных Scopus и IEEE, 10 публикаций в материалах международных конференций, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и базы данных. Публикации отражают основные положения диссертационного исследования.

**9. Оценка содержания диссертации и степени её завершенности.**  
**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 175 страницах, состоит из введения, четырёх глав, заключения. Текст исследования иллюстрирован 47 рисунками, содержит 12 таблиц. Библиографический список включает в себя 137 наименований.

*Во введении* обоснована актуальность, сформулирована проблема управления каскадом с вводом Рогунской ГЭС, приведены цель, задачи, элементы научной новизны и практической значимости.

*В первой главе* На основе анализа показано, что для решения задач четкой структурой и ограничениями, характерных для краткосрочного управления каскадом, наиболее эффективны методы математического программирования, а методы машинного обучения для задач прогнозирования в условиях неопределенности. Дана детальная характеристика всех ГЭС каскада, их параметров и взаимосвязей, на основе чего выполнена формализованная постановка задачи многоуровневого управления.

*Во второй главе* рассмотрены теоретические основы регулирования речного стока и его прогнозирование. Выполнено прогнозирование стока реки Вахш для обеспечения оптимальных режимов Рогунской ГЭС, также разработана и реализована на языке Python модель прогнозирования на

основе алгоритмов машинного обучения. Созданный программный комплекс «ML-VakhshRiver» позволяет анализировать гидрологические ряды и выполнять прогноз с высоким уровнем точности.

*В третьей главе* рассмотрена методика диспетчерского управления режимами ГЭС и на основе результатов прогнозирования решена задача долгосрочного оптимального управления. Предложены диспетчерские графики долгосрочной оптимизации водохранилища Рогунской ГЭС с выделением зон режимов и ограничений по уровням.

*В четвёртой главе* разработана математическая модель каскада Вахшской ГЭС для краткосрочной оптимизации, обоснован алгоритм учёта режимных комбинаций и ограничений, в том числе через последовательный перебор структурных режимов, описан программный комплекс оптимизации краткосрочных режимов и представлены сведения о регистрации программы для ЭВМ и базы данных.

*Выводы* содержат основные научные и практические результаты исследования, подтверждающие достижение цели и решение поставленных задач, включая разработку моделей прогнозирования и оптимизации режимов ГЭС Вахшского каскада. В разделе «Рекомендации по практическому использованию» предложено внедрение разработанных моделей, алгоритмов и программных средств для управления режимами ГЭС и планирования выработки электроэнергии.

#### **10. Соответствие оформления диссертации требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан.**

Диссертация является завершённым научно-квалификационной работой, выполненной на достаточном научном уровне. Структура работы логична, изложение последовательное, расчёты аргументированы.

**11. Соответствие научной квалификации соискателя для получения учёной степени.** Научная квалификация соискателя Раджабзода Мирзошариф Шариф соответствует представленной научной специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

Диссертационное исследование соискателя поддерживается с той точки зрения, что в нём решена актуальная научно-техническая задача повышения эффективности управления режимами работы ГЭС Вахшского каскада на основе современных методов математического моделирования и машинного обучения, имеющая важное значение для развития электроэнергетической системы Республики Таджикистан.

**12. Замечания и спорные моменты по диссертации.** Независимо от достижений, успехов и целенаправленных предложений, данная диссертация

имеет некоторые недостатки, спорные моменты, грамматические и орфографические ошибки, в том числе:

1. В диссертационной работе на рисунке 1.4 приведена классификация моделей машинного обучения. Однако в дальнейшем не указано, какие конкретно модели из данной классификации были использованы при разработке программного комплекса прогнозирования стока реки Вахш.

2. В разделе долгосрочного управления представлен диспетчерский график с зонированием режимов; для усиления практической применимости рекомендуется более детально описать регламент актуализации графиков при изменении гидрологических условий и эксплуатационных ограничений (модернизация агрегатов, изменения правил водопользования).

3. Имеется ли понимание того, как в настоящее время осуществляется прогнозирование стока реки Вахш? Как учтено время добегания волны при прогнозировании реки Вахш?

4. В диссертации приводится ориентир «достаточно точного прогноза» для гидрологии, однако часть представленных итоговых значений ошибки (например, по MAPE) превышает указанные ориентиры; желательно расширить обсуждение причин и последствий этого для практического диспетчерского применения (особенно по маловодным сценариям).

5. В части краткосрочной оптимизации обоснована множественность режимных комбинаций; при этом оценка вычислительной сложности (времени расчёта) и устойчивости решения для разных горизонтов/шагов (час/сутки) раскрыта ограниченно и может быть усилена.

6. В тексте автореферата имеются опечатки и неверные написания терминов/объектов (например, «Рогунской ГЭС», «программный космплекс»), что снижает редакционную точность изложения.

Имеющиеся недостатки не снижают научное качество диссертации. Взяв их во внимание, диссертант в дальнейшем повысит эффективность своих научных исследований в области повышения эффективности функционирования ГЭС в электроэнергетических системах.

**Автореферат диссертации** подготовлен в соответствии с установленным порядком присуждения учёной степени доктора философии (PhD), отражает основное содержание исследования, в нём обоснованы и изложены научные положения, выводы и практические рекомендации.

**13. Заключение по диссертации.** В общем, диссертация Раджабзода Мирзошариф Шариф на тему: «Оптимизация режимов работы ГЭС Вахшского каскада с вводом в эксплуатацию Рогунской ГЭС» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и

