

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ

С.У. УМАРОВА

УДК 621.311

На правах рукописи



ГАНИЕВ ЗОКИРДЖОН СУЛТОНОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НА
БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКОГОРЬЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»

Душанбе – 2024

Диссертационная работа выполнена в Центре исследования и использования возобновляемых источников энергии (ЦИИВИЭ) при Физико-техническом институте имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана

Научный руководитель:

Кабутов Курбонджон

кандидат технических наук

Научный консультант:

Ахророва Алфия Дадахоновна

доктор экономических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Кокин Сергей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроэнергетика», заместитель директора по науке и инновациям Уральского энергетического института УрФУ, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.

Рахматулов Ашурали Зокирович

кандидат технических наук, начальник отдела «Распределения и потерь электроэнергии» филиала ОАО «Распределительные электрические сети» в г. Бохтар

Ведущая организация:

Институт энергетики Таджикистана
р. Кушониён.

Защита состоится «06» мая 2024 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6Д.КОА-049 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими, по адресу: 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и на официальном сайте университета: <http://www.ttu.tj>

Автореферат разослан «04» апреля 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Султонзода Ш.М.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Современное мировое сообщество поставило и решает сложную и многоаспектную проблему отказа от использования ископаемых (не возобновляемых) энергоносителей и перехода на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), что обусловлено не только необходимостью снижения углеродного следа, но и истощением запасов органического топлива. Решение этой проблемы связано с проведением научных исследований, предусматривающих разработку и внедрение новых обоснованных технических решений, позволяющих обеспечить доступ к экологически чистой энергии, снижая при этом вероятность реализации угроз устойчивому энергетическому развитию.

В мировом балансе энергопотребления доля электроэнергии составляет 10 %. Стремительный рост потребления электроэнергии наблюдается во всех развивающихся странах, в том числе и в странах Содружества независимых государств (СНГ). Вместе с тем значительная часть населения высокогорных регионов планеты не имеет доступа к электрической энергии.

Актуальность темы подтверждается и тем, что в высокогорных регионах, в большинстве своем, отсутствуют запасы углеводородных ресурсов, а их транспорт (как правило, автомобильный) является высокзатратным. Присоединение потребителей, удаленных от источников энергии и центров ее распределения, к централизованной системе электроснабжения в условиях сложного горного рельефа технически сложно и экономически нецелесообразно. Поэтому формирование энергетического комплекса высокогорных регионов, к числу которых относится значительная территория Республики Таджикистан (РТ), средняя высота территории которой составляет 3500 м над уровнем моря, определяется наличием собственных энергетических ресурсов. Доступными для выработки электроэнергии являются ВИЭ, а именно гидроэнергия малых водотоков, солнечная и ветровая энергия.

В докладе Международного энергетического агентства (МЭА) 11.01.2024 г. отмечается, что объем мощностей ВИЭ, введенных в эксплуатацию по всему миру, в 2023 году вырос на 50%, достигнув почти 510 ГВт. При этом на солнечные фотоэлектрические установки приходится 75% всех введенных мощностей. Наибольший рост произошел в Китае, который в 2023 году ввел в эксплуатацию столько же солнечных фотоэлектрических установок, сколько весь мир в 2022 году. Ожидается, что в период 2023–2028 гг. глобальные мощности ВИЭ вырастут до 7 300 ГВт, что позволит добиться климатических целей в энергетике.

Активное использование энергии солнца и ветра явилось предпосылкой для создания энергокомплексов на базе ВИЭ, которые обеспечивают доступ потребителей к электрической энергии, в том числе за счет диверсификации генерирующих источников энергии с учетом их зависимости от географических особенностей размещения.

Таджикистан, проявляя свою приверженность идеям снижения углеродного следа и обеспечения равного доступа к энергии, большое внимание уделяет освоению возобновляемых источников энергии. РТ богата потенциалом энергии больших и малых рек и поступающей солнечной радиации. Ветроэнергетический потенциал в Таджикистане невысокий, однако в ряде

регионов его использование могло бы стать дополнительным источником энергии.

С целью вовлечения в использование ВИЭ и дальнейшего развития этого сектора энергетической отрасли на уровне Правительства РТ приняты ряд законов и постановлений. (Законы РТ: «Об энергетике» 2000 г., "Об энергосбережении" 2002 г., «Об использовании возобновляемых источников энергии» 2010 г. , «О безопасности гидротехнических сооружений» 2010 г., "Об энергосбережении и энергоэффективности" 2013 г., Постановления Правительства РТ: «Об утверждении Положения об особенностях лицензирования в области энергетики, глава 26, 2007 г., "Об утверждении «Программы по эффективному использованию гидроэнергетических ресурсов и энергосбережению на 2012-2016 годы»» 2011 г., «О Программе освоения возобновляемых источников энергии и строительства малых гидроэлектростанций на 2016-2020 годы» 2015 г. и др.).

Значительный потенциал гидроэнергетических ресурсов явился основой для его освоения, включая ресурсы малых и крупных водотоков. В советский период малые гидроэлектростанции (МГЭС) использовались в основном до 1960 года. После сооружения средних и крупных по мощности ГЭС и ТЭС интерес к использованию МГЭС резко упал и практически прекратились проектно-изыскательские и научно-исследовательские работы по малой гидроэнергетике. Применения солнечных и ветровых электростанций в системах электроснабжения не отмечалось, за редким исключением были разработки экспериментальных прототипов солнечных и ветровых установок.

С целью улучшения качества жизни населения труднодоступных высокогорных регионов за счет обеспечения его доступа к электроэнергии в стране в 2016-2020 гг. была реализована программа строительства МГЭС. Мониторинг реализации программы освоения ресурсов малых рек показал, что из числа ведённых в работу МГЭС (более 300 МГЭС) по различным причинам, в том числе недостаточной обеспеченности водой, значительная часть (более 80%) из них не функционируют. Это предопределяет особую актуальность поиска решений по использованию «запертых» мощностей МГЭС на основе создания энергетических комплексов с неоднородной (диверсифицированной) структурой генерирующих мощностей (МГЭС, СЭС, ВЭС).

Степень разработанности темы. Исследованию различных аспектов использования энергии малых рек посвящены работы советских и российских ученых Т.А. Филипповой, Н.К. Малинина, В.В. Елистратова, А. Г. Русиной, В.Я. Карелина, В.В. Вольшаника, Л.П. Михайлова, Ю.А. Секретарева, В.М. Горштейна, Е.В. Цветковой и др. В работах приведённых авторов отсутствуют технические решения по использованию МГЭС в высокогорных труднодоступных местностях, где существенное влияние имеет атмосферное давление, суровые климатические условия. Также имеют место различные подходы исследователей относительно принципов классификации МГЭС по мощности и по составу оборудования.

В последние годы, интерес к возобновляемым источникам вырос, особенно в странах Европы, что объясняется не только дефицитом углеродного топлива, но и мировой тенденцией снижения выброса парниковых газов в атмосферу. Это предопределило необходимость активизации в различных странах научных

исследований и принятия государственных программ по развитию ВИЭ, интеграции их в общую электрическую сеть.

В работах ученых России В.З. Манусова., В.И. Висарионова., М.Г. Тягунова, В.И. Велькина и Таджикистана Ф.О. Исмоилова, А.К. Киргизова, Х.С. Сангова, Н. Хасанзода и других исследователей рассмотрены отдельные вопросы использования ВИЭ на территории РТ. Исследованию рисков электроэнергетики Таджикистана в условиях современных климатических тенденций посвящены работы отечественных ученых А.Д. Ахроровой и Ш.Н. Саидовой.

Несмотря на выраженный научный интерес отечественных ученых к исследованию проблемы использования ВИЭ, влияние высокогорья на эффективность устройств, преобразующих возобновляемые энергоресурсы в электрическую энергию, практически не изучалось. Необходимо отметить, что в настоящее время на территории Таджикистана энергетические установки на основе ВИЭ используются только как отдельно работающие МГЭС или ВЭС, или СЭС, в то время как географические особенности расположения страны и доступность ВИЭ позволяют использовать их, как по отдельности, так и в составе энергетических комплексов (ЭК). В работах зарубежных и отечественных ученых не уделено достаточного внимания исследованию возможности одновременного использования мощности МГЭС, СЭС и ВЭС для энергоснабжения отдаленных районов. Вопросы определения оптимальной структуры и установленных мощностей участников ЭК с учётом географических особенностей, изменений первичного энергоносителя и, соответственно, режимов выработки электроэнергии источниками (МГЭС, ВЭС и СЭС), неоднозначности объемов, структуры и режимов ее потребления должным образом не рассмотрены. Вышеизложенное свидетельствует о том, что исследования в области обеспечения гарантированного доступа к энергии в высокогорных районах остаются незавершенными и сохраняют актуальность.

Таджикистан - горная страна с выраженным разнообразием географического ландшафта и климата. Высокогорные регионы страны, не охваченные централизованным энергоснабжением, характеризуются значительным разнообразием доступного потенциала энергетических ресурсов, поэтому применить единый унифицированный подход к формированию структуры ЭК невозможно. При этом в зависимости от возможностей (доступности) вариации генерирующих источников, климатических, временных особенностей их использования следует ориентироваться в каждом конкретном случае на конкретную структуру ЭК. Для обеспечения эффективности каждого из них, необходимо исследовать каждый регион, на котором планируется установка оборудования, преобразующего ВИЭ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель диссертационной работы заключается в обосновании целесообразности создания высокогорного энергетического комплекса с неоднородной структурой ВИЭ и оптимизации режима работы его генерирующих мощностей.

В работе для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- оценить ресурсы возобновляемых источников энергии (гидроэнергетический потенциал, потенциалы солнечной и ветровой энергии) в мировом масштабе и Таджикистана, с учётом его географических и климатических особенностей и обосновать целесообразность формирования энергокомплекса с неоднородной структурой (ЭКНС), включающего ВЭС, СЭС, МГЭС с естественным водохранилищем для электроснабжения потребителей высокогорных регионов страны;

- на основе анализа систематизировать проблемы и выявить барьеры использования доступного потенциала ВИЭ с учётом технических возможностей;

- разработать методику оптимального выбора установленных мощностей источников электроэнергии энергокомплекса (ВЭС, СЭС и МГЭС) итерационным методом с учётом влияния высокогорья;

- разработать методику поддержания качества электроэнергии в энергокомплексе, с учетом особенностей режимов работы инверторов СЭС и подключаемых к нему электроприёмников и обосновать соответствующие меры;

- разработать программы для ЭВМ, позволяющие оптимизировать структуру и режим работы электростанций ЭКНС;

- выполнить экономическую оценку предложенной методики оптимизации выбора установленных мощностей электростанций (ВЭС, СЭС и МГЭС) энергокомплекса итерационным методом в условиях высокогорья.

Объектом исследования является высокогорный энергетический комплекс с неоднородной структурой, включающий ВЭС, СЭС, МГЭС и доступное водохранилище.

Предмет исследования – моделирование взаимосвязанных процессов производства электрической энергии различными генерирующими источниками и её использования потребителями в условиях выраженной зависимости эффективности использования установленных мощностей ВЭС, СЭС и МГЭС от высоты расположения их над уровнем моря и наличия водохранилища.

Методы исследования. Для достижения цели и решения поставленных задач диссертационного исследования использовались следующие научные методы: сравнительный анализ, синтез, основные законы электротехники, методы линейных алгебраических уравнений, итерационный метод, компьютерное программирование, количественная и качественная экспертная оценка, графическая интерпретация.

Научная новизна работы заключается:

- на основе оценки ресурсов ВИЭ (гидроэнергетический потенциал, потенциалы солнечной и ветровой энергии) Таджикистана с учётом географических и климатических особенностей систематизированы проблемы и выявлены барьеры их использования, в том числе количественно оценены упущенные возможности реализации программы МГЭС;

- для обеспечения гарантированного доступа к электрической энергии в высокогорных районах обоснована целесообразность создания энергетического комплекса с неоднородной структурой генерирующих источников и предложено его авторское определение;

- разработана и апробирована методика выбора оптимальных установленных мощностей источников электроэнергии ЭКНС итерационным методом в условиях высокогорья;

- предложена и апробирована методика оптимизации реактивной мощности и поддержания требуемого уровня напряжения на выходе инвертора СЭС для улучшения режимных параметров ЭКНС;
- разработана методика поддержания качества электроэнергии в ЭКНС;
- разработаны программы для ЭВМ, позволяющие оптимизировать структуру и режим работы электростанций ЭКНС;
- доказана экономическая эффективность предложенных методик и методов.

Практическая значимость:

1. Разработана программа для ЭВМ, позволяющая произвести оптимальный выбор установленных мощностей электростанций энергокомплекса (ВЭС, СЭС и МГЭС) итерационным методом (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669848, дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 21.09.2023);
2. Разработана программа для ЭВМ, позволяющая произвести расчет оптимальных режимов работы энергокомплекса симплекс-методом (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669290, дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 13.09.2023);
3. Предложенные методики и результаты их апробации могут быть использованы энергоснабжающими компаниями, проектными организациями при проектировании и эксплуатации установок ВИЭ, в зависимости от местных условий (Акт внедрения от 10.01.2024г №1/90-348 ОАО «Барки Точик»);
4. Предложенные в работе методики, модели и программное обеспечение используются в учебном процессе при изучении соответствующих дисциплин (Акт внедрения от 02.10.2023 №03/13-108/а филиал НИУ МЭИ в г. Душанбе).

Достоверность научных положений, полученных результатов и выводов заключается в корректном использовании теоретических основ электротехники, методов линейного программирования, итерационного метода и компьютерного моделирования, которые хорошо подтверждены и апробированы на практике, широко применяются в практических расчётах.

Основные положения, выносимые на защиту:

- оценка современных тенденций и потенциальных возможностей глобального и отечественного использования ВИЭ;
- систематизация существующих проблем и обоснование современных барьеров использования доступного потенциала ВИЭ с учётом высокогорья и технических возможностей;
- обоснование целесообразности создания ЭКНС для обеспечения доступа к электроэнергии удаленных потребителей;
- методика оптимального выбора установленных мощностей источников электроэнергии ЭКНС итерационным методом с учётом влияния высокогорья;
- программное обеспечение задач оптимизации структуры и режима работы электростанций ЭКНС;

- экономическая оценка методики оптимального выбора установленных мощностей электростанций ЭКНС итерационным методом;
- методика поддержания качества электроэнергии в ЭКНС с учетом особенностей режимов работы инвертора СЭС и подключаемых к нему электроприёмников.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы. Диссертационная работа соответствует следующим пунктам области исследований паспорта специальности 05.14.01:

п.1. Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования;

п.2. Математическое моделирование, численные и натуральные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии;

п.5. Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке и использовании тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах, комплексах и системах энергоснабжения;

п.7. Разработка цифровых и физических методов анализа и мониторинга режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций, электрических сетей, энергосистем, систем электроснабжения и электрических сетей мини- и микрогрид.

Личный вклад автора. Постановка цели и задач для оптимизации режимов работы ЭКНС в условиях высокогорья выполнены совместно с научным руководителем и научным консультантом. Автором самостоятельно развит понятийный аппарат области исследования, оценено влияние высокогорья на эффективность использования ВИЭ и разработаны оптимизационные модели для решения поставленных задач. Основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно и заключаются в следующем:

- технические возможности и эффективность использования ВИЭ в РТ [1-А – 5-А, 13-А – 25-А];
- методика выбора оптимальных установленных мощностей источников электроэнергии ЭКНС в условиях высокогорья итерационным методом [7 - А, 8-А, 9-А, 10-А];
- методика оптимизации реактивной мощности и поддержания требуемого уровня напряжения на выходе инвертора СЭС для улучшения режимных параметров ЭКНС [6-А, 12-А];
- программное обеспечение задач оптимизации структуры и режима работы электростанций ЭКНС;

- методика поддержания качества электроэнергии в ЭКНС [6-А, 11-А, 12-А].

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: республиканской научно-практической конференции «Состояние и перспективы энергетики Таджикистана» (ТТУ им. академика М Осими, 22.12. 2009 г., г. Душанбе); республиканской научно-практической конференции, посвященной 90-летию М.С. Осими (ТТУ им. академика М.С. Осими, 17.11.2011 г., г. Душанбе); восьмой международной конференции теплофизической школы (АНТ физико-технический институт имени С.У. Умарова, 22.12. 2012 г., г. Душанбе); республиканской конференции «Экономика и перспективы развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан» (ХГУ им. академика Б. Гафурова, 12 – 13 ноября 2015 г., г. Худжанд); научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны» (Институт энергетики Таджикистана, 22 – 23 декабря 2017 года, г. Бохтар); VI – ой международной конференции «Современные проблемы физики», посвящённой 110 – летию академика АН Республики Таджикистан С.У. Умарова и 90 – летию академика АН Республики Таджикистан А.А. Адхамова (ФТИ им. Академика С.У. Умарова, 24.12. 2018 г., г. Душанбе); международной научно – практической конференции «Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона» (ТТУ имени академика М.С. Осими, 21.12. 2018 г., г. Душанбе); международной научно-практической конференции «Водно-энергетические ресурсы–основа реализации международного десятилетия действия «Вода для устойчивого развития, 2018 – 2028 годы»». (ТТУ имени академика М.С. Осими, 12.04.2019 г., г. Душанбе); 19-ой Конференции молодых исследователей в области электротехники и электроники IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section (Санкт-Петербург, 27-30.01. 2019 г); 20-ой Конференции молодых исследователей в области электротехники и электроники IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section (Санкт-Петербург, 27-30. 01. 2020 г); международной научно-практической конференции: «Энергетика: Состояние и перспективы развития» (ТТУ имени академика М.С. Осими, 20.12.2022 г., г. Душанбе) и международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», (г. Москва, 16 – 18. 03. 2023 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 23 печатные работы, из которых: 5-статей, входящих в перечень рекомендованных ВАК при Президенте РТ; 3 научные статьи в рецензируемых изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ; 2 статьи в журналах конференций, входящие в базу данных SCOPUS и IEEE, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации и 11 статей на международных, республиканских и других конференциях.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 172 страницы, а список литературы включает 128 библиографических ссылок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, представлена его научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** приведены оценка энергетических ресурсов и тенденций развития ВИЭ (гидроэнергетический потенциал, потенциалы солнечной и ветровой энергии) мира и РТ. Исследован вклад РТ в мировые усилия по смягчению последствий изменения климата, произведен анализ проблем и барьеров в освоении потенциала ВИЭ РТ, а также дана количественная оценка влияния высоты размещения энергокомплекса с неоднородной структурой над уровнем моря на эффективность генерирующих мощностей.

Выполненная оценка ВИЭ Республики Таджикистан, с учётом её географически-климатических особенностей показала, что за последние 10-15 лет в Таджикистане особое внимание уделено развитию микро и малой гидроэнергетики. За указанный период были построены более 300 микро и малых ГЭС. Однако практически 80 % мощности энергетических установок оказались не пригодными для работы, из-за низкого уровня проектирования, строительных работ и эксплуатации (рисунок 1). Суммарная годовая выработка электроэнергии на этих малых ГЭС составила всего 3464660 кВт·ч, против 95054760 кВт·ч проектной выработки. Такие низкие технико-экономические показатели построенных малых ГЭС в Таджикистане свидетельствуют о наличии комплекса упущений при проектировании, строительстве и эксплуатации этих источников электроэнергии.



Рисунок 1 – Малые ГЭС, построенные в северном и центральном горных регионах РТ

На основании выполненного исследования режимов работы построенных МГЭС, выявлены стабильно повторяющиеся за последние годы факторы, тормозящие эффективное энергетическое освоение малых водотоков, которые иллюстрируются рис. 2. Устранение факторов, отрицательно влияющих на развитие малой гидроэнергетики, позволит обеспечить долгосрочную и эффективную работу МГЭС.

Практика эксплуатации микро и малых ГЭС показала, что в высокогорных районах в децентрализованных системах электроснабжения в зимний период эти установки без дублирующих источников энергии не могут удовлетворять потребность населения в электроэнергии. Необходимо пересмотреть разработанные программы развития электроэнергетики дополнив их использованием других видов ВИЭ (энергии солнца и ветра, а также биомассы).



Рисунок 2 – Факторы, тормозящие энергетическое освоение малых водотоков

В горных местностях РТ в условиях, ограниченных в сезонном разрезе гидроэнергетических ресурсов, жесткой привязанности ГЭС к водотоку, а также технической сложности и большой стоимости строительства линий электропередач, современные солнечные установки с инновационными технологиями производства электроэнергии становятся конкурентоспособными, по сравнению с другими источниками энергии. Например, стоимость 1 кВт установленной мощности МГЭС в этих районах достигает 4500-6500 долларов США, тогда, как для такой же мощности солнечной установки требуется 2500-3000 долларов США.

Нужно отметить, что интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную к лучам поверхность, существенно зависит от высоты объекта над уровнем моря, и чем выше массив находится над уровнем моря, тем больше интенсивность солнечной радиации (рисунок 3). Соответственно увеличивается генерируемая мощность СЭС, а генерируемая мощность МГЭС и ВЭС с увеличением высоты их размещения над уровнем моря уменьшается (рисунок 4).

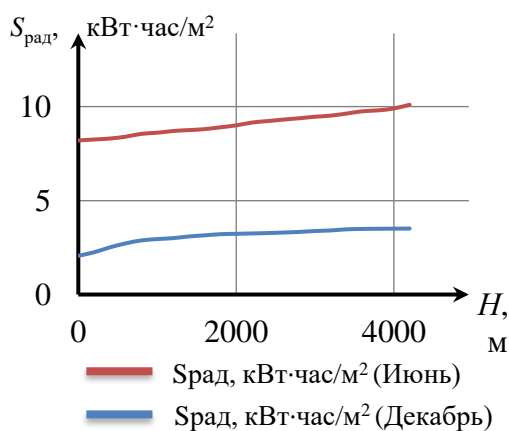


Рисунок 3 – Изменение солнечной радиации в зависимости от высоты над уровнем моря

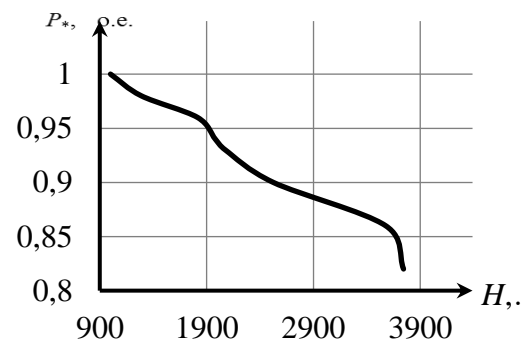


Рисунок 4 – График изменения генерируемой мощности ВЭС и МГЭС (в относительных единицах) в зависимости от высоты (H) их расположения над уровнем моря

Потенциал энергии ветра в РТ распределен крайне неравномерно и существенно уступает по размерам и доступности потенциалам гидроэнергетических и солнечных энергоресурсов. Ветроэнергетика

Таджикистана нуждается, прежде всего, в фундаментальном изучении ресурсной части и подготовке местных специалистов по проектированию и обслуживанию ветроэлектрических установок.

Вторая глава посвящена оптимизации режима работы ЭКНС на основе ВИЭ. Обоснована целесообразность создания ЭКНС, с учетом географических условий РТ и доступности первичных энергоносителей. Предложено авторское определение понятия «энергокомплекс с неоднородной структурой», как энергокомплекс, использующий в качестве первичных энергоносителей только ВИЭ (ВЭС, СЭС и МГЭС), и доступный водоем, как аккумулирующая составляющая комплекса, с учетом высоты их размещения над уровнем моря. Структурная схема ЭКНС приведена на рисунке 5. Разработана модель для объекта исследования (см. рисунок 6) в программе ETAP-19, с учётом особенностей режима работы МГЭС.

Энергетический комплекс с неоднородной структурой

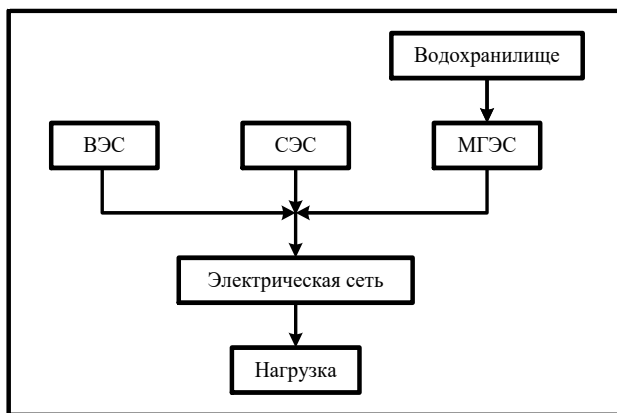


Рисунок 5 – Структурная схема ЭКНС

Разработана методика выбора оптимальных установленных мощностей источников электроэнергии при проектировании ЭКНС, с учётом высоты размещения над уровнем моря. Суть алгоритма методики заключается в следующем (см. рис.7) Задан произвольный высокогорный район, в котором имеется возможность установить такие источники электрической энергии, как СЭС, ВЭС и МГЭС.

Для оптимального выбора номинальной установленной мощности этих генерирующих источников необходимы исходные данные о возможности установки того или иного вида станции. Если известен характер нагрузки и график её изменения в разные времена года, а также технические возможности по проектированию и эксплуатации диверсифицированных источников электрической энергии (ИЭЭ), алгоритм даёт возможность выбрать оптимальную установленную мощность станций. При расчете учитываются потери активной мощности в электрических сетях. После обработки исходных данных и определения возможного варианта установленной мощности ИЭЭ необходимо принимать во внимание следующее условие:

$$P_{\text{ном.уст.}} \leq P_{\text{тех.возм.}} \quad (1)$$

где: $P_{\text{ном.уст.}}$ – номинальная установленная мощность ИЭЭ;

$P_{\text{тех.возм.}}$ – технически возможная мощность ИЭЭ.

После чего, при известном значении потребляемой мощности нагрузки и генерируемой мощности в любой момент времени составляется баланс активной мощности.

$$\left\{ \begin{aligned} \int_0^k (P_{\text{ВЭС}}(t) + P_{\text{СЭС}}(t)) dt + \int_0^k (P_{\text{МГЭС}}(t)) dt &= \int_0^k (P_{\text{нагр}}(t)) dt + \int_0^k (\Delta P_{\text{потерь}}(t)) dt; \\ \int_0^k P_{\text{ЭК}}(t) dt &= \int_0^k (P_{\text{МГЭС}}(t)) dt + \int_0^k (P_{\text{СЭС}}(t)) dt + \int_0^k (P_{\text{ВЭС}}(t)) dt - \int_0^k (P_{\text{нагр}}(t)) dt - \int_0^k (\Delta P_{\text{потерь}}(t)) dt \end{aligned} \right. \quad (2)$$

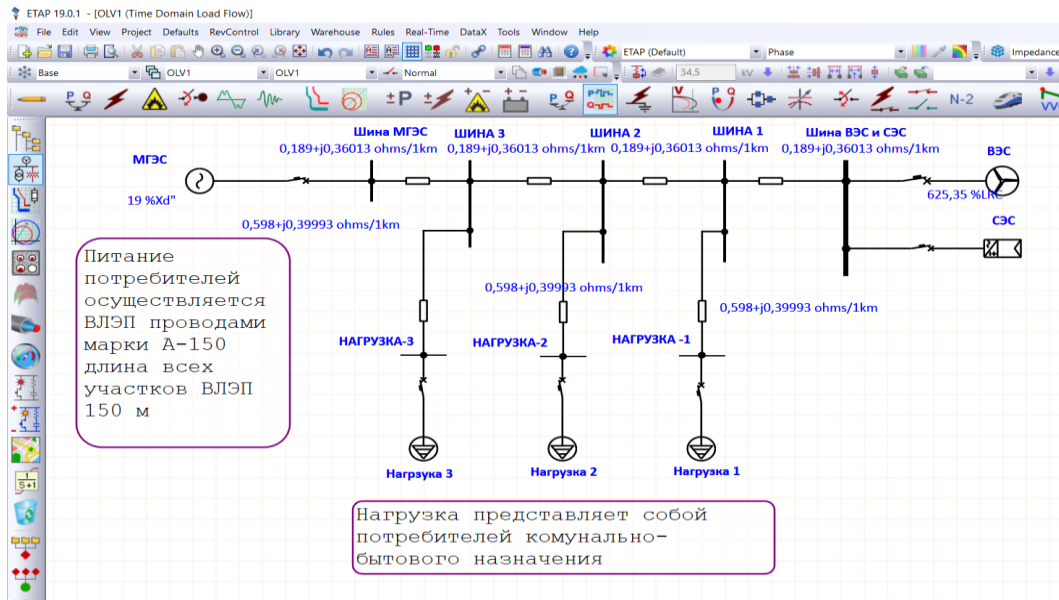


Рисунок 6 – Модель объекта исследования в программе ETAP-19

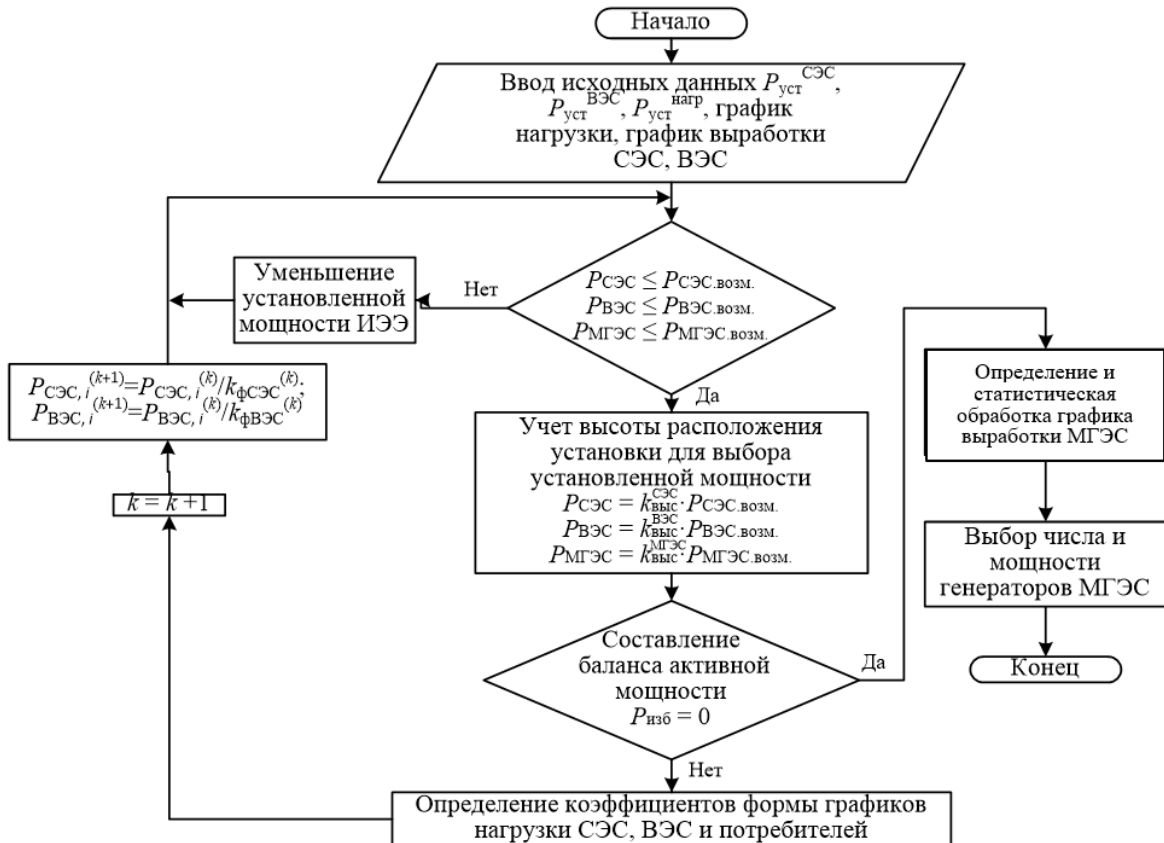


Рисунок 7 – Алгоритм выбора оптимальных установленных мощностей электростанций энергокомплекса с неоднородной структурой итерационным методом с учетом высоты размещения над уровнем моря

При расчёте необходимо учитывать, что в каждый момент времени условие:

$$P_{\text{МГЭС}}^i = P_{\text{СЭС}}^i + P_{\text{ВЭС}}^i - P_{\text{нагр.}}^i - \Delta P_{\text{пот.}}^i \geq 0 \quad (3)$$

должно соблюдаться.

Если условие (1) не выполняется, тогда необходимо уменьшить установленную мощность источников электрической энергии и расчет заново повторяется. При выполнении условия (1) составляется уравнение баланса

мощностей в соответствии с уравнением (2). При выполнении условия (3) необходимо учитывать, что при выборе мощности источников, приоритет отдаётся варианту максимального использования генерируемых мощностей СЭС и ВЭС, так как при этом в доступном водоеме происходит запасание воды для выработки мощности МГЭС. Необходимо отметить, что в соответствии с (3) мощность МГЭС не может быть меньше нуля. Если выполняется условие (2), тогда необходимо определить и сделать статистическую обработку графика нагрузки МГЭС и выбрать оптимальный вариант количества и мощности её генераторов. При невыполнении условия (2) необходимо определить оптимальную установленную мощность СЭС и ВЭС. Поиск наилучшего варианта установленных мощностей выполняется с помощью одного из основных технико-экономических показателей графиков нагрузки, то есть коэффициента формы (k_{Φ}), расчётная формула которого приведена в (4). Зная график выработки СЭС и ВЭС, легко можно определить коэффициент k_{Φ} , который определяется отношением среднеквадратичной мощности электроприёмников (ЭП) к среднему значению нагрузки и характеризует неравномерность графика нагрузки:

$$K_{\Phi} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{сп}}} \quad (4)$$

После этого, разделив установленную мощность источников (СЭС и ВЭС) на соответствующие коэффициенты формы на k – ом итерации, получим новые значения установленных мощностей СЭС и ВЭС на $(k+1)$ – ом итерации:

$$\begin{cases} P_{\text{СЭС}i}^{k+1} = \frac{P_{\text{СЭС}i}^k}{k_{\Phi, \text{СЭС}}^k}; \\ P_{\text{ВЭС}i}^{k+1} = \frac{P_{\text{ВЭС}i}^k}{k_{\Phi, \text{ВЭС}}^k} \end{cases} \quad (5)$$

и расчет заново выполняется. Итерационный процесс продолжается до того момента, пока не будут выполнены условия (1) и (3). При выполнении условий (1) и (3) расчет завершается.

В соответствии с разработанной методикой определения установленных мощностей станций, автором была создана программа «Програмный комплекс для оптимального выбора установленных мощностей электростанций (ВЭС, СЭС и МГЭС) энергокомплекса итерационным методом» (регистрационный номер программы для ЭВМ в «Реестре программ для ЭВМ» №2023669848, 21 сентября 2023 г.).

Окно ввода информации в программу приведено на рисунке 8.

Как отмечено выше, при проектировании энергетических комплексов в условиях высокогорья необходимо учитывать зависимость генерируемой мощности от высоты расположения источника над уровнем моря. Для этого, мощность каждого источника необходимо корректировать с помощью коэффициента высоты.

Коэффициент высоты для СЭС определяется с помощью формулы (6) в соответствии с рисунком 3:

$$k_{\text{выс}}^{\text{СЭС}} = \frac{S_{\text{рад.}}^H}{S_{\text{рад.}}^{800}} \quad (6)$$

где, $S_{\text{рад.}}^{800}$ – радиация на базовой высоте 800 метров над уровнем моря,

кВт·час/м²; $S_{\text{рад}}^H$ – радиация на высоте H над уровнем моря, кВт·час/м²;

а для ВЭС и МГЭС определяется с использованием графика, приведенного на рисунке 4.

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ

ФАЙЛ НАСТРОЙКИ

ГРАФИКИ РЕЗУЛЬТАТЫ ДАННЫЕ И ПАРАМЕТРЫ

№	Рвэс	Рсэс	Рн	Результат
1	45,000	0,000	60,000	45,000
2	30,000	0,000	50,000	30,000
3	13,000	0,000	60,000	13,000
4	13,000	17,365	60,000	30,365
5	68,000	34,202	90,000	102,202
6	92,000	50,000	120,000	142,000
7	36,000	64,279	140,000	100,279
8	47,000	76,604	150,000	123,604
9	65,000	86,603	130,000	151,603
10	72,000	93,969	120,000	165,969
11	47,000	98,481	110,000	145,481
12	18,000	100,000	100,000	118,000
13	14,000	98,481	88,000	112,481
14	72,000	85,981	96,000	157,981
15	100,000	73,481	86,000	173,481
16	74,000	60,981	140,000	134,981
17	10,000	48,481	170,000	58,481
18	40,000	35,981	200,000	75,981
19	46,000	23,481	190,000	69,481
20	58,000	10,000	100,000	68,000

Разные коэффициенты потери: 0,0015

Цена электроэнергии

За ВЭС: 0,2315
За СЭС: 0,2375
За МГЭС: 0,2561
За нагр.: 0,2651

Основные результаты
 Графики
 Коэффициент корреляции
 Избыток
 Дефицит

Вычислить
 Очистить
 Загрузить
 Сохранить

05.10.2023 14:07:34

Рисунок 8 – Окно ввода исходных данных в программу для оптимального выбора установленных мощностей электростанций ЭКНС

Для каждого источника энергии, можно определить окончательное значение установленной мощности, с учетом высоты расположения его над уровнем моря, по формулам:

$$\begin{cases} P_{\text{ном.СЭС}} = k_{\text{выс}}^{\text{СЭС}} \cdot P_{\text{тех.возм.}}^{\text{СЭС}} \\ P_{\text{ном.ВЭС}} = k_{\text{выс}}^{\text{ВЭС}} \cdot P_{\text{тех.возм.}}^{\text{ВЭС}} \\ P_{\text{ном.МГЭС}} = k_{\text{выс}}^{\text{МГЭС}} \cdot P_{\text{тех.возм.}}^{\text{МГЭС}} \end{cases} \quad (7)$$

В качестве примера приведём результаты расчета выбора оптимальной мощности по разработанной программе, с учетом влияния высоты расположения источников на величину генерируемой ими мощности, где принимаются следующие исходные данные: $P_{\text{СЭС}}^{\text{уст}} = 100$ кВт, $P_{\text{ВЭС}}^{\text{уст}} = 100$ кВт, $P_{\text{нагр.}}^{\text{max}} = 200$ кВт.

Результаты расчета программы для первой итерации, с учетом и без учета влияния высоты расположения ЭКНС над уровнем моря на генерируемую мощность, соответственно приведены на рисунках 9а и 9б, а для последней (пятой) итерации – на рисунках 10а и 10б.

Разработанная программа «Оптимальный выбор установленных мощностей электростанций (ВЭС, СЭС и МГЭС) ЭКНС итерационным методом» на каждом шаге итерации, оптимизируя значения установленных мощностей ИЭЭ ЭКНС с учётом их расположения над уровнем моря и климатических особенностей, улучшает экономические показатели ЭКНС (см. рис. 11 и 12).

Результаты оптимизации показывают, что суммарная мощность источников ЭКНС на первой итерации составила 324 кВт, а после оптимизации на пятой итерации составила 255,34 кВт, т.е. снизилась на 27 %. Экономия капитальных вложений составляет 420 тыс. сомони. Мощность нагрузки при этом не изменяется и остаётся равной 200 кВт. Оптимальное значение себестоимости электрической энергии ЭКНС составляет 0,042 сомони/кВт·час.

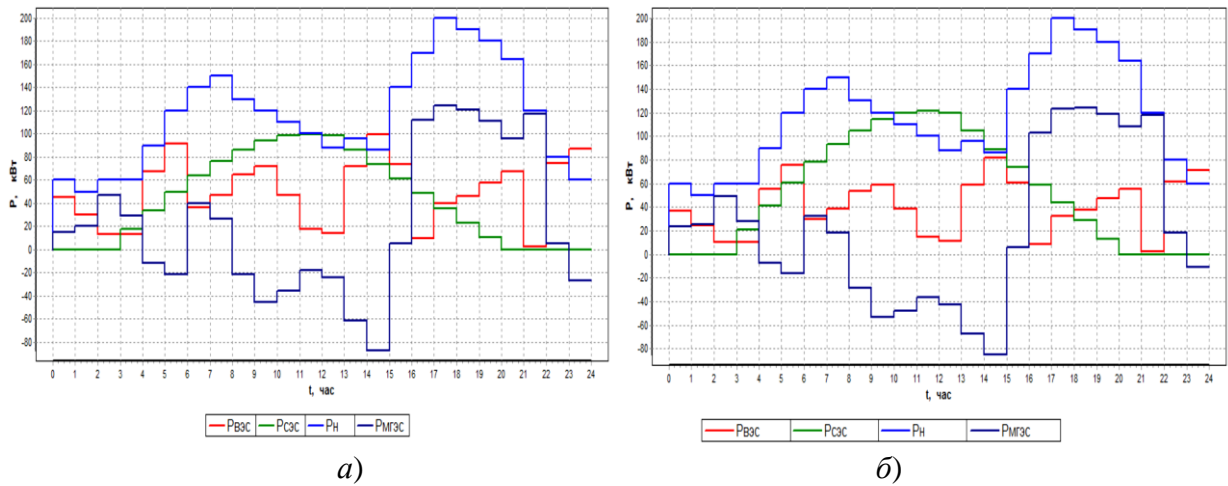


Рисунок 9 – Суточные графики выработки мощности ИЭЭ (СЭС, ВЭС и МГЭС) и нагрузки потребителей на первой итерации с учётом (а) и без учета (б) высоты расположения ЭКНС над уровнем моря

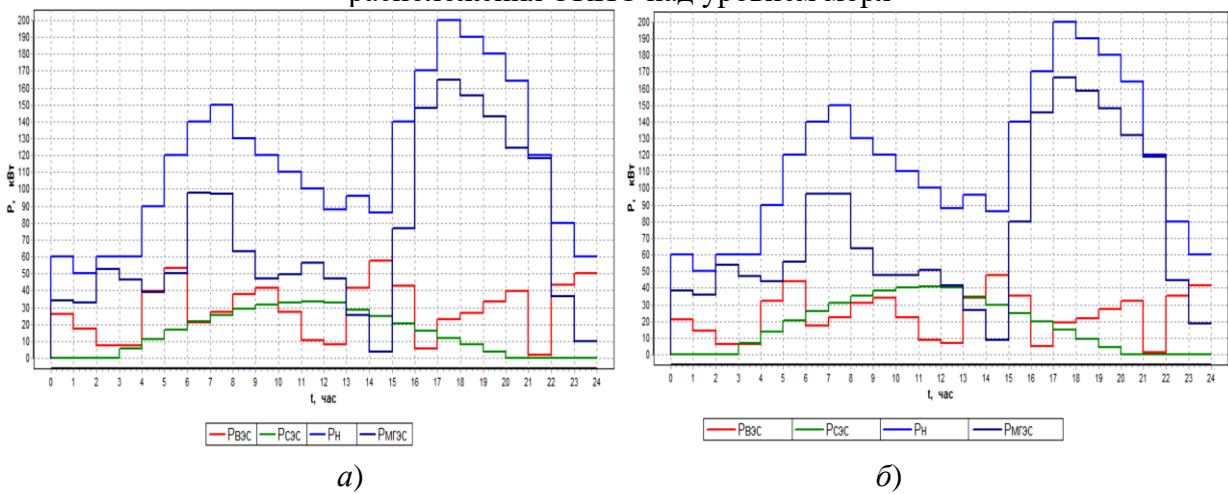


Рисунок 10 – Суточные графики выработки мощности ИЭЭ (СЭС, ВЭС и МГЭС) и нагрузки потребителей на последней (пятой) итерации с учётом (а) и без учета (б) высоты расположения ЭКНС над уровнем моря

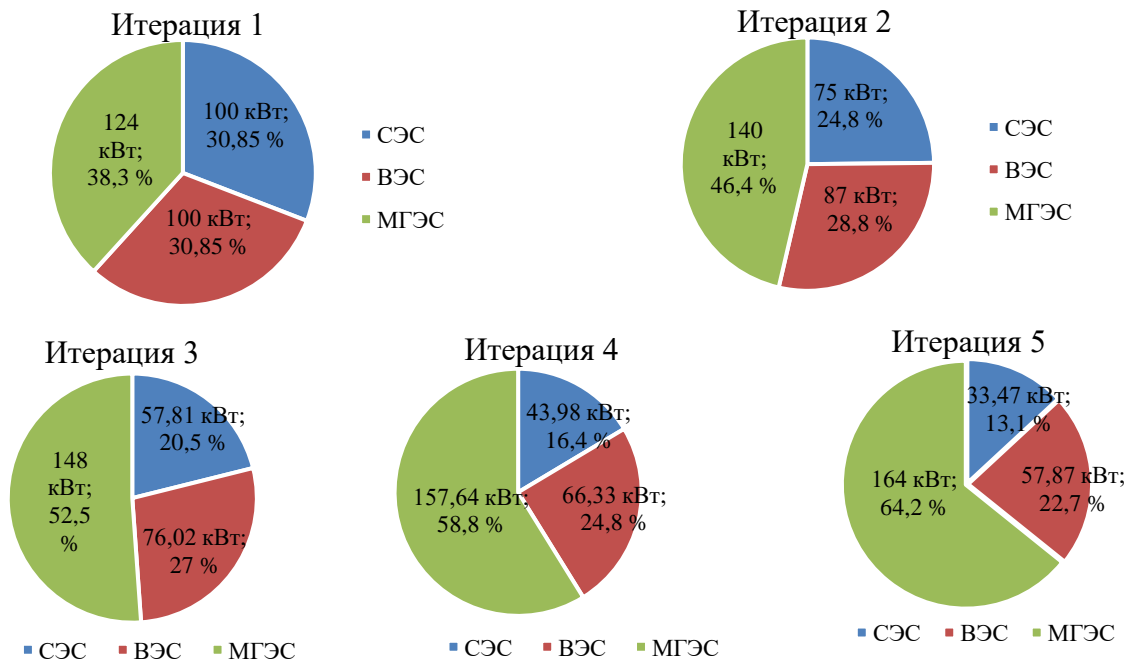
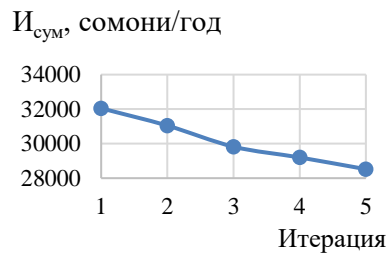


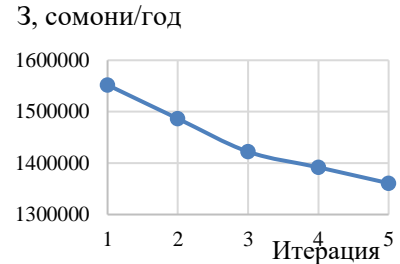
Рисунок 11 – Результаты выбора установленных мощностей электростанций ЭК на 1÷5-ой итерациях



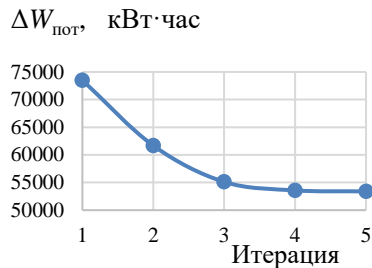
а) Изменение суммарных капиталовложений ЭКНС, от шага итерации



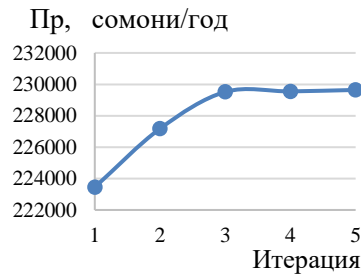
б) Изменение суммарных издержек ЭКНС, от шага итерации



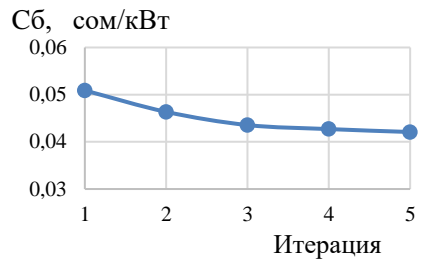
в) Изменение суммарных затрат ЭКНС, от шага итерации



г) Изменение суммарных потерь электроэнергии ЭКНС, от шага итерации



д) Изменение суммарной прибыли ЭКНС, от шага итерации



е) Изменение суммарной себестоимости ЭКНС, от шага итерации

Рисунок 12 – Техничко-экономические показатели оптимального выбора установленных мощностей электростанций (ВЭС, СЭС и МГЭС) ЭК итерационным методом

С помощью программы «Оптимальный выбор установленных мощностей электростанций (ВЭС, СЭС и МГЭС) ЭК итерационным методом», можно выбрать оптимальную номинальную мощность каждой электростанции, как участника ЭКНС, учитывая природные особенности для ВЭС (график изменение скорости ветра и роза ветров), СЭС (график солнечной радиации) и МГЭС (гидрология и потенциал реки).

В третьей главе предложена методика поддержания качества электроэнергии в ЭКНС. Учитывая нестабильность объёма первичных энергоносителей (вода, ветер и солнечная радиация), поддержание показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в ЭКНС является актуальной задачей. Для этого произведены многочисленные измерения ПКЭ и режимов работы приёмников электрической энергии, подключённых к СЭС. Результаты измерений на действующем объекте (СЭС роддома №1 г. Душанбе) показали, что ПКЭ в сети СЭС не соответствуют установленным нормативам (см. рис. 13). Для обеспечения устойчивой работы автономных инверторов автором предлагается оптимизация места установки компенсирующего устройства (КУ) реактивной мощности. Для инверторов ведомой сети предлагается установить в точке присоединения к сети вольтодобавочных трансформаторов так как, при выходе значения частоты и напряжения сети за пределы установленных коридоров: $\pm 0,4$ Гц для частоты и $\pm 10\%$ для отклонения напряжения, солнечная электростанция отключается от сети, работая автономно в режиме холостого хода, потребляя инвертором активную и реактивную мощности из сети рисунок 14.

Исследован режим работы ВЛЭП с солнечной генерацией, расположенной в конце линии, а ВЭС и МГЭС в начале линии. Модель рассматриваемого участка приведена на рисунке 6. По результатам проведённых расчётов в данном режиме,

напряжение в начале и конце линии выше, чем на промежуточных участках линии (рисунок 15).

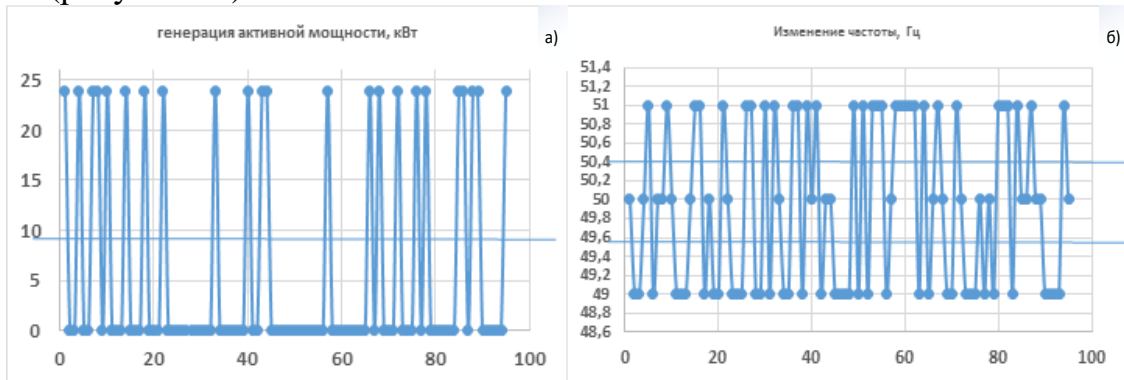


Рисунок 13 – Графики изменения:
а) частоты; б) генерации на зажимах инверторов

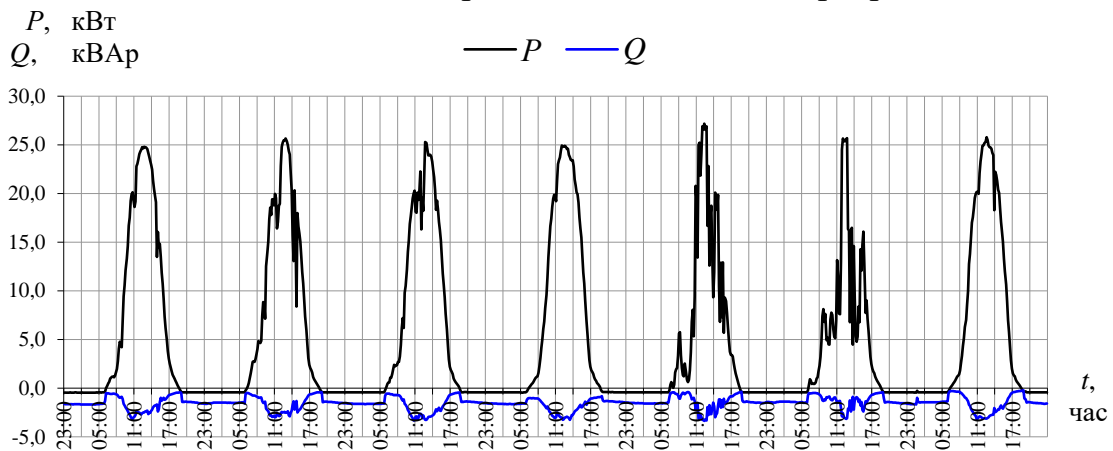


Рисунок 14 – Результаты недельного измерения активной и реактивной 3-х фазной мощности на выходе инвертора СЭС

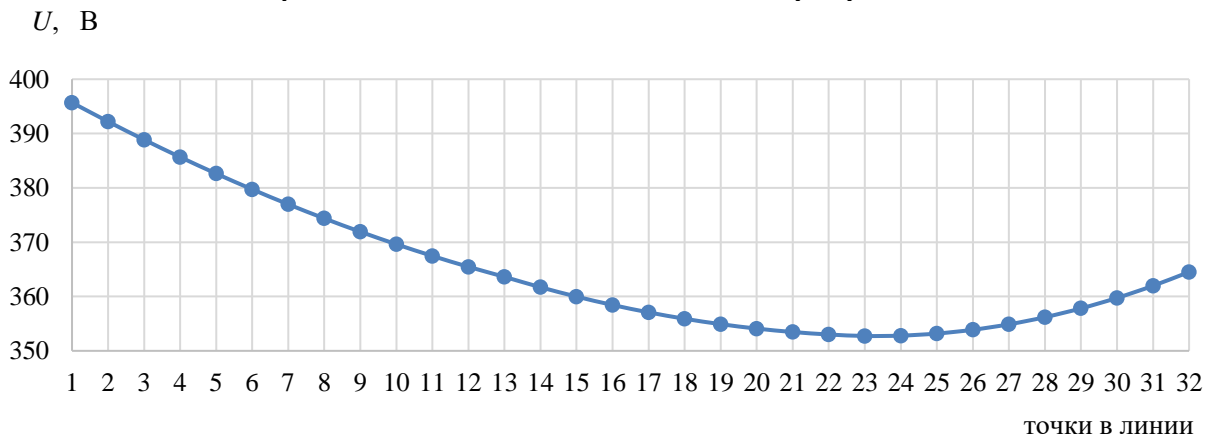


Рисунок 15 – Изменение напряжения вдоль магистральной линии 0,4 кВ

В случае, когда все источники ЭКНС расположены в начале линии относительные потери мощности составили 21,13 %, в случае, когда ВЭС и МГЭС расположены в начале линии, а СЭС в конце линии относительные потери мощности составили 13,1 % и в случае, когда ВЭС и МГЭС расположены в начале линии, а СЭС в конце линии с компенсацией реактивной мощности относительные потери мощности составили 5 %. Потери мощности при установке СЭС в конце линии снижаются на 8 % относительно потерь при первом случае, а при оптимизации реактивной мощности на 17 %.

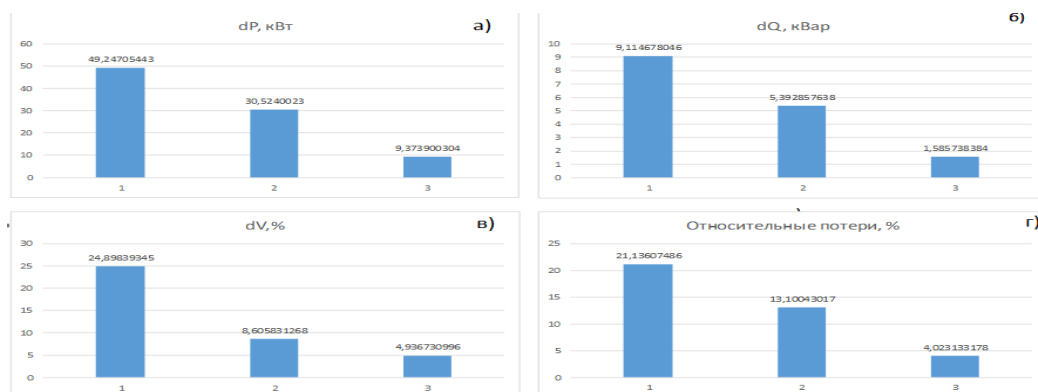


Рисунок 16 – Изменение: а) - потерь активной мощности, б)- потерь реактивной мощности, в)- отклонения напряжения в узлах, г) - относительных потерь мощности

В результате оптимизации отклонения напряжения по узлам составляют 4,9 %, что подтверждает целесообразность оптимизации реактивной мощности и размещения КУ в рассматриваемой сети (см. рис. 16).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. **Произведены** оценка ресурсов ВИЭ (гидроэнергетический потенциал, потенциалы солнечной и ветровой энергии) мира и РТ, а также индивидуальные замеры режимных параметров современных коммунально-бытовых электроприёмников и действующей СЭС в г. Душанбе [1-А], [2-А], [4-А], [5-А], [11-А], [12-А], [13-А], [14-А], [15-А], [16-А], [17-А], [19-А], [21-А].

2. **Выявлены** проблемы и барьеры использования доступных потенциалов ВИЭ в Таджикистане, с учётом технических возможностей [5-А], [18-А], [20-А], [22-А], [23-А].

3. **Установлено**, что инверторы ведомой сети потребляют от ведущей сети реактивную мощность при любом режиме работы инверторов. В режиме холостого хода потребляемая реактивная мощность инверторами составляет 5 % от установленной мощности, а при полной загрузке инвертора, потребляемая реактивная мощность достигает до 15 %, относительно преобразованной активной мощности [6-А].

4. **Предложена методика выбора** оптимальных мощностей ИЭЭ ЭКНС, позволяющая учитывать влияние высоты расположения источников электрической энергии над уровнем моря. Для выбора наилучшего варианта мощностей источников ЭКНС использован итерационный метод, с использованием одного из технико-экономических параметров графика нагрузки – коэффициента формы. Показано, что с увеличением высоты расположения над уровнем моря генерируемая мощность на СЭС увеличивается, а на ВЭС и МГЭС уменьшается [3-А], [7-А], [8-А], [9-А], [10-А].

5. **Разработана** методика поддержания качества электроэнергии в ЭКНС, состоящего из ВЭС, СЭС и МГЭС и программа для ЭВМ, позволяющая произвести оптимальный выбор установленных мощностей электростанций энергокомплекса (ВЭС, СЭС и МГЭС) итерационным методом (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669848, дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 21.09.2023) [6-А], [9 - А].

6. **Выполнен расчёт** экономической эффективности предложенной методики оптимального выбора установленных мощностей электростанций ЭКНС итерационным методом, с учётом высоты над уровнем моря [9-А], [10-А].

7. **Предложена методика** оптимизации компенсации реактивной мощности для улучшения режимных параметров ЭКНС с нагрузкой [6-А], [10-А].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполненное исследование свидетельствует о том, что комплексное использование генерирующих установок на основе ВИЭ в составе ЭКНС позволяет повысить эффективность использования установленной мощности МГЭС, построенных в высокогорных районах РТ, обеспечивая гарантированный доступ к электроэнергии. Методические подходы, методы и модели, предложенные в работе, могут быть использованы и в других регионах с аналогичными природно-климатическими условиями и соответствующим доступом к первичным возобновляемым энергоносителям. Разработанные программные комплексы позволяют оптимизировать структуру ЭКНС, обосновывать выбор установленной мощности его электростанций, а также обеспечить качество электрической энергии в локальной сети. Результаты расчета экономической эффективности предложенных моделей и методов подтверждают их технико-экономическую целесообразность.

Результаты диссертационной работы рекомендованы для использования в практике проектирования и эксплуатации ЭК в зонах децентрализованного энергоснабжения, с учетом высоты расположения установок преобразующих первичные возобновляемые энергоресурсы над уровнем моря, а также в учебном процессе ВУЗов по курсам, связанным с изучением и использованием ВИЭ, что подтверждено прилагаемыми актами внедрения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

[1-А]. **Ганиев З.С.** Обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для покрытия дефицита мощности в Республике Таджикистан / В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Д.С. Ахъёев / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – №1 – 2. С. 139 – 142.

[2-А]. **Ганиев З.С.** Оценка доступности энергетических ресурсов за счет солнечной радиации в Республике Таджикистан / В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Ш.М. Султонов / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – №1. – С. 174 – 177.

[3-А]. **Ганиев З.С.** Влияние местности на определение потенциала возобновляемых источников энергии / А.К. Киргизов, З.С. Ганиев, Р.А. Джалилов / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – №1(41). – С. 34 – 46.

[4-А]. **Ганиев З.С.** К вопросу об использовании солнечных энергоустановок в условиях Республики Таджикистан / З.С. Ганиев, Ш.Д. Самади, М.Х. Содиков, Р.И. Каримов / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – №3(47). – С. 32 – 40.

[5-А]. **Ганиев З.С.** Причины дефицита электроэнергии в энергосистеме и роль Рогунской гидроэлектростанции в достижении энергетической безопасности Республики Таджикистан / Ш.Д. Самади, З.С. Ганиев, Х.Б. Назиров / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – №2(54). – С. 11 – 15.

[6-А]. **Ганиев З.С.** Оценка режима работы инверторов солнечных электростанций с точки зрения обеспечения качества электроэнергии /

Х.Б. Назиров, С.А. Абдулкеримов, З.С. Ганиев, Ш.Д. Джураев, Д.С. Ахъев / Электротехнические системы и комплексы. – 2023. – №1(58). – С. 31 – 38.

[7-А]. **Ганиев З.С.** Методика выбора оптимальных установленных мощностей источников электрической энергии ЭК / З.С. Ганиев / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – №3(63). – С. 33 – 41.

[8-А]. **Ганиев З.С.** Оценка влияния высокогорья на генерируемую мощность возобновляемых источников энергии / А.Д. Ахророва, З.С. Ганиев, / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – №4(64). – С. 38 – 45.

Зарегистрированные программы для ЭВМ

[9-А]. **Ганиев З.С.** Программа для оптимального выбора установленных мощностей электростанции (ВЭС, СЭС и МГЭС) энергокомплекса итерационным методом / Ш.Д. Джураев, Ш.А. Бобоев, Ш.Д. Самади, Х.Б. Назиров, С.А. Абдулкеримов, З.С. Ганиев / Внесен в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023669848, 21.09.2023. Заявка № 2023668688 от 11.09.2023.

[10-А]. **Ганиев З.С.** Программа для расчета оптимальных режимов работы энергокомплекса симплекс-методом / С.Т. Исмоилов, Р.И. Каримов, Ш.А. Бобоев, С.А. Абдулкеримов, Х.Б. Назиров, З.С. Ганиев / Внесен в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023669290, 13.09.2023. Заявка № 2023668679 от 11.09.2023.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных SCOPUS, Web of Science:

[11-А]. **Ganiev Z.S.** Measurement of emissions of high harmonic currents in modern electrical receivers in municipal-households power supply system / K.B. Nazirov, S.D. Dzhuraev, Z.S. Ganiev, M.M. Kamolov, A.S. Amirkhanov // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. – January 27 - 30, 2020, St. Petersburg. – St. Petersburg, Russia, 2020. – P. 1270 – 1275.

[12-А]. **Ganiev Z.S.** Experimental evaluation and analysis of electric power quality in electric net-works municipal-households / K.B. Nazirov, S.D. Dzhuraev, Z.S. Ganiev, M.M. Kamolov, S.T. Ismoilov, A.G. Kayumov // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2021. – January 26 – 29, 2021, St. Petersburg. – St. Petersburg, Russia, 2021. – P. 1169 – 1172.

Публикации в других изданиях

[13-А]. **Ганиев З.С.** Эффективное использование возобновляемых источников энергии в Таджикистане / К. Кабутов, З.С. Ганиев, Х.М. Ахмедов, А. Абдурасулов, Т. Салимов // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Состояние и перспективы энергетики Таджикистана». ТТУ им. академика М Осими, 22 декабря, г. Душанбе. – Душанбе, 2009. – С. 16 – 20.

[14-А]. **Ганиев З.С.** Комбинированное использование ВИЭ для энергообеспечения горных сель / З.К. Кабутов, М.Б. Иноятов, Х. Шеров, К. Кабутов, З.С. Ганиев // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Состояние и перспективы энергетики Таджикистана». ТТУ им. академика М Осими, 22 декабря, г. Душанбе. – Душанбе, 2009. – С. 21 – 25.

[15-А]. **Ганиев З.С.** Принципы и возможности использования ветровых электростанций / К. Кабутов, М.Б. Иноятов, З.С. Ганиев // *Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 90 летию М.С. Осими, г. Душанбе.* – Душанбе ЭР Граф, 2011. – С. 144 – 151.

[16-А]. **Ганиев З.С.** Энергообеспечение сельского населения комплексным использованием ВИЭ / К. Кабутов, З.С. Ганиев // *Материалы Восьмой Международной конференции теплофизической школы, 22 декабря, г. Душанбе.* – Душанбе, 2012. – С. 569 – 574.

[17-А]. **Ganiev Z.S.** Investigation of self excited induction generator for micro-hydro applications / Arshad Ali, Khasan Karimov, M. Umair Khan, Z.Kabutov, Z.S. Ganiev // *Сборник докладов на конференции «Экономика и перспективы развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан».* ХГУ им. академика Б.Гафурова, 12 – 13 ноября, г. Худжанд. – Худжанд, 2015. – С. 177 – 187.

[18-А]. **Ганиев З.С.** Учет особенностей местных географических факторов при проектировании малых ГЭС / З.С. Ганиев, А.К. Киргизов // *Материалы научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», 22 – 23 декабря, г. Бохтар.* – Бохтар, 2017. – С. 273 – 276.

[19-А]. **Ганиев З.С.** Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов Республики Таджикистан / Д.Д. Давлатшоев, З.С. Ганиев // *Материалы VI - ой международной конференции «Современные проблемы физики» посвящённой 110 – летию академика Академии наук Республики Таджикистан С.У. Умарова и 90 – летию академика Академии наук Республики Таджикистан А.А. Адхамова, г. Душанбе, ФТИ им. Академика С.У. Умарова.* – Душанбе, 2018. – С. 316 – 320.

[20-А]. **Ганиев З.С.** Использование водных ресурсов для решения первоочередных задач Республики Таджикистан / Д.Д. Давлатшоев, Х.Б. Назиров, З.С. Ганиев // *Материалы Международной научно – практической конференции: Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона, г. Душанбе, ТТУ имени академика М.С. Осими.* – Душанбе: «Промэкспо», 2018. – С. 380 – 384.

[21-А]. **Ганиев З.С.** Анализ гидроэнергетических ресурсов Республики Таджикистан / З.С. Ганиев, Р.С. Ишан–Ходжаев, Х.Б. Назиров, Б.А. Гаюров // *Материалы международной научно-практической конференции «Водно - энергетические ресурсы – основа реализации международного десятилетия действия «Вода для устойчивого развития, 2018 – 2028 годы», 12 апреля, г. Душанбе.* – Душанбе, 2019. – С. 28 – 33.

[22-А]. **Ганиев З.С.** Перспективы развития солнечной энергетики в Республики Таджикистан / З.С. Ганиев, Р.С. Ишан – Ходжаев, Ш.Дж. Джураев, С.Т. Исмоилов // *Материалы международной научно-практической конференции: «Энергетика: Состояние и перспективы развития», 20 декабря, г. Душанбе: ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими.* – Душанбе, 2022. – С. 377.

[23-А]. **Ганиев З.С.** Диверсификация использования природных ресурсов в 21 веке / М.Н. Давлятова, З.С. Ганиев // *Доклад на Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов 16–18 марта 2023 г. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика, Москва, С. 1202.*

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН

ИНСТИТУТИ ФИЗИКАЮ ТЕХНИКАИ БА НОМИ

С.У. УМАРОВ

УДК 621.313: 621.311

Бо ҳуқуқи дастнавис



ҒАНИЕВ ЗОКИРҶОН СУЛТОНОВИЧ

**ОПТИМИЗАТСИЯИ РЕҶАҲОИ КОРИИ КОМПЛЕКСИ ЭНЕРГЕТИКӢ
ДАР АСОСИ МАНБАӢҲОИ БАҶҚАРОРШАВАНДАИ ЭНЕРГИЯ ДАР
ШАРОИТИ БАЛАНДКӢҲ**

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи
ихтисоси 05.14.01 – Системаҳо ва мӯҳтамаҳои энергетикӣ

Душанбе – 2024

Диссертатсия дар Маркази омӯзиш ва истифодабарии манбаъҳои барқароршавандаи энергияи Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Кабутов Курбонҷон

Номзади илмҳои техникӣ

Машваратчи илмӣ:

Ахророва Алфия Дадахоновна

доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

Муқарризони расмӣ:

Кокин Сергей Евгеньевич

доктори илмҳои техникӣ, профессор, мудири кафедраи «Электроэнергетика», муовини директор оид ба илм ва инноватсияи институти энергетикаи Урал, МТФДА МО «Донишгоҳи федералии Урал» (ДФУ) ба номи Президенти якуми Россия Б.Н. Ельцин», ш. Екатеринбург, ФР.

Рахматулоев Ашуралӣ Зокирович номзади илмҳои техникӣ, сардори шуъбаи «Тақсимот ва талафоти неруи барқ» - и филиали ҚСҚ «Шабақаҳои тақсимоти барқ» дар ш. Бохтар

Муассисаи пешбар:

Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон
н. Кушониён.

Ҳимояи диссертатсия санаи «06» майи соли 2024, соати 14⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии БД.КOA-049 назди Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғаи 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад.

Бо диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи расмӣ Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ: <https://web.ttu.tj> шиносӣ пайдо кунед.

Автореферат санаи «04» апрели соли 2024 ирсол шудааст.

Котиби илмӣ Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ, дотсент



Султонзода Ш. М.

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзуъ. Қомеаи ҷаҳони муосир ҳалли мушкилоти мураккаб ва бисёрҷанбаи даст кашидан аз истифодаи захираҳои истихроҷшаванда (барқарорнашаванда) ва гузариш ба манбаъҳои барқароршавандаи энергияро (МБЭ) ба миён гузоштааст, ки он бо зарурати кам кардани изи карбогидридӣ (таъсири газҳои карбогидридӣ), инчунин бо кам шудани захираи сӯзишвории органикӣ вобаста мебошад. Ҳалли ин мушкилот аз гузаронидани тадқиқоти илмӣ, таҳия ва татбиқи далелҳои нави асоснокшудаи техникӣ барои таъмини дастрасӣ ба энергияи соф ва кам намудани эҳтимолияти таҳдидҳо ба рушди устувори энергетикӣ вобастагии зич дорад.

Ҳиссаи энергияи электрикӣ дар тавозуни ҷаҳонии истеъмоли энергия, 10 фоизро ташкил медиҳад. Афзоиши босуръати истеъмоли энергияи электрикӣ дар ҳама давлатҳои рӯ ба тараққӣ ва инчунин дар Иттиҳоди давлатҳои мустақил (ИДМ) низ мушоҳида карда мешавад. Дар баробари ин, қисми зиёди аҳолии минтақаҳои баландкӯҳи сайёра ба захираҳои энергетикӣ дастрасӣ надоранд.

Аҳамияти мавзуъ аз он иборат аст, ки дар минтақаҳои баландкӯҳ, аз рӯи қоида, захираҳои сӯзишвории органикӣ мавҷуд нестанд ва интиқоли онҳо (одатан бо роҳи автомобилӣ), хароҷоти гаронро талаб мекунад. Пайваст намудани истеъмолкунандагони минтақаҳои дурдаст ба системаи марказонидашудаи таъминоти барқ дар шароити вазнини кӯҳсор аз ҷиҳати техникӣ душвор ва аз ҷиҳати иқтисодӣ номуносиб мебошад. Бинобар ин, ташаккули комплекси энергетикӣ минтақаҳои баландкӯҳ асосан қисми зиёди масоҳати Ҷумҳурии Тоҷикистон (ҶТ), ки баландии миёнаи он аз сатҳи баҳр 3500 м – ро дар бар мегирад, бо мавҷудияти захираҳои энергетикӣ худӣ, муайян карда мешавад. Барои истеҳсоли энергияи электрикӣ манбаъҳои ибтидоии барқароршавандаи энергия, яъне ҷараёни оби дарёҳои хурд, инчунин энергияи офтоб ва бод асосан барои истеҳсоли энергияи электрикӣ дастрас мебошанд.

Дар гузориши Агентии байналмилалӣ энергетикӣ (АБЭ) аз 11 январи соли 2024 қайд шудааст, ки ҳаҷми иқтидорҳои МБЭ ба истифода додашуда дар саросари ҷаҳон дар соли 2023 50% афзуда, қариб ба 510 ГВт мерасад. Дар баробари ин 75 фоизи тамоми иқтидорҳои ба истифодадодашударо дастгоҳҳои фотоэлектрикӣ офтобӣ ташкил медиҳанд. Рушди бузургтарин дар Чин ба амал омад, ки дар соли 2023 ҳамон қадар дастгоҳҳои фотоэлектрикӣ офтобиро ба кор андохтааст, чуноне ки дар соли 2022 дар тамоми ҷаҳон истифода кардаанд. Интизор меравад, ки дар давраи солҳои 2023-2028, иқтидори ҷаҳонии МБЭ то 7300 ГВт афзоиш меёбад, ки ин ба ноил шудан ба ҳадафҳои иқлим дар бахши энергетика мусоидат мекунад.

Истифодаи фаъоли энергияи офтобу бод шартӣ ҳатмии таъсиси комплексҳои энергетикӣ дар асоси МБЭ буд, ки дастрасии истеъмолкунандагонро ба энергияи электрикӣ, аз ҷумла тавассути диверсификатсияи манбаъҳои истеҳсолкунандаи энергия бо назардошти вобастагии онҳо аз хусусиятҳои ҷойгиршавии ҷуғрофӣ таъмин менамояд.

Тоҷикистон ӯҳдадорӣ худро ба ғояҳои коҳиши истихроҷи изи карбогидридӣ ва таъмини дастрасӣ ба энергия нишон дода, ба азхудкунии МБЭ тавачҷуҳи зиёд зоҳир менамояд. ҶТ аз захираҳои энергетикӣ дарёҳои хурду бузург ва радиатсияи офтоб бой аст. Захираи энергияи бод дар ҶТ на он қадар

зиёд аст, аммо истифодаи он дар як қатор минтақаҳо метавонад манбаи иловагии энергия бошад.

Бо мақсади ҷалби истифодаи МБЭ ва рушди минбаъдаи ин соҳаи энергетика дар сатҳи Ҳукумати ҚТ як қатор қонунҳо ва санадҳои меъёри ҳуқуқӣ қабул карда шудаанд. (Қонунҳои ҚТ: «Дар бораи энергетика» с.2000, «Дар бораи сарфаҷӯии энергия» с.2002, «Дар бораи истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия» с.2010, «Дар бораи бехатарии иншооти гидротехникӣ» с.2010, «Дар бораи сарфаҷӯӣ ва самаранокии энергия» 2013, Қарорҳои Ҳукумати ҚТ: «Дар бораи тасдиқи Низомнома дар бораи хусусиятҳои иҷозатномадихӣ дар соҳаи энергетика», боби 26, с.2007, «Дар бораи тасдиқи «Барномаи истифодаи самараноки захираҳои гидроэнергетикӣ» ва сарфаҷӯии энергия барои солҳои 2012-2016» с.2011., «Дар бораи Барномаи рушди манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва сохтмони нуругоҳҳои барқи обии хурд барои солҳои 2016-2020» с.2015 ва ғайра).

Захираҳои бузурги потенциалии обӣ асос барои азхудкунии энергияи маҷрои дарёҳои хурду бузург мебошанд. Дар замони Шӯравӣ низ, асосан то соли 1960 нуругоҳҳои барқи обии хурд (НБОХ) истифода мешуданд ва пас аз бунёди нуругоҳҳои дорои тавоноии миёнаву бузурги обӣ ва нуругоҳҳои ҳароратӣ тавачҷуҳ ба истифодаи НБОХ якбора коҳиш ёфт. Ҳамин тавр, қорҳои лоиҳакашӣ – ҷустуҷӯӣ ва илмӣ – тадқиқотӣ оид ба лоиҳакашии НБОХ ва истифодабарии онҳо қариб, ки амалан қатъ гардиданд. Истифодаи нуругоҳҳои барқӣ - офтобӣ (НБОф) ва нуругоҳҳои барқи бодӣ (НББ) дар системаи таъминоти барқ мушоҳида намешуданд, ба истиснои намунаҳои таҷрибавии дастгоҳҳои офтобӣ ва бодӣ.

Бо мақсади баланд бардоштани сатҳу сифати зиндагии аҳолии минтақаҳои баландкӯҳи дурдасти аҳолинишин бо роҳи таъмини дастрасии онҳо ба энергияи электрикӣ дар кишвар дар солҳои 2016-2020, барномаи сохтмони НБОХ амалӣ карда шуд. Мониторинги иҷрои барномаи азхудкунии захираҳои дарёҳои хурд нишон дод, ки аз НБОХ – ҳои ба истифода додашуда (зиёда аз 300 НБОХ) бо сабабҳои гуногун қисми зиёди онҳо (беш аз 80 %) қор намекунанд. Ин муқаррарот аҳамияти хосаи дарёфти роҳҳои ҳалли истифодаи иқтидорҳои «баста»-и НБОХ-ро дар асоси сохтани комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриҷинсаи (диверсификатсия кардашуда), иқтидорҳои истехсолӣ (НБОХ, НБОф, НББ) боис мегардад.

Дарачаи қорқарди мавзӯ. Тадқиқоти гуногунҷанбаи истифодабарии энергияи дарёҳои хурд дар асарҳои баъзе олимони Шӯравӣ ва Россия, аз қабилӣ: Т.А. Филиппова, Н. Малинин, В.В. Елистратов, А.Г. Русина, В.Я. Карелин, В.В. Волшаник, Л.П. Михайлов, Ю.А. Секретарев, В. Горштейн, Е.В. Цветкова ва дигарон бахшида шудааст. Дар асарҳои муаллифони дар боло овардашуда ҳалли техникӣ барои истифодабарии НБОХ дар шароити кӯҳсор ва минтақаҳои дурдаст, ки фишори атмосфера ба речаи қори дастгоҳҳо ва таҷҳизоти электрикӣ таъсири назаррас доранд, дида нашудааст. Инчунин, гуногунии баҳодихӣ аз нигоҳи тадқиқотчиён дар мавриди гуруҳбандии НБОХ аз рӯи иқтидор ва таркиби дастгоҳҳо низ ҷой доранд.

Солҳои охир, бахусус дар кишварҳои аврупоӣ, ки норасоии истихроҷи сӯзишвории карбониро аз сар мегузаронанд ва инчунин бо мақсади коҳиши партовҳои газҳои гулхонагӣ ба атмосфера, тавачҷуҳ ба манбаъҳои

барқароршаванда афзоиш ёфтааст. Дар мамлакатҳои мутараққӣ ва тараққиёбанда пурзӯр намудани тадқиқоти илмӣ ва қабули барномаҳои давлатиро оид ба инкишофи МБЭ ва ба шабакаи умуми мутобиқ намудани онҳо зарурат пеш омад.

Баъзе масъалаҳои алоҳидаи истифодаи МБЭ дар ҳудуди ҚТ, дар қорҳои олимони Россия В.З. Манусов, В.И. Висарионов, М.Г. Тягунов, В.И. Велькин ва Тоҷикистон Ф.О. Исмоилов, А.Қ. Қирғизов, Х.С. Сангов, Н. Ҳасанзода ва дигар олимони дида шудааст. Дар баробари ин, таваҷҷуҳи олимони ватанӣ ба осебпазирии неругоҳҳои барқи обӣ (НБО) дар шароити тағйирёбии иқлим вучуд дорад. Қори олимони ватанӣ А.Д. Аҳророва ва Ш.Н. Саидова ба таҳқиқи хатарҳои соҳаи электроэнергетикаи Тоҷикистон дар шароити тамоюлҳои иқлими муосир бахшида шудааст.

Сарфи назар аз таваҷҷуҳи назарраси илмии олимони ватанӣ ба омӯхтани проблемаи истифодабарии МБЭ ва таъсири минтақаҳои баландкӯҳ ба самаранокии дастгоҳҳои, ки захираҳои барқароршавандаи энергияро ба энергияи электрикӣ табдил медиҳанд, амалан омӯхта нашудааст. Қобили зикр аст, ки айни замон дар ҳудуди Тоҷикистон дастгоҳҳои энергетикӣ дар асоси МБЭ танҳо дар алоҳидагӣ НБОХ ё НББ ва ё НБОф истифода мешаванд. Дар ҳоле, ки хусусияти ҷуғрофии ҷойгиршавии кишвар имкон медиҳад, ки МБЭ дар ҳудуди он ҳам дар алоҳидагӣ ва ҳам дар ҳайати комплекси энергетикӣ (КЭ) истифода шаванд. Дар асарҳои олимони хоричӣ ва ватанӣ ба омӯхтани имкониятҳои дар як вақт истифода бурдани тавоноии НБОХ, НБОф ва ДББ барои бо энергияи электрикӣ таъмин намудани минтақаҳои дурдасти аҳолинишин диққати зарурӣ дода нашудааст. Масъалаи муайян намудани сохтори оптималӣ ва тавоноии муқарраршудаи иштирокчиёни КЭ бо назардошти хусусиятҳои ҷуғрофӣ ва қонунҳои тағйироти интиқолдиҳандаҳои энергияи ибтидоӣ ва речаи истеҳсоли энергияи электрикии манбаъҳо (НБОХ, НББ ва НБОф), инчунин номуайяни дар ҳаҷм, сохтор ва речаҳои истеъмоли он ба тарзи лозима, ба назар гирифта нашудаанд. Гуфтаҳои дар боло зикр ёфта гувоҳи онанд, ки тадқиқотҳо дар соҳаи таъмини дастрасии кафолатнок ба энергия дар минтақаҳои баландкӯҳ нотамо ва мубрам, боқӣ мемонанд.

Тоҷикистон кишвари кӯҳсор буда, дорои манзараҳои ҷуғрофӣ ва иқлими гуногун мебошад. Минтақаҳои баландкӯҳи кишвар, ки бо таъминоти марказонидашудаи энергия фаро гирифта нашудаанд, захираҳои гуногуни потенциалии энергетикро доро мебошанд. Бинобар ин дар ташаккули комплекси энергетикӣ муносибати алоҳидаи ягонро татбиқ кардан ғайриимкон аст. Дар баробари ин, вобаста ба имкониятҳои (дастрасӣ) вариантҳои манбаъҳои истеҳсоқунанда, хусусиятҳои иқлимӣ ва истифодабарии онҳо, дар ҳар як ҳолати мушаххас сохтори худии комплекси энергетикиро (КЭ) истифода кардан мумкин аст. Барои таъмини самаранокии ҳар кадоми онҳо зарур аст, ки ҳар як минтақаеро, ки дар он ҷо насб кардани таҷҳизоти табдилдиҳандаи МБЭ пешбинӣ шудааст, омӯхта шавад.

ТАВСИФИ УМУМИИ ҚОР

Мақсади қори диссертатсионӣ дар асоснок намудани комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриҷинсаи (КЭСҒ) МБЭ дар шароитҳои баландкӯҳ ва оптимизатсияи речаи қории иқтидорҳои истеҳсолии он мебошад.

Дар қор барои ба даст овардани мақсадҳои гузошташуда, вазиғаҳои зерин иҷро карда шудаанд:

- баҳодиҳии захираҳои МБЭ (захираҳои обӣ - энергетикӣ, офтобӣ ва бод) дар миқёси ҷаҳон ва дар ҚТ бо назардошти хусусиятҳои ҷуғрофию иқлимӣ он ва асоснок намудани зарурати ташкили КЭСФ, ки таркибаш НББ, НБОф, НБОХ ва обанбор барои таъмини истеъмолкунандагони минтақаҳои баландкӯҳи кишвар бо энергияи электрикӣ;

- дар асоси таҳлил ва ба низом даровардани мушкилот ва муайян намудани монеаҳо барои истифодаи иқтидори мавҷудаи МБЭ бо назардошти имкониятҳои техникӣ;

- коркарди усули интиҳоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии манбаъҳои барқии комплексҳои энергетикӣ (НББ, НБОф ва НБОХ) бо усули итератсионӣ дар шароити баландкӯҳ;

- коркарди усули нигоҳдории сифати энергияи электрикии (СЭ) комплекси энергетикӣ бо назардошти хусусиятҳои речаҳои кори инверторҳои НБОф, ки ба онҳо қабулкунакҳои электрикӣ пайваस्तшударо таҳия ва тадбирҳои дахлдорро асоснок намуд;

- таҳияи барномаҳои компютерӣ барои оптимизатсияи сохтор ва речаи кори неругоҳҳои электрикии КЭСФ;

- баҳодиҳии иқтисодии усули пешниҳодшудаи интиҳоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии неругоҳҳои электрикии (НББ, НБОф ва НБОХ) комплекси энергетикӣ бо усули итератсионӣ дар шароити баландкӯҳ.

Объекти тадқиқот комплекси энергетикӣ дар шароити баландкӯҳ бо сохтори ғайриякҷинса, ки аз НББ, НБОф, НБОХ ва обанборҳои дастрас иборат аст.

Мавзӯи тадқиқот – моделсозии равандҳои ба ҳам алоқаманди истеҳсоли энергияи электрикӣ аз манбаъҳои гуногуни истеҳсолкунанда ва истифодаи он аз ҷониби истеъмолкунандагон (ҷадвали бор), вобастагии самаранокии истифодаи иқтидорҳои муқарраршудаи НББ, НБОф ва НБОХ аз баландии ҷойгиршавии онҳо аз сатҳи баҳр ва мавҷудияти обанбор.

Усулҳои тадқиқот. Дар рисола усулҳои муодилаҳои хаттии алгебравӣ, қонунҳои асосии электротехника, усули итератсионӣ, инчунин барномасозии компютерӣ истифода шудаанд.

Усулҳои тадқиқот. Барои ноил шудан ба ҳадаф ва ҳалли вазифаҳои ба миён гузоштаи тадқиқоти рисола усулҳои зерини илмӣ истифода шудаанд: таҳлили муқоисавӣ, синтез, қонунҳои асосии электротехника, усулҳои муодилаҳои хаттии алгебравӣ, усули итератсионӣ, барномасозии компютерӣ, баҳодиҳии экспертии миқдор ва сифат, тафсири графикӣ.

Навоарии илмӣ кор иборат аз:

- Дар асоси баҳодиҳии захираҳои манбаъҳои барқароршавандаи энергияи (захираи обӣ энергетикӣ, захираи энергияи офтобӣ ва бод) ҚТ бо назардошти хусусиятҳои ҷуғрофӣ ва иқлимӣ ба низом дароварда шуда, мушкилот ва монеаҳои истифодабарии онҳо, аз ҷумла баҳодиҳии миқдории имкониятҳои аз даст додашуда барои татбиқи барномаи НБОХ муайян карда шуданд;

- барои таъмини дастрасии кафолатнок ба энергияи электрикӣ дар минтақаҳои баландкӯҳ зарурати мақсадноки сохтани комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриякҷинса асоснок карда шуда, таърифи он пешниҳод карда шудааст;

- усули интихоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии манбаъҳои комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриҷинса бо усули итератсионӣ дар шароити баландкӯҳ коркард ва санчида шудааст;
- усули оптимизатсияи тавоноии реактивӣ ва дар сатҳи зарурӣ нигоҳ доштани шиддат дар баромади инвертори НБОф барои беҳтар намудани параметрҳои кори КЭСФ пешниҳод ва санчида шудааст;
- усули ба танзим даровардани сифати энергияи электрикӣ дар КЭСФ таҳия карда шудааст;
- барномаҳои таҳияшуда дар МЭҶ барои сохтор ва речаи кори неругоҳҳои электрикӣ КЭСФ оптимизатсия намудан, имконият медиҳад;
- самаранокии иқтисодии усулҳои пешниҳодшуда исбот карда шудааст.

Аҳамияти амалии кори илмӣ:

1. Таҳияи барнома дар МЭҶ, барои интихоби оптималии иқтидорҳои муқарраршудаи неругоҳҳои барқии комплекси энергетикӣ (НБОф, НББ ва НБОХ) бо усули итератсионӣ, коркард карда шудааст, имконият медиҳад (шаҳодатнома дар бораи бақайдгирии давлатии барномаи компютерӣ барои МЭҶ №2023669848, ки санаи 21.09.2023 с. дар бақайдгирии давлатӣ дар феҳристи барномаҳо барои МЭҶ сабт гардидааст);
2. Таҳияи барнома дар МЭҶ, барои ҳисоби речаҳои оптималии кори комплекси энергетикӣ бо усули симплексӣ коркард карда шудааст (шаҳодатнома дар бораи бақайдгирии давлатии барномаи компютерӣ барои МЭҶ №2023669290, ки санаи 13.09.2023 с. дар бақайдгирии давлатӣ дар феҳристи барномаҳо барои МЭҶ сабт гардидааст);
3. Усулҳои пешниҳодшуда ва натиҷаҳои тадқиқоти гузаронидашуда метавонанд дар ташкилотҳои таъминкунандаи энергия, ташкилотҳои лоихакашӣ ҳангоми лоихакашӣ ва истифодабарии дастгоҳҳои МБЭ вобаста аз шароити маҳаллӣ истифода бурда шаванд (санади татбиқ аз 10/01/2024 №1/90-348 ҚСҚ «Барқи Тоҷик»);
4. Усулҳо, моделҳо ва таъминоти барномасозие, ки дар кор пешниҳод шудааст, дар раванди таълим ҳангоми омӯзиши фанҳои дахлдор истифода мешаванд. (санади татбиқ аз 2 октябри соли 2023 №03/13-108/а филиали Донишгоҳи миллии тадқиқотии ДЭМ дар Душанбе)

Дарачаи эътимоднокии мазмуни илмӣ, натиҷаҳои ба даст омада ва хулосаҳо дар дуруст истифода бурдани асосҳои назариявии электротехника, усулҳои барномасозии хаттӣ, усули итератсионӣ ва моделсозии компютерӣ, ки амалан хуб тасдиқ ва санчида шудаанд дар ҳисобҳои амалӣ васеъ истифода мешаванд, асос ёфтааст.

Натиҷаҳои асосии ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- баҳодиҳии тамоюлҳои ҷорӣ ва имкониятҳои потенциалии истифодаи глобалӣ ва ватании манбаъҳои барқароршавандаи энергия;
- ба низом даровардани мушкилоти мавҷуда ва асосноккунии монеаҳои муосир дар роҳи истифодаи иқтидори мавҷудаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия бо дарназардошти имкониятҳои техникӣ дар баландкӯҳҳо;
- асосноккунии мақсадноки истифодаи КЭСФ барои истифодабарандагони минтақаҳои аҳолинишини дурдаст;
- усули таҳияшудаи интихоби иқтидори муқарраршудаи оптималии манбаъҳои энергияи электрикӣ КЭСФ бо усули итератсионӣ дар шароити баландкӯҳ;

- барномаи таъминоти барои оптимизатсияи сохтор ва речаи кори неругоҳҳои электрикии КЭСФ;
- баҳодиҳии иқтисодии усули интиҳоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии неругоҳҳои барқии КЭСФ бо усули итератсионӣ;
- усули таҳияшудаи нигоҳдории сифати энергияи электрикӣ дар ЭКСФ, бо назардошти хусусияти речаҳои кори инверторҳои НБОф ва қабулкунакҳои электрикии ба он пайваस्तшуда.

Мутобиқати кори диссертатсионӣ бо шиносномаи ихтисос. Кори диссертатсионӣ ба шиносномаи ихтисоси 05.14.01 – Системаҳо ва мучтамаъҳои энергетикӣ мувофиқат мекунад:

Б.1. Коркарди асосҳои (муносибатҳои) илмии омӯзиши хосиятҳо ва принсипҳои умумии қор, усулҳои ҳисоб, алгоритму барномаҳои интиҳоб ва оптимизатсияи параметрҳо, нишондиҳандаҳои сифат ва речаҳои кори системаҳои энергетикӣ, мучтамаъҳо, таҷҳизоти энергетикӣ, ки дар асоси сӯзишвории органикӣ, алтернативӣ ва умуман навҳои барқароршавандаи энергия қор мекунад, инчунин таҷҳизоти асосӣ ва ёрирасони онҳо;

Б.2. Моделсозии математикӣ, тадқиқоти ададӣ ва ҳақиқии равандҳои физикию химиявӣ ва қорӣ, ки дар системаҳо ва таҷҳизоти энергетикӣ дар асоси сӯзишвории органикӣ, алтернативӣ ва навҳои барқароршавандаи энергия, дар таҷҳизоти асосӣ ва ёрирасони онҳо ва дар даври умумии технологияи истехсоли энергияи электрикӣ ва гармӣ, ба амал меоянд;

Б.5. Таҳия ва тадқиқот дар соҳаи сарфаи энергия ва захираҳо ҳангоми истехсоли энергияи гармӣ ва электрикӣ, интиқоли энергияи гармӣ ва электрикӣ ва энергиябарандаҳо дар системаҳо ва мучтамаъҳои энергиятаъминкунӣ;

Б.7. Таҳияи усулҳои рақамӣ ва физикии таҳлил ва назорати параметрҳои речаҳои таҷҳизоти асосии неругоҳҳои электрикӣ, зеристгоҳҳо, шабакаҳои электрикӣ, системаҳои энергетикӣ, системаҳои электротаъминкунӣ ва шабакаҳои электрикии мини- ва микрогридҳо.

Саҳми шахсии муаллиф. Гузоштани мақсад ва вазифаҳо барои ҳалли масъалаҳои оптимизатсияи речаҳои кори КЭСФ дар шароити баландкӯҳ бо ёрии роҳбари илмӣ ва мушовири илмӣ иҷро гаштааст. Муаллиф мустақилона дастгоҳи концептуалии соҳаи тадқиқотро таҳия намуда, таъсири баландкӯҳ ба самаранокии истифодаи МБЭ - ро арзёбӣ намуда, моделҳои оптимизатсияи ҳалли масъалаҳои ба миён гузошташударо таҳия кардааст. Натиҷаҳои асосии кори диссертатсионӣ, ки аз ҷониби муаллиф мустақилона ба даст омадааст инҳоянд:

- имкониятҳои техникӣ ва истифодаи самараноки захираҳои МБЭ дар ҚТ [1-А – 5-А, 13-А – 23-А];
- усули интиҳоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии неругоҳҳои барқии КЭСФ дар шароити баландкӯҳ бо усули итератсионӣ [7-А, 8-А, 9-А 10-А];
- усули оптимизатсияи тавоноии ғайрифайол ва дар сатҳи зарурӣ нигоҳ доштани шиддат дар баромади инвертори НБОф барои бехтар намудани параметрҳои речавии кори КЭСФ [6-А, 12-А];
- барномаи таъминоти барои ҳалли масъалаи оптимизатсияи сохтор ва речаи кори неругоҳҳои барқии КЭСФ;
- усули ба танзим даровардани сифати энергияи электрикӣ дар КЭСФ [6-А, 11-А, 12-А];

Санчиш ва тасдиқи натиҷаҳои кор. Натиҷаҳои асосии рисола дар конфронсҳои зерин баррасӣ ва муҳокима гардидаанд: конфронси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Ҳолат ва дурнамои энергетика дар Тоҷикистон» (ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 22 декабри 2009, Душанбе), конфронси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ бахшида ба 90-солагии М.С. Осимӣ (ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 17 ноябри соли 2011, Душанбе), конфронси ҳаштуми байналмилалии мактаби физикаи гармо (Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АИТ, 22 декабри 2012, Душанбе), конфронси ҷумҳуриявии «Иқтисодиёт ва дурнамои рушди манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» (ДДХ ба номи академик Б. Ғафуров, 12 – 13 ноябри 2015, ш. Хучанд), конфронси илмӣ-амалии «Истиқлолият асоси рушди энергетикаи кишвар» (Институти энергетикаи Тоҷикистон, 22 – 23 декабри соли 2017, шаҳри Бохтар), Конференсияи VI-уми байналмилали «Проблемаҳои муосири физика» бахшида ба 110-солагии академики Академияи илмҳои (АИ) ҶТ С.У. Умаров ва 90-солагии академики АИ ҶТ А.А. Адҳамов (Институти физикаю техники ба номи С.У. Умарови АИ ҶТ, 24 декабри 2018, Душанбе), конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Электроэнергетика: мушкилот ва дурнамои рушди энергетика дар минтақа» (ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 21 декабри 2018, Душанбе), конфронси илмӣ-амалии байналмилалӣ «Захираҳои обу энергетикӣ – асоси татбиқи Даҳсолаи байналмилалии амал «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028»». (филиали ДМТ «ДЭМ» дар Душанбе, 12 апрели 2019, Душанбе), Конфронси 19-уми муҳаққиқони ҷавон дар муҳандисии электротехникӣ ва электронӣ Конфронси IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section (Санкт-Петербург, 27-30 январи соли 2019), 20-умин Конфронси муҳаққиқони ҷавон дар соҳаи электротехника ва электроника Конфронси IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section (Санкт-Петербург, 27-30 январи 2020), конфронси байналмилалии илмӣ ва амалӣ: «Энергетика: Ҳолат ва дурнамои рушд» (ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 20 декабри соли 2022, Душанбе), конфронси байналмилалии илмӣ-техникии донишҷӯён ва аспирантҳо «Радиоэлектроника, электротехника ва энергетика», (Маскав, 16 март). – 18, 2023).

Нашрияҳои асосӣ. Аз рӯи натиҷаҳои тадқиқот 23 мақолаи ҷопӣ ба таъб расидаанд, ки аз инҳо: 5 мақолаи илмӣ дар нашрияҳои тақризи КОА дар назди Президенти ҶТ; 3 мақолаи илмӣ дар нашрияҳои тақризи КОА Федератсияи Россия (ФР); 2 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои конфронсӣ, ки дар базаи маълумотҳои байналмилалии SCOPUS ва IEEE дохил шудаанд, 2 шаҳодатномаи сабти барномаи компютерӣ дар реестри барномаҳои компютери Федератсияи Русия ва 11 мақола дар конфронсҳои байналмилалӣ, ҷумҳуриявӣ ва ғайра.

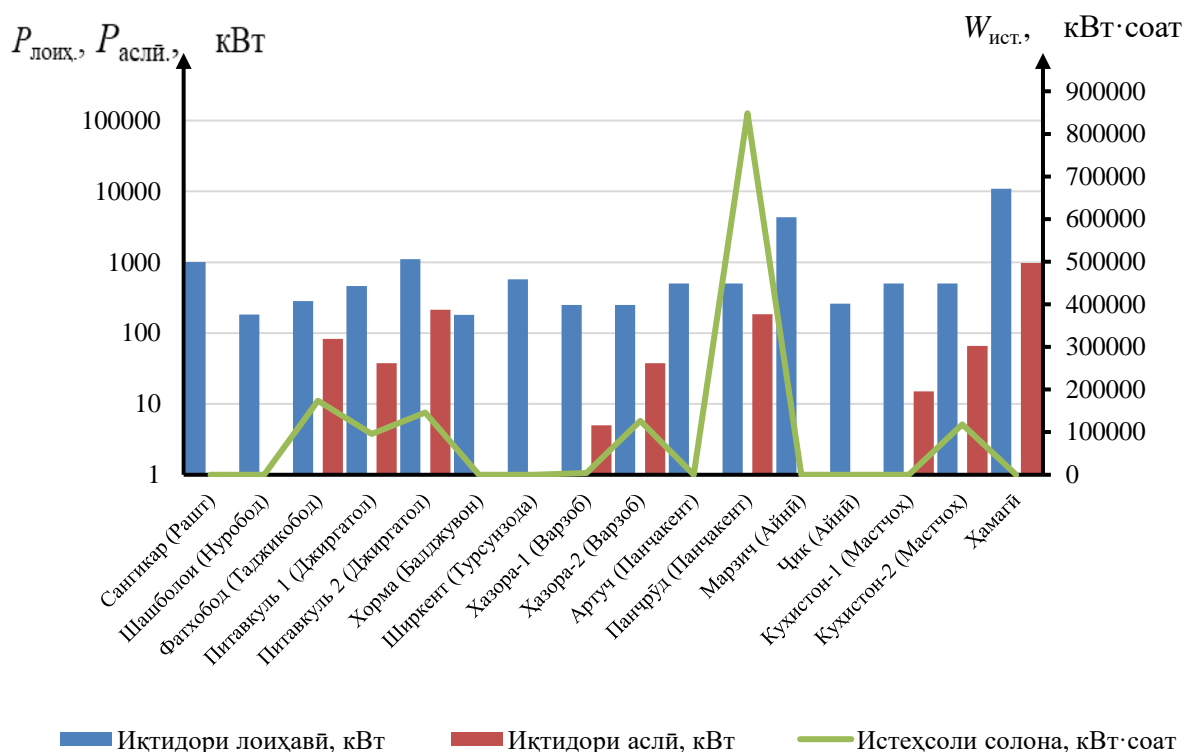
Сохтор ва ҳаҷми рисола. Кори диссертатсионӣ аз муқаддима, се боб, хулоса, рӯйхати адабиёт ва замимаҳо иборат аст. Ҳаҷми умумии рисола 172 саҳифа буда, рӯйхати адабиёт 128 ададро дар бар мегирад.

МУНДАРИҶАИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Муқаддима мубраияти мавзӯро дар бар гирифта, дар асоси таҳлили адабиёт, мақсад ва вазифаҳои тадқиқоти диссертатсиониро ифода менамояд. Навовари илмӣ кор ва аҳамияти амалии он нишон дода шудааст.

Дар боби якум баҳодиҳии захираҳо ва тамоюлҳои рушди МБЭ (потенциалҳои гидроэнергетикӣ, офтоб ва бод) дар ҷаҳон ва дар ҚТ арзёбӣ гардидааст. Саҳми ҚТ дар талошҳои ҷаҳонӣ оид ба рафъи оқибатҳои тағйирёбии иқлим омӯхта шудааст, инчунин, мушкилот ва монеаҳо барои азхудкунии иқтидори МБЭ дар ҚТ таҳлил карда шудааст. Илова бар ин, таъсири баландии ҷойгиршавии КЭСҶ аз сатҳи баҳр ба самаранокии иқтидорҳои истехсолкунанда низ таҳлил шудааст.

Баҳодиҳии МБЭ дар ҚТ бо назардошти хусусиятҳои ҷуғрофӣ ва иқлимӣ он нишон дод, ки дар давоми 10-15 соли охир ба рушди гидроэнергетикаи хурд диққати махсус дода мешавад. Дар ин давра, қариб 300 НБОХ сохта шуданд, вале амалан қариб 80 % ин неругоҳҳо аз сабаби паст будани сатҳи лоиҳакашӣ, қорҳои сохтмонӣ ва истифодабарӣ аз фаъолият бозмондаанд (расми 1).



Расми 1 – НБОХ, ки дар минтақаҳои шимолӣ ва марказии ҚТ сохта шудаанд

Истехсоли умумии лоиҳавии НБОХ – и мазкур 95 054 760 кВт·соат буда, истехсоли солонаи энергияи электрикӣ дар онҳо ҳамағӣ 3 464 660 кВт·соатро ташкил додааст. Нишондиҳандаҳои пасти техникӣ-иқтисодии неругоҳҳои барқи обии хурде, ки дар Тоҷикистон сохта шудаанд, аз мавҷудияти маҷмуи камбудихо ҳангоми лоҳакашӣ, сохтмон ва истифодабарии ин манбаъҳои энергияи электрикӣ шаҳодат медиҳанд.

Натиҷаҳои омӯзиши речаи кори НБОХ дар ҚТ сохташуда омилҳоеро ошкор намуданд, ки дар давоми 20 соли охир пайваста такрор мешаванд ва рушди гидроэнергетикаи рӯдҳои хурди обро бозмедоранд (ниг. ба расми 2). Бартараф намудани омилҳои, ки ба рушди гидроэнергетикаи хурд таъсири манфӣ мерасонанд, имконияти кори дарозмуддат ва самаранокии неругоҳҳои барқи обии хурдро таъмин менамоянд.



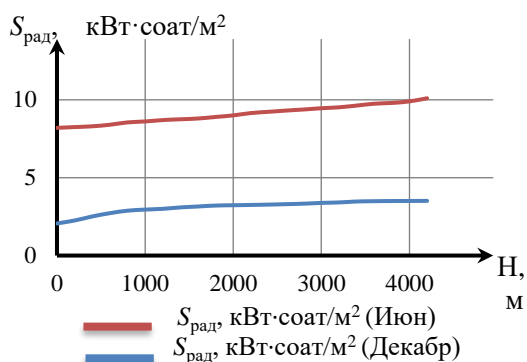
Расми 2 – Омилҳое, ки ба рушди гидроэнергетикаи рӯдҳои хурди оби монӣ мешаванд

Истифодабарии НБОХ дар амалия нишон медиҳад, ки дар минтақаҳои баландкуҳ, ки аз шабакаҳои марказонидашудаи электрикӣ ҷудо мебошанд, дар фасли зимистон ин иншоотҳо бидуни манбаҳои захиравии энергия, талаботи аҳолиро бо энергияи электрикӣ қонеъ карда наметавонанд. Пас, лозим аст, ки барномаҳои тартиб додашудаи тараққиёти энергияи электрикӣ дар деҳот бо илова намудани истифодабарии дигар навъҳои МБЭ аз нав дида баромада шаванд. Масалан, энергияҳои офтоб, шамол ва инчунин биомасса.

Дар шароити ҷумҳурӣ, дар баъзе ноҳияҳои дурдасти кӯҳӣ дар шароити маҳдудияти захираҳои хурди гидроэнергетикӣ дар мавсимҳои гуногуни сол ва аз ҷиҳати техникӣ мураккаб будан ва баланд будани арзиши сохтмони хати интиқоли барқ (ХИБ), истифодаи дастгоҳҳои муосири офтобӣ бо технологияҳои нави пешрафта барои тавлиди энергияи электрикӣ нисбат ба дигар намудҳои манбаи энергия, рақобатпазир шуда истодаанд. Масалан, арзиши 1 кВт иқтидори муқарраршудаи НБОХ дар ин минтақаҳо ба 4500-6500 доллари ИМА мерасад, дар ҳоле ки барои 1 кВт иқтидори НБОф 2500-3000 доллари амрикоӣ лозим аст.

Бояд гуфт, ки шиддатнокии радиатсияи бевоситаи офтоб, ки ба сатҳи перпендикуляр ба шуоъҳо меафтад, аз баландии объект (дастгоҳ) аз сатҳи баҳр вобаста буда ҷӣ қадаре, ки объект аз сатҳи баҳр баланд ҷойгир шуда бошад, ҳамон қадар шиддатнокии радиатсияи офтоб зиёд мешавад (расми 3). Мутаносибан, иқтидори истеҳсолии НОБОф зиёд мешавад, аммо барои генераторҳои НББ ва НБОХ бо баланд шудани ҷойгиршавии онҳо аз сатҳи баҳр иқтидори истеҳсолиашон кам мешавад (расми 4).

Потенсиали энергияи шамол (бод) дар ҶТ бениҳоят нобаробар тақсим карда шудааст ва дар муқоиса бо потенциали захираҳои энергетикаи обӣ ва офтобӣ, захираҳои энергетикаи бодӣ хеле кам мебошанд. Бо вучуди ин, баъзе минтақаҳои ҳастанд, ки суръати шамол барои истифода қобили қабул аст.



Расми 3 – Тағйирёбии радиатсияи офтоб аз баландии сатҳи баҳр

Энергетикаи бодӣ дар Тоҷикистон, пеш аз ҳама, ба омӯзиши бунёдии қисми захиравӣ ва омода намудани мутахассисони маҳаллӣ дар тарҳрезӣ ва нигоҳдории неругоҳҳои бодӣ ниёз дорад.

Боби дуум ба оптимизатсияи речаи кори КЭСҒ дар асоси МБЭ бахшида шудааст. Имконияти ташкили КЭСҒ бо назардошти шароити ҷуғрофӣи ҶТ баррасӣ мешавад. Истилоҳи «комплексии энергетикӣ сохтораш ғайриякҷинса», ки комплексии энергетикӣ дар якҷоягӣ бо МБЭ ифода мекунад, пешниҳод шудааст. Ин маъноӣ онро дорад, ки КЭ танҳо МБЭ (НББ, НБОф ва НБОХ ба сифати аккумулятор дар комплекс) – ро бо назардошти баландии ҷойгиршавии он аз сатҳи баҳр истифода мебарад. Нақшаи сохтори КЭСҒ дар расми 5 нишон дода шудааст. Модели математикӣи объектӣ тадқиқшаванда, бо назардошти речаи кори НБОХ, ҳамчун ҷузъи захиракунандаи КЭСҒ, таҳия карда шудааст (ниг. ба расми 6).

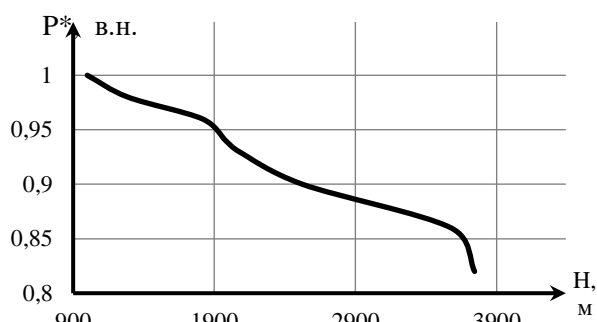


Расми 5 – Нақшаи сохтори КЭСҒ

Дар асоси иҷрои ҳисобҳои сершумор дар модели коркард кардашуда, усул интиҳоби иқтидорҳои оптималии муқарраршудаи манбаҳои энергияи электрикӣ, ҳангоми лоиҳакашии КЭСҒ бо назардошти баландии ҷойгиршавии он аз сатҳи баҳр, коркард карда шудааст, алгоритми он дар расми 7 оварда шудааст.

Моҳияти кори алгоритм чунин аст. Бигзор дар минтақаи баландкӯҳи ихтиёрӣ имконияти насби манбаҳои энергияи электрикӣ (МЭЭ), аз қабилӣ НБОф, НББ ва НБОХ мавҷуд бошад. Барои интиҳоби оптималии иқтидори номиналии муқарраршудаи манбаҳо, маълумоти ибтидоӣ оид ба имконияти насб намудани ягон навъи неругоҳ зарур аст. Агар табиати бор, ҷадвали тағйирёбии он дар мавсимҳои гуногуни сол ва инчунин имкониятҳои техникӣи лоиҳакашӣ ва баҳрабардории манбаҳои диверсификатсияшуда маълум бошад, пас алгоритм имконияти интиҳоби оптималии иқтидори муқарраршудаи неругоҳҳоро медиҳад.

Ҳангоми ҳисоб, талафоти иқтидори фаъолро дар шабакаҳои электрикӣ ба назар гирифта лозим аст. Пас аз коркарди маълумоти ибтидоӣ ва муайян



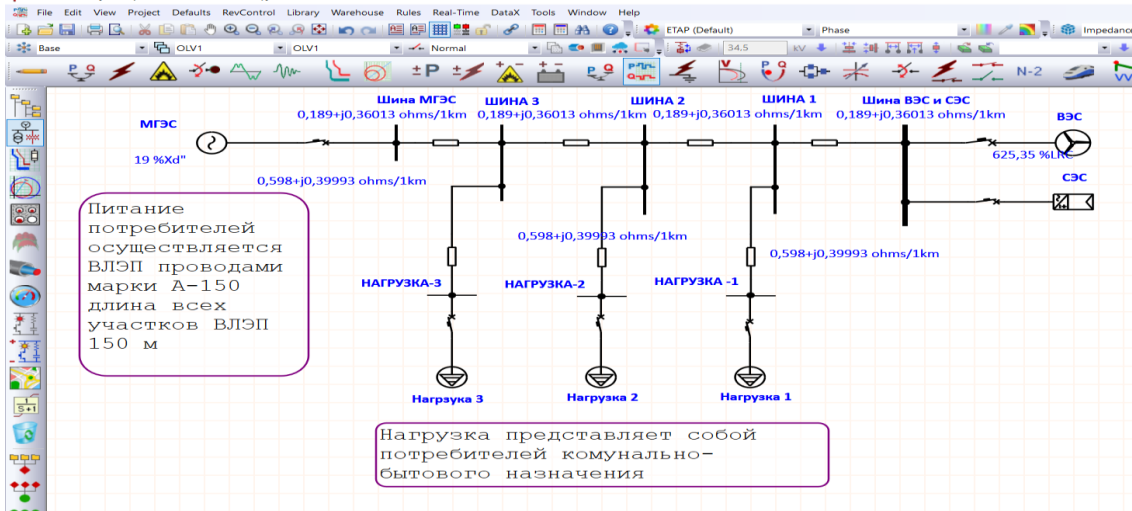
Расми 4 – Ҷадвали тағйироти иқтидори истеҳсоли НББ ва НБОХ (бо воҳиди нисбӣ) аз баландии (H) ҷойгиршавии онҳо аз сатҳи баҳр

кардани варианти имконпазири иқтидори муқарраршудаи МЭЭ, шарти зерин бояд ба назар гирифта шавад:

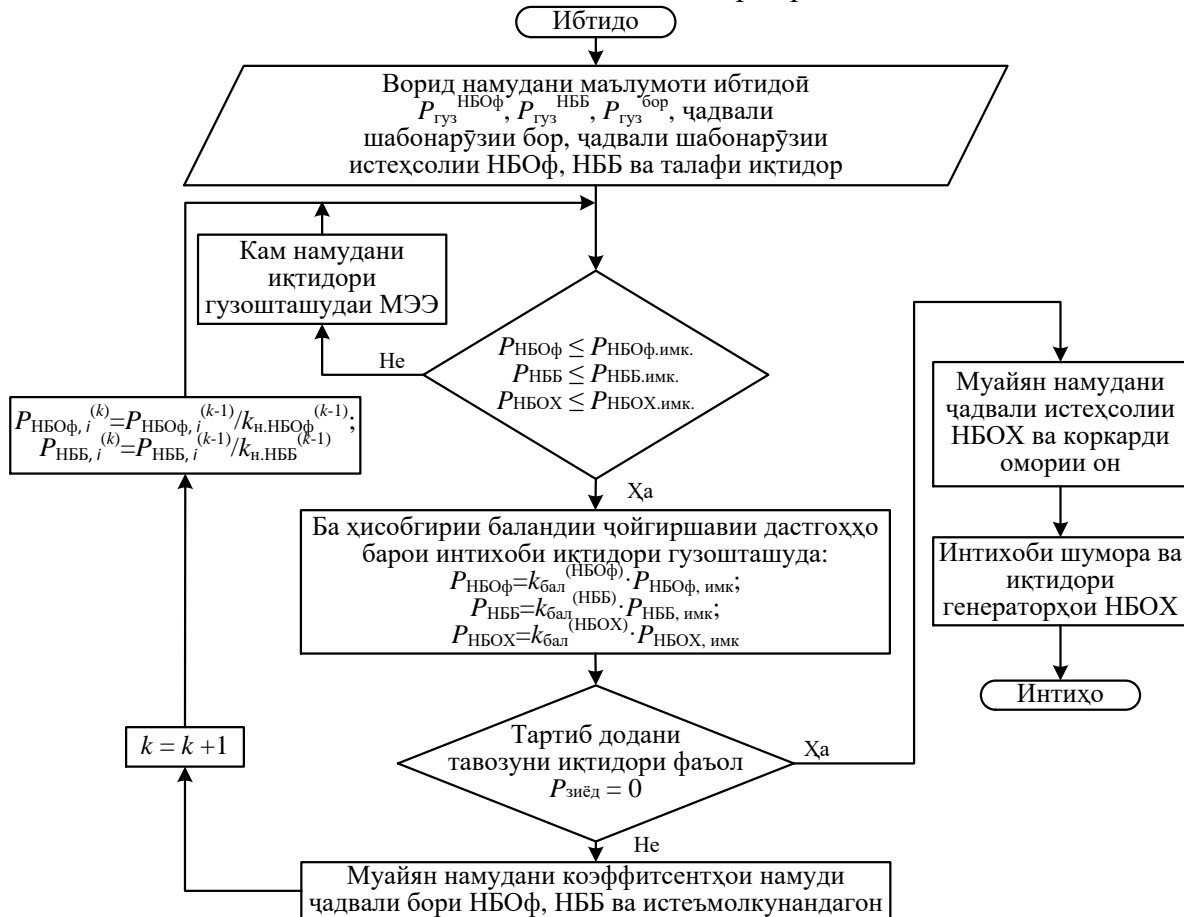
$$P_{\text{ном.мук.}} \leq P_{\text{имк.тех.}} \quad (1)$$

дар ин ҷо: $P_{\text{ном.мук.}}$ – иқтидори муқарраршудаи МЭЭ;

$P_{\text{имк.тех.}}$ – иқтидори техникии имконпазири МЭЭ.



Расми 6 – Модели объекти тадқиқотӣ дар барномаи ETAP-19



Расми 7 – Алгоритми интиҳоби оптималии иқтидорҳои насбшудаи неругоҳҳои барқии (НБОФ, НББ ва НБОХ) комплекси энергетикӣ бо усули итератсионӣ бо назардошти баланди аз сатҳи баҳр

Пас аз он, ҳангоми маълум будани қимати иқтидори истеъмолии бор ва иқтидори истеҳсолӣ дар дилҳоҳ лаҳзаи вақт тавозуни иқтидори фаъл тартиб дода мешавад:

$$\begin{cases} \int_0^k (P_{\text{НББ}}(t) + P_{\text{НБОф}}(t))dt + \int_0^k (P_{\text{НБОХ}}(t))dt = \int_0^k (P_{\text{бор}}(t))dt + \int_0^k (\Delta P_{\text{талаф}}(t))dt; \\ \int_0^k P_{\text{КЭ}}(t)dt = \int_0^k (P_{\text{НБОХ}}(t))dt + \int_0^k (P_{\text{НБОф}}(t))dt + \int_0^k (P_{\text{НББ}}(t))dt - \int_0^k (P_{\text{бор}}(t))dt - \int_0^k (\Delta P_{\text{талаф}}(t))dt \end{cases} \quad (2)$$

Ҳангоми ҳисоб кардан, ба назар гирифтани лозим аст, ки дар ҳар лаҳза шарт:

$$P_{\text{НБОХ}}^i = P_{\text{НБОф}}^i + P_{\text{НБ}}^i - P_{\text{бор}}^i - \Delta P_{\text{талаф}}^i \geq 0 \quad (3)$$

бояд риоя гардад.

Агар шарт (1) риоя нагардад, он гоҳ иқтидори муқарраршудаи манбаъҳои энергияи электрикиро кам кардан лозим аст ва ҳисоб дубора такрор карда мешавад. Ҳангоми иҷро шудани шарт (1) муодилаи тавозуни иқтидор мувофиқи муодилаи (2) тартиб дода мешавад. Агар шарт (3) иҷро шавад, бояд ба назар гирифт, ки ҳангоми ҳисоб кардани интиҳоби иқтидори МЭЭ афзалият ба истифодаи максималии иқтидорҳои тавлидшудаи НБОф ва НББ дода мешавад, зеро дар ин ҳолат об дар барғоби боло барои тавлиди ЭЭ дар НБОХ захира карда мешавад. Бояд гуфт, ки тибқи шарт (3) иқтидори НБОХ набояд аз сифр кам бошад.

Агар шарт (2) иҷро шавад, он гоҳ бояд коркарди омории чадвали бори НБОХ муайян карда шавад ва варианти оптималии шумора ва иқтидори генераторҳои он интиҳоб карда шаванд. Агар шарт (2) иҷро нашавад, пас иқтидори оптималии муқарраршудаи НБОф ва НББ – ро муайян кардан лозим аст. Чустуҷӯи варианти беҳтарини иқтидори муқарраршудаи манбаъҳо бо истифода аз яке аз нишондиҳандаҳои асосии техникӣ-иқтисодии чадвали бор, яъне коэффитсенти шаклӣ, ки тартиби ҳисобкунии он дар формулаи 4 оварда шудааст, амалӣ карда мешавад. Бо донишани чадвали истехсолии НБОф ва НББ метавонем коэффисиенти $K_{\text{Ш}}$ – ро ба осонӣ муайян кунем. Ин коэффитсент ба нисбати қимати миёнаи квадрати иқтидори неругоҳ ба қимати миёнаи иқтидори неругоҳ баробар буда, нобаробарии чадвали борро тавсиф мекунад:

$$K_{\text{Ш}} = \frac{P_{\text{МК}}}{P_{\text{миёна}}} \quad (4)$$

Сипас, иқтидори муқарраршудаи манбаъҳоро (НБОф ва НББ) ба коэффитсентҳои шакл мутаносибан тақсим намуда, қиматҳои нави иқтидори муқарраршудаи НБОф ва НББ – ро муайян менамоем:

$$\begin{cases} P_{\text{НБОф}i}^{k+1} = \frac{P_{\text{НБОф}i}^k}{k_{\text{Ш.НБОф}}^k}; \\ P_{\text{НББ}i}^{k+1} = \frac{P_{\text{НББ}i}^k}{k_{\text{Ш.НББ}}^k} \end{cases} \quad (5)$$

ва ҳисобро боз иҷро менамоем. Раванди итератсионӣ то он даме идома меёбад, ки шартҳои (1) ва (3) иҷро шаванд. Ҳангоми иҷро шудани шартҳои (1) ва (3), ҳисобкунии ба охир мерасад.

Мувофиқи усули коркардкардашудаи муайян намудани иқтидори муқарраршудаи неругоҳҳо, муаллиф барномаи «Барномаи комплексӣ барои интиҳоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии неругоҳҳои (НБОф, НББ ва НБОХ) комплекси энергетикӣ бо усули итератсионӣ» – ро (рақами бақайдгирии барномаи компютерӣ дар «Феҳристи барномаҳои компютерӣ» №2023669848, аз

21 сентябри соли 2023) тартиб дод. Равзанаи ворид намудани маълумот дар барномаи номбурда дар расми 8 нишон дода шудааст.

Чуноне, ки дар боло қайд карда шуда буд, хангоми лоиҳакашии КЭ дар шароити баландкӯҳ вобастагии иқтидори ҳосилшавандаро аз баландии ҷойгиршавии манбаъ аз сатҳи баҳр ба назар гирифтани лозим аст. Барои ин, иқтидори муқарраршудаи ҳар як манбаъ бо ёрии коэффиенти баландӣ танзим карда мешавад.

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ

ФАЙЛ НАСТРОЙКИ

Данные мощностей

№	Рвэс	Рсэс	Рн	Результат
1	45,000	0,000	60,000	45,000
2	30,000	0,000	50,000	30,000
3	13,000	0,000	60,000	13,000
4	13,000	17,365	60,000	30,365
5	68,000	34,202	90,000	102,202
6	92,000	50,000	120,000	142,000
7	36,000	64,279	140,000	100,279
8	47,000	76,604	150,000	123,604
9	65,000	86,603	130,000	151,603
10	72,000	93,969	120,000	165,969
11	47,000	98,481	110,000	145,481
12	18,000	100,000	100,000	118,000
13	14,000	98,481	88,000	112,481
14	72,000	85,981	96,000	157,981
15	100,000	73,481	86,000	173,481
16	74,000	60,981	140,000	134,981
17	10,000	48,481	170,000	58,481
18	40,000	35,981	200,000	75,981
19	46,000	23,481	190,000	69,481
20	58,000	10,000	180,000	68,000

Разные коэффициенты потерь: 0,0015

Цена электроэнергии

За ВЭС: 0,2315
За СЭС: 0,2375
За МГЭС: 0,2561
За наг.: 0,2651

Основные результаты
Графики
Коэффициент корреляции
Избыток
Дефицит

Вычислить
Очистить
Загрузить
Сохранить

05.10.2023 14:07:34

Расми 8 – Равзанаи ворид намудани маълумоти ибтидоӣ ба барнома, барои интихоби оптималии иқтидори нуругоҳҳо

Коэффиенти баландӣ барои НБОф бо формулаи (6) мувофиқи расми 3 муайян карда мешавад:

$$k_{\text{бал}}^{\text{НБОф}} = \frac{S_{\text{рад}}^H}{S_{\text{рад}}^{800}} \quad (6)$$

дар ин ҷо, $S_{\text{рад}}^{800}$ – радиатсия дар баландии базавии 800 метр аз сатҳи баҳр бо кВт·соат/м²; $S_{\text{рад}}^H$ – радиатсия дар баландии H аз сатҳи баҳр бо кВт·с/м².

барои НББ ва НБОХ бошад, бо истифода аз графикаи дар расми 4 овардашуда, муайян карда мешаванд.

Барои ҳар як МЭЭ қимати ниҳии иқтидори муқарраршударо бо назардошти баландии ҷойгиршавии онҳо аз сатҳи баҳр бо формулаҳои зерин муайян кардан мумкин аст:

$$\begin{cases} P_{\text{ном.НБОф}} = k_{\text{бал}}^{\text{НБОф}} \cdot P_{\text{имк.тех.}}^{\text{НБОф}} \\ P_{\text{ном.НББ}} = k_{\text{бал}}^{\text{НББ}} \cdot P_{\text{имк.тех.}}^{\text{НББ}} \\ P_{\text{ном.НБОХ}} = k_{\text{бал}}^{\text{НБОХ}} \cdot P_{\text{имк.тех.}}^{\text{НБОХ}} \end{cases} \quad (7)$$

Ба сифати мисол, натиҷаҳои ҳисобкунии интихоби иқтидори оптималӣ аз рӯи барномаи таҳияшуда, бо назардошти таъсири баландии ҷойгиршавии манбаъҳо ба бузургии иқтидори истеҳсолии онҳо пешниҳод менамоям. Ҳамчун маълумоти ибтидоӣ, иқтидори иштирокчиёни манбаъҳои комплекси энергетикӣ ба $P_{\text{НБОф}}^{\text{мук}} = 100$ кВт, $P_{\text{НББ}}^{\text{мук}} = 100$ кВт, $P_{\text{бор}}^{\text{мак}} = 200$ кВт баробар мегирем.

Натиҷаҳои ҳисоби барнома барои итератсияи якум бо назардошт ва беназардошти баландии ҷойгиршавии КЭСҒ аз сатҳи баҳр, муттаносибан дар расмҳои 9а ва 9б, дар итератсияи охирин (панҷум) бошад – дар расмҳои 10а ва 10б нишон дода шудаанд.

Барномаи таҳияшудаи «Барномаи комплексӣ барои интихоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии неругоҳҳои (НБОф, НББ ва НБОХ) комплекси энергетикӣ бо усули итератсионӣ» дар ҳар як қадами итератсионӣ, оптимизатсияи қиматҳои иқтидорҳои муқарраркардашудаи МЭЭ КЭСҒ – ро бо назардошти ҷойгиршавии онҳо аз сатҳи баҳр ва хусусиятҳои иқлимӣ, нишондиҳандаҳои иқтисодии КЭСҒ – ро беҳтар менамояд (ниг. ба расмҳои 11 ва 12). Натиҷаҳои оптимизатсиякунонӣ нишон доданд, ки иқтидори умумии МЭЭ КЭСҒ дар итератсияи якум 324 кВт, баъди оптимизатсия (итератсияи панҷум) бошад, 255,34 кВт – ро ташкил дод, яъне то 27 % кам карда шуд.

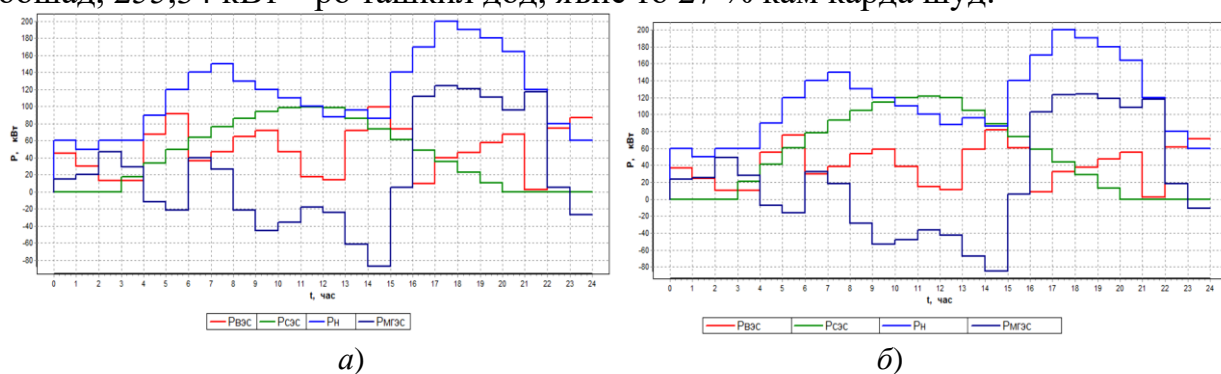


Рисунок 9 – Ҷадвали ҳаррӯзаи истеҳсоли иқтидори манбаъҳои ЭЭ (НБОф, НББ ва НБОХ) ва бори истеъмолкунанда дар итератсияи аввал бе назардошт (а) ва боназардошти (б) и ҷойгиршавии КЭСҒ аз сатҳи баҳр

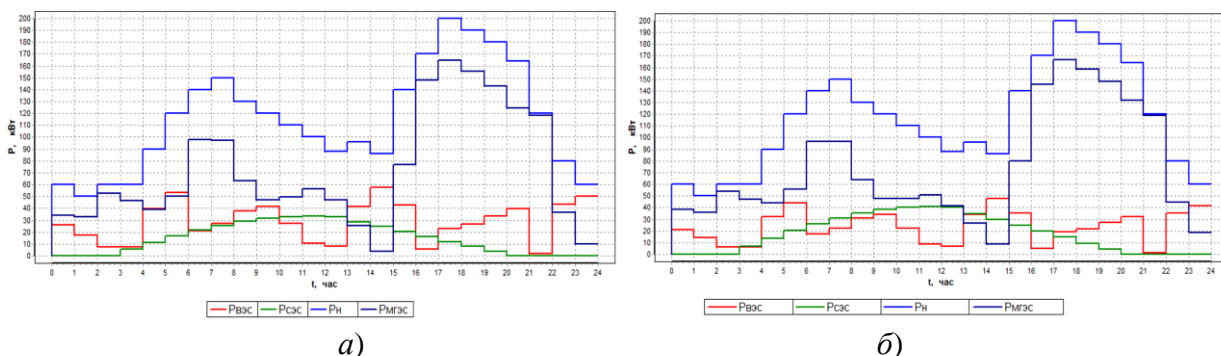
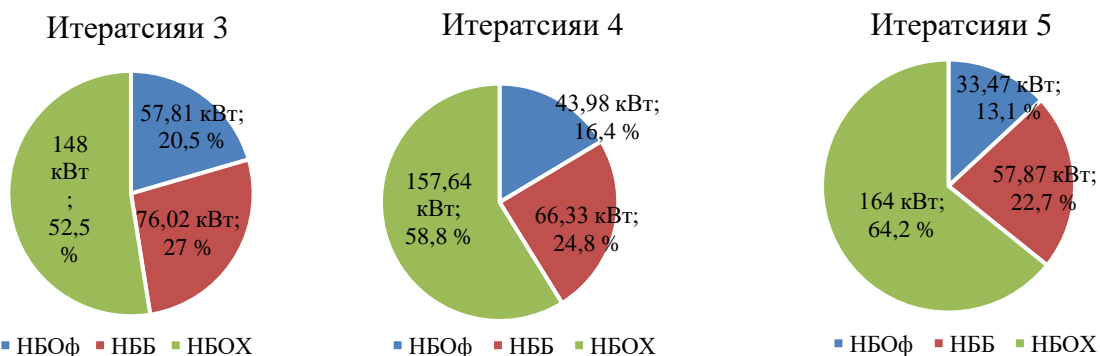


Рисунок 10 – Ҷадвали ҳаррӯзаи истеҳсоли иқтидори манбаъҳои ЭЭ (НБОф, НББ ва НБОХ) ва бори истеъмолкунанда дар итератсияи охир (панҷум) бе назардошт (а) ва боназардошти (б) и ҷойгиршавии КЭСҒ аз сатҳи баҳр

Сарфай маблағгузориҳои асосӣ 420000 сомони ро ташкил дод. Иқтидори бор дар ин ҳолат тағйир намеёбад ва 200 кВт боқӣ мемонад. Қимати оптималии арзиши аслии энергияи электрикии КЭСҒ 0,042 сомонӣ/кВт·соат – ро ташкил медиҳад.

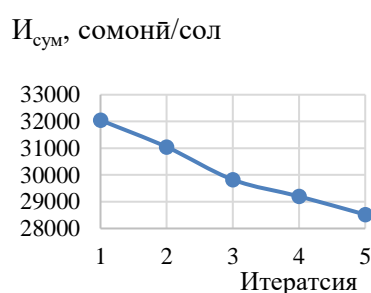




Расми 11 – Натиҷаҳои интихоби иқтидори муқарраршудаи нуругоҳҳои КЭ дар итератсияҳои 1 ÷ 5



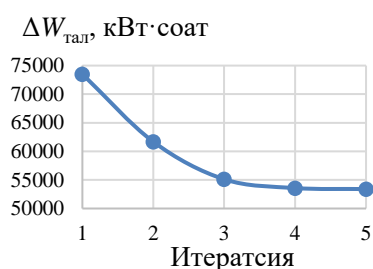
а) Тағйирёбии маблағгузориҳои умумии КЭСҒ, вобаста ба қадами итератсионӣ



б) Тағйирёбии хароҷоти КЭСҒ, вобаста ба қадами итератсионӣ



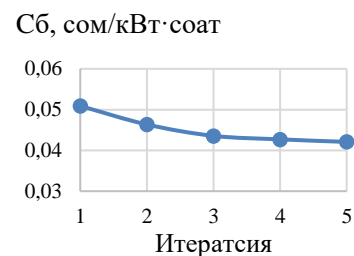
в) Тағйирёбии хароҷоти умумии КЭСҒ, вобаста ба қадами итератсионӣ



г) Тағйирёбии талафоти умумии энергияи электрикии КЭСҒ, вобаста ба қадами итератсионӣ



д) Тағйирёбии фондаи умумии КЭСҒ, вобаста ба қадами итератсионӣ



е) Тағйирёбии арзиши аслии умумии КЭСҒ, вобаста ба қадами итератсионӣ

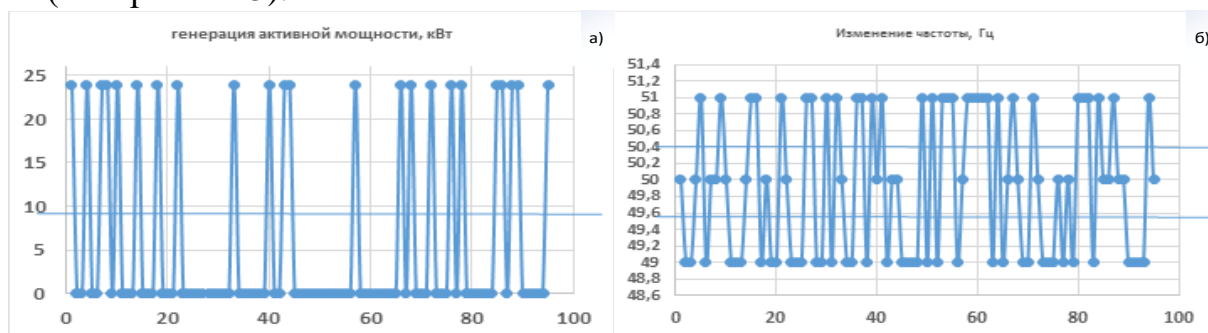
Расми 12 – Нишондиҳандаҳои техникӣ ва иқтисодии методикаи интихоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии нуругоҳҳои барқии насбшудаи (НБОф, НББ ва НБОХ) КЭСҒ бо усули итератсионӣ

Бо ёрии барномаи «Барномаи комплексӣ барои интихоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии нуругоҳҳои (НБОф, НББ ва НБОХ) комплекси энергетикӣ бо усули итератсионӣ» интихоби оптималии иқтидори номиналии нуругоҳҳои электрикӣ, ҳамчун иштирокчиҳои КЭСҒ бо назардошти хусусиятҳои табиӣ НББ (графикаи тағйирёбии суръати шамол ва афзоиши шамол), НБОф (графикаи радиатсияи офтоб) ва НБОХ (гидрология ва потенциали дарёҳо), мумкин аст.

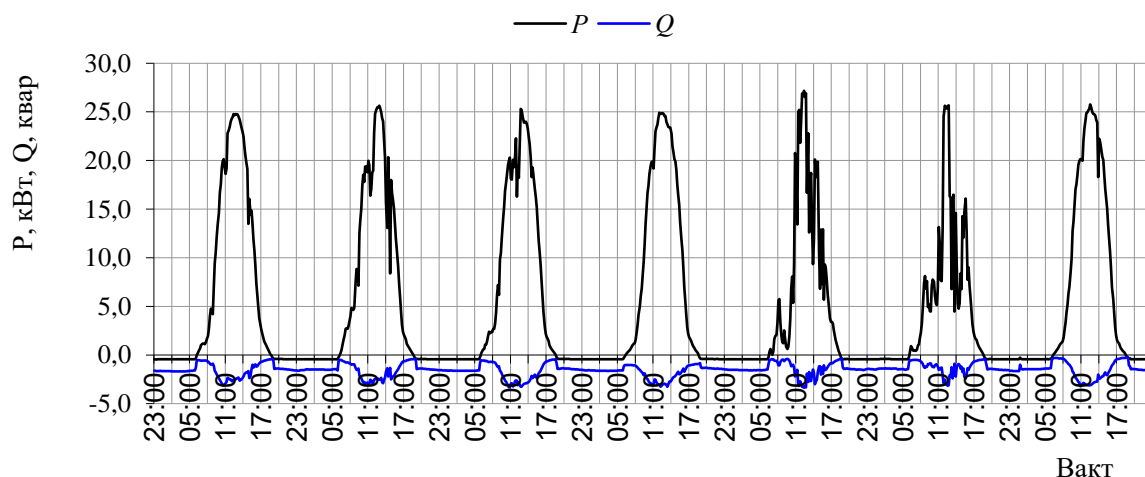
Дар боби сеюм усули ниғаҳдории СЭ мувофиқи меъёрҳои стандартӣ дар КЭСҒ пешниҳод карда шудааст. Ноустувории ҳаҷми интиқолдиҳандагони энергияи ибтидоӣ (об, шамол ва радиатсияи офтоб) ба назар гирифта, нигоҳдоштани нишондиҳандаҳои СЭ (НСЭ) мувофиқи меъёрҳои стандартӣ дар КЭСҒ яке аз вазифаи муҳим мебошад. Бо ин мақсад, ченкуниҳои сершумори НСЭ ва

речаҳои кори қабулкунакҳои ЭЭ, ки ба КЭСҶ пайваст буда, гузаронда шудаанд. Натиҷаҳои ченкунии нишон доданд, ки НСЭ дар КЭСҶ ба талаботи меъёри ҷавобгӯ нестанд (ниг. расми 13). Муаллиф барои таъмини устувории кори инверторҳои мустақил, насби оптималии нуқтаҳои пайвасти дастгоҳҳои ҷубронкунандаи иқтидори ғайрифазол пешниҳод менамояд. Барои инверторҳои шабакавӣ, дар нуқтаи пайвастшавӣ ба шабака насб кардани трансформаторҳои танзимкунандаи шиддат пешниҳод карда мешавад, зеро ҳангоми қимати басомад ва шиддати шабака аз меъёрҳои муқарраршуда берун шудан: $\pm 0,4$ Гц барои басомад ва $\pm 10\%$ барои майлқунии шиддат, НБОф аз шабака ҷудо шуда, дар речаи гашти ҳоли мустақилона кор мекунад ва иқтидори фазол ва ғайрифазолро инвертор аз шабака истеъмол мекунад (ниг. расми 14).

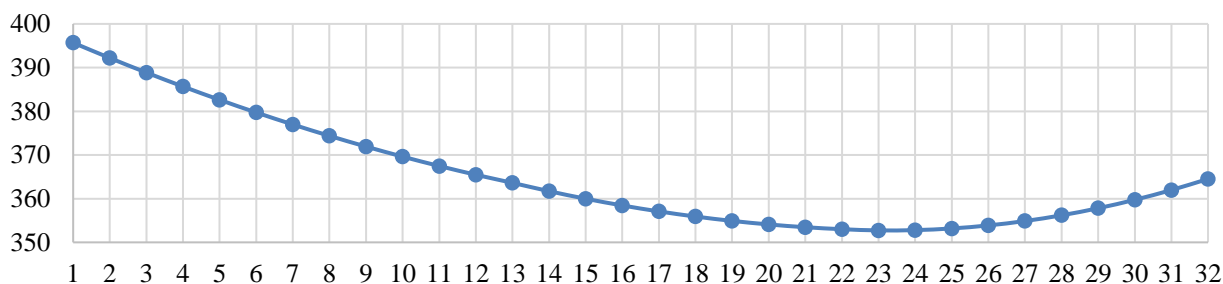
Речаҳои кори ХИБ – и ҳавоӣ ҳангоми пайваст будани НБОф дар охири хат, НББ ва НБОХ бошад, дар аввали ХИБ ҷойгир будан, таҳқиқ карда шуд. Модели қитъаи баррасишаванда дар расми 6 нишон дода шудааст. Мувофиқи натиҷаҳои ҳисоб дар ин реча шиддат дар аввал ва охири ХИБ, назар ба мобайни он баландтар аст (ниг. расми 15).



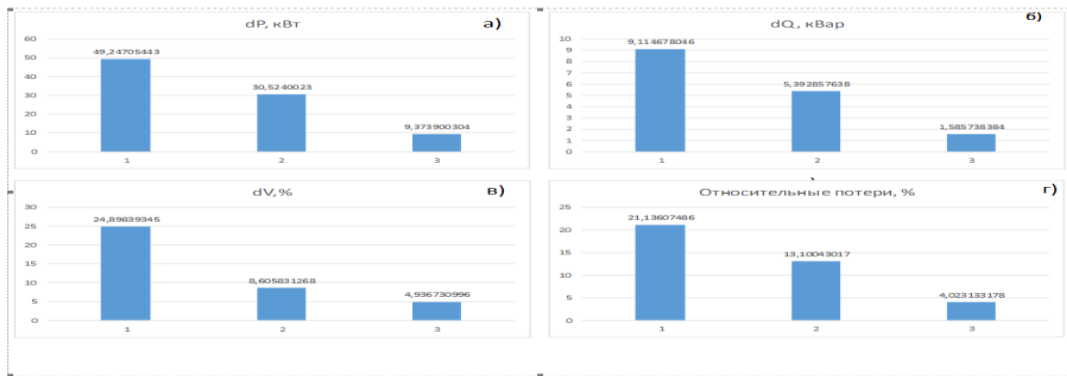
Расми 13 – Ҷадвали тағйирёбии: а) басомад, б) истехсоли ЭЭ дар бандакҳои инверторҳо



Расми 14 – Натиҷаҳои ченкунии иқтидори 3-фазаи фазол ва ғайрифазол дар баромади инверторҳо



Расми 15 – Тағйирёбии шиддат дар ХИБ – и шоҳроҳии 0,4 кВ



Расми 16 – Тағйироти: а) - талафоти иқтидори ғаёол, б) - талафоти иқтидори ғайифаёол, в) – майлқунии шиддат дар гирехҳо, г) - талафоти нисбии иқтидор

Дар мавриди яқум, ки ҳамаи МЭЭ КЭСҶ дар аввали ХИБ ҷойгир шудаанд, талафоти нисбии иқтидор 21,13 %, дар мавриди дуввум, ҳангоми НББ ва НБОХ дар аввал ва НБОф дар охири ХИБ будан – 13,1 % ва дар мавриди сеюм бошад (ҳангоми НББ ва НБОХ дар аввал ва НБОф дар охири ХИБ будан бо ҷубронқунии иқтидори ғайрифаёол), 5 % – ро ташкил дод. Талафоти иқтидор дар мавриди дуввум нисбат ба талафот дар мавриди яқум то 8 % кам мешавад ва дар мавриди сеюм бошад, ба 17 % баробар мебошанд.

Дар натиҷаи оптимизатсияқуний майлқунии шиддат дар гирехҳо 4,9 % – ро ташкил медиҳад, ки зарурияти оптимизатсия қардани иқтидори ғайифаёол ва ҷойгирқунии таҷҳизоти ҷубронқуниро дар шабакаи баррасишавандаро тасдиқ мекунад (ниг. расми 16).

ХУЛОСА ВА НАТИҶАҶОИ АСОСИ

1. Баҳодиҳии захираҳои МБЭ (потенциалҳои об, офтоб ва бод) дар ҷаҳон ва ҚТ, инчунин ҷенқунии инфиродии параметрҳои қори қабулқунақҳои электриқии муосири коммуналӣ ва НБОф – и мавҷуда дар ш. Душанбе бо назардошти хусусиятҳои ҷуғрофӣ ва иқлимии он **гузаронида шуд** [1-М], [2-М], [4-М], [5-М], [11-М], [12-М], [13-М], [14-М], [15-М], [16-М], [17-М], [19-М], [21-М].

2. Мушкилот ва монеаҳои истифодабарии захираҳои дастраси МБЭ дар Тоҷикистон бо назардошти имкониятҳои техникӣ **муайян қарда шуданд** [5-М], [18-М], [20-М], [22-М], [23-М].

3. **Муқаррар қарда шудааст**, ки инверторҳои шабақавӣ дар речаи қори дилқоҳ аз шабақа иқтидори ғайрифаёолро истеъмол мекунанд. Дар речаи гашти ҳоли иқтидори ғайрифаёоли истеъмолшуда 5 % – и иқтидори муқарраршударо ташкил медиҳад ва ҳангоми пурбории инвертор иқтидори фаёоли истеъмолшуда нисбат ба иқтидори фаёоли табдилшуда ба 15 % мерасад [6-М].

4. Усули интиҳоби иқтидори оптималии манбаъҳои ЭЭ дар КЭСҶ **пешниҳод қарда шудааст**, ки имконияти ба назар гирифтани таъсири баландии ҷойгиршавии манбаъҳои ЭЭ аз сатҳи баҳро медиҳад. Барои интиҳоби варианти беҳтарин иқтидори манбаъҳои КЭСҶ усули итератсионӣ бо истифодаи яке аз параметрҳои техникӣ-иқтисодии ҷадвали бор - коэффитсентии шакл истифода шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо зиёд шудани баландии ҷойгиршавии КЭСҶ аз сатҳи баҳр, иқтидори истеҳсолии НБОф афзуда, иқтидори истеҳсолии НБОХ ва НББ бошад, қоҳиш меёбад. Дар асоси усули пешниҳодшуда барномаҳои комплекси «Барномаи комплекси барои интиҳоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии неругоҳҳои (НБОф, НББ ва НБОХ) комплекси энергетикӣ бо усули итератсионӣ» ва «Барнома барои ҳисобқунии речаҳои оптималии комплекси энергетикӣ бо усули симплексӣ» **таҳия қарда шудаанд** [3-М], [7-М], [8-М], [9 - М], [10-М].

5. Усули нигоҳ доштани СЭ мувофиқи меъёрҳои стандарти дар КЭСФ, ки аз НББ, НБОф ва НБОХ иборат мебошад ва барнома дар МЭҶ таҳия шудааст, ки имконияти интихоби оптималии иқтидорҳои муқарраршудаи неругоҳҳои электрикии КЭСФ –ро бо усули итератсионӣ (шаҳодатномаи бақайдгирии давлатии барнома барои МЭҶ №2023669848, санаи бақайдгирии давлатӣ дар реестри барномаҳои МЭҶ 21.09.2023с.) медиҳад [6-М].

6. Самаранокии иқтисодии усули пешниҳодшудаи интихоби оптималии иқтидорҳои муқарраршудаи неругоҳҳои электрикии КЭСФ бо усули итератсионӣ шароити баландкӯҳҳо, **ҳисоб карда шудааст** [9-М], [10-М].

7. Барои беҳтар кардани параметрҳои речавии КЭСФ бо назардошти бор, усули оптималии чубронкунии иқтидори ғайрифазол **пешниҳод карда шудааст** [6-М], [10-М].

ТАВСИЯҶО БАРОИ ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҶО

Таҳқиқоти анҷомёфта шаҳодат аз он медиҳад, ки истифодаи комплекси дастгоҳҳои исҳолкунандаи ЭЭ дар асоси МБЭ дар таркиби КЭСФ буда имкон медиҳад, ки самаранокии истифодаи иқтидорҳои муқарраршудаи НБОХ дар минтақаҳои баландкӯҳи ҚТ сохташударо баланд бардошта, кафолати дастрасӣ ба ЭЭ –ро таъмин менамояд. Рӯйкардҳои методии усулҳо ва моделҳои дар қор пешниҳодшуда, метавонанд дар дигар минтақаҳо, ки шароити табию иқлимӣ якхела ва дастрасии мувофиқ ба захираҳои ибтидоии барқароршавандаи энергия доранд, истифода шаванд. Барномаҳои комплекси таҳияшуда имкон медиҳанд, ки сохтори КЭСФ –ро оптимизатсия карда, интихоби иқтидори муқарраршудаи неругоҳҳои барқии онро асоснок ва СЭ –ро дар шабакаи маҳаллӣ таъмин намоянд. Натиҷаҳои ҳисобии самаранокии иқтисодии моделҳо ва усулҳои пешниҳодшуда мақсаднокӣ ва техникӣ – иқтисодии онҳоро тасдиқ менамоянд.

Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ барои истифода дар лоиҳакашӣ ва истифодабарии КЭ дар минтақаҳои ғайримарказонидашудаи электротаяминкунӣ бо назардошти ҷойгиршавии дастгоҳҳои табдилдиҳандаи захираҳои аввалаи энергетикӣ барқароршаванда аз сатҳи баҳр, инчунин дар раванди таълим дар муассисаҳои олий барои фанҳои ба омӯзиш ва истифодабарии МБЭ алоқаманд, тавсия дода шудаанд, бо татбиқи санадҳои замимашуда тасдиқ карда мешавад.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМӢ АЗ РӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Наирияхо дар маҷаллаҳои илмие, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Россия эътироф намудаанд:

[1-А]. **Ганиев З.С.** Обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для покрытия дефицита мощности в Республике Таджикистан / В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Д.С. Ахъёев / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – №1 – 2. С. 139 – 142.

[2-А]. **Ганиев З.С.** Оценка доступности энергетических ресурсов за счет солнечной радиации в Республике Таджикистан / В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Ш.М. Султонов / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – №1. – С. 174 – 177.

[3-А]. **Ганиев З.С.** Влияние местности на определение потенциала возобновляемых источников энергии / А.К. Киргизов, З.С. Ганиев, Р.А. Джалилов / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – №1(41). – С. 34 – 46.

[4-А]. **Ганиев З.С.** К вопросу об использовании солнечных энергоустановок в условиях Республики Таджикистан / З.С. Ганиев, Ш.Д. Самади, М.Х. Содиков, Р.И. Каримов / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – №3(47). – С. 32 – 40.

[5-А]. **Ганиев З.С.** Причины дефицита электроэнергии в энергосистеме и роль Рогунской гидроэлектростанции в достижении энергетической

безопасности Республики Таджикистан / Ш.Д. Самади, З.С. Ганиев, Х.Б. Назиров / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – №2(54). – С. 11 – 15.

[6-А]. **Ганиев З.С.** Оценка режима работы инверторов солнечных электростанций с точки зрения обеспечения качества электроэнергии / Х.Б. Назиров, С.А. Абдулкеримов, З.С. Ганиев, Ш.Д. Джураев, Д.С. Ахъев / Электротехнические системы и комплексы. – 2023. – №1(58). – С. 31 – 38.

[7-А]. **Ганиев З.С.** Методика выбора оптимальных установленных мощностей источников электрической энергии ЭЖ / З.С. Ганиев / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – №3(63). – С. 33 – 41.

[8-А]. **Ганиев З.С.** Оценка влияния высокогорья на генерируемую мощность возобновляемых источников энергии / А.Д. Ахророва, З.С. Ганиев, / Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – №4(64). – С. 38 – 45.

Барномаҳои барои МЭҶ ба қайд гирифташуда:

[9-А]. Ганиев З.С. Программа для оптимального выбора установленных мощностей электростанции (ВЭС, СЭС и МГЭС) энергокомплекса итерационным методом / Ш.Д. Джураев, Ш.А. Бобоев, Ш.Д. Самади, Х.Б. Назиров, С.А. Абдулкеримов, З.С. Ганиев / Внесен в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023669848, 21.09.2023. Заявка № 2023668688 от 11.09.2023.

[10-А]. Ганиев З.С. Программа для расчета оптимальных режимов работы энергокомплекса симплекс-методом / С.Т. Исмоилов, Р.И. Каримов, Ш.А. Бобоев, С.А. Абдулкеримов, Х.Б. Назиров, З.С. Ганиев / Внесен в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023669290, 13.09.2023. Заявка № 2023668679 от 11.09.2023.

Мақолаҳои ки дар конференсияи илмии пойгоҳи байналмилалӣ баррасишавандаи SCOPUS, Web of Science нашр шудаанд:

[11-А]. Ganiev Z.S. Measurement of emissions of high harmonic currents in modern electrical receivers in municipal-households power supply system / K.B. Nazirov, S.D. Dzhuraev, Z.S. Ganiev, M.M. Kamolov, A.S. Amirkhanov // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. – January 27 - 30, 2020, St. Petersburg. – St. Petersburg, Russia, 2020. – P. 1270 – 1275.

[12-А]. Ganiev Z.S. Experimental evaluation and analysis of electric power quality in electric net-works municipal-households / K.B. Nazirov, S.D. Dzhuraev, Z.S. Ganiev, M.M. Kamolov, S.T. Ismoilov, A.G. Kayumov // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2021. – January 26 – 29, 2021, St. Petersburg. – St. Petersburg, Russia, 2021. – P. 1169 – 1172.

Мақолаҳо дар маводи конференсия:

[13-А]. **Ганиев З.С.** Эффективное использование возобновляемых источников энергии в Таджикистане / К. Кабутов, З.С. Ганиев, Х.М. Ахмедов, А. Абдурасулов, Т. Салимов // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Состояние и перспективы энергетики Таджикистана». ТТУ им. академика М Осими, 22 декабря, г. Душанбе. – Душанбе, 2009. – С. 16 – 20.

[14-А]. **Ганиев З.С.** Комбинированное использование ВИЭ для энергообеспечения горных сель / З.К. Кабутов, М.Б. Иноятов, Х. Шеров, К. Кабутов, З.С. Ганиев // Материалы Республиканской научно-практической

конференции «Состояние и перспективы энергетики Таджикистана». ТТУ им. академика М Осими, 22 декабря, г. Душанбе. – Душанбе, 2009. – С. 21 – 25.

[15-А]. **Ганиев З.С.** Принципы и возможности использования ветровых электростанций / К. Кабутов, М.Б. Иноятов, З.С. Ганиев // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 90 летию М.С. Осими, г. Душанбе. – Душанбе ЭР Граф, 2011. – С. 144 – 151.

[16-А]. **Ганиев З.С.** Энергообеспечение сельского населения комплексным использованием ВИЭ / К. Кабутов, З.С. Ганиев // Материалы Восьмой Международной конференции теплофизической школы, 22 декабря, г. Душанбе. – Душанбе, 2012. – С. 569 – 574.

[17-А]. **Ganiev Z.S.** Investigation of self excited induction generator for micro-hydro applications / Arshad Ali, Khasan Karimov, M. Umair Khan, Z. Kabutov, Z.S. Ganiev // Сборник докладов на конференции «Экономика и перспективы развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан». ХГУ им. академика Б.Гафурова, 12 – 13 ноября, г. Худжанд. – Худжанд, 2015. – С. 177 – 187.

[18-А]. **Ганиев З.С.** Учет особенностей местных географических факторов при проектировании малых ГЭС / З.С. Ганиев, А.К. Киргизов // Материалы научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», 22 – 23 декабря, г. Бохтар. – Бохтар, 2017. – С. 273 – 276.

[19-А]. **Ганиев З.С.** Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов Республики Таджикистан / Д.Д. Давлатшоев, З.С. Ганиев // Материалы VI - ой международной конференции «Современные проблемы физики» посвящённой 110 – летию академика Академии наук Республики Таджикистан С.У. Умарова и 90 – летию академика Академии наук Республики Таджикистан А.А. Адхамова, г. Душанбе, ФТИ им. Академика С.У. Умарова. – Душанбе, 2018. – С. 316 – 320.

[20-А]. **Ганиев З.С.** Использование водных ресурсов для решения первоочередных задач Республики Таджикистан / Д.Д. Давлатшоев, Х.Б. Назиров, З.С. Ганиев // Материалы Международной научно – практической конференции: Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона, г. Душанбе, ТТУ имени академика М.С. Осими. – Душанбе: «Промэкспо», 2018. – С. 380 – 384.

[21-А]. **Ганиев З.С.** Анализ гидроэнергетических ресурсов Республики Таджикистан / З.С. Ганиев, Р.С. Ишан–Ходжаев, Х.Б. Назиров, Б.А. Гаюров // Материалы международной научно-практической конференции «Водно - энергетические ресурсы – основа реализации международного десятилетия действия «Вода для устойчивого развития, 2018 – 2028 годы», 12 апреля, г. Душанбе. – Душанбе, 2019. – С. 28 – 33.

[22-А]. **Ганиев З.С.** Перспективы развития солнечной энергетики в Республики Таджикистан / З.С. Ганиев, Р.С. Ишан – Ходжаев, Ш.Дж. Джураев, С.Т. Исмоилов // Материалы международной научно-практической конференции: «Энергетика: Состояние и перспективы развития», 20 декабря, г. Душанбе: ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими. – Душанбе, 2022. – С. 377.

[23-А]. **Ганиев З.С.** Диверсификация использования природных ресурсов в 21 веке / М.Н. Давлятова, З.С. Ганиев // Доклад на Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов 16–18 марта 2023 г. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика, Москва, С. 1202.

ШАРҲИ МУХТАСАРИ

диссертатсияи Ғаниев Зокирҷон Султонович дар мавзуи: «**Оптимизатсияи речаҳои кори комплекси энергетикӣ дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар шароити баландкӯҳ**», ки барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.14.01 – Системаҳо ва мучтамаъҳои энергетикӣ пешниҳод шудааст.

Калидвожаҳо: манбаъҳои барқароршавандаи энергия, комплекси энергетикӣ, оптимизатсия, реча, баландкӯҳҳо.

Аҳамияти мавзуи рисола дар ҳалли масъалаҳои назариявӣ ва амалии таъмини дастрасӣ ба энергияи электрикӣ дар минтақаҳои баландкӯҳ дар асоси истифодаи моделҳои оптимизатсионӣ барои баланд бардоштани самаранокии КЭСҒ иборат мебошад.

Мақсади кори диссертационӣ дар асосноккунии сохтани комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриякҷинса дар шароити баландкӯҳ бо манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва оптимизатсияи иқтидорҳои истеҳсолии он мебошад.

Навгонии илмии кор: дар асоси баҳодихии захираҳои манбаъҳои барқароршавандаи энергия (захираи обӣ энергетикӣ, захираи энергияи офтобӣ ва бод) ҚТ бо назардошти хусусиятҳои ҷуғрофӣ ва иқлимӣ ба низом дароварда шуда, мушкилот ва монеаҳои истифодабарии онҳо, аз ҷумла камбудӣ дар татбиқи барномаи НБОХ муайян карда шуданд; барои таъмини дастрасии кафолатнок ба энергияи электрикӣ дар минтақаҳои баландкӯҳ зарурати сохтани комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриякҷинса (ЭКСҒ) асоснок карда шуда, таърифи он пешниҳод карда шудааст; усули интихоби иқтидорҳои муқарраршудаи оптималии манбаъҳои комплекси энергетикӣ сохтораш ғайриякҷинса бо усули итератсионӣ дар шароити баландкӯҳ коркард ва санчида шудааст; усули оптимизатсияи тавоноии реактивӣ ва дар сатҳи зарурӣ нигодоштани шиддат дар баромади инвертори НБОф барои беҳтар намудани параметрҳои кори КЭСҒ пешниҳод ва санчида шудааст; усули ба танзим даровардани сифати энергияи электрикӣ дар КЭСҒ, ки аз НББ, НБОф ва НБОХ иборат мебошад, таҳия карда шудааст; барномаҳои таҳия шуда дар МЭҲ барои сохтор ва речаҳои кори неругоҳҳои электрикӣ КЭСҒ оптимизатсия намудан имконият медиҳад; самаранокии иқтисодӣ ва усулҳои пешниҳодшуда исбот карда шудааст.

Аҳамияти амалии кори илмӣ. Барномаҳо барои МЭҲ, ки имконияти интихоби оптималии иқтидорҳои муқарраршудаи неругоҳҳои барқии комплекси энергетикӣ (НБОф, НББ ва НБОХ) бо усули итератсионӣ ва ҳисоби речаҳои кори оптималии комплекси энергетикӣ бо усули симплексӣ коркард шудаанд. Натиҷаҳои тадқиқоти гузаронидашуда метавонанд дар ташкилотҳои таъминкунандаи энергия, ташкилотҳои лоиҳакашӣ, ҳангоми лоиҳакашӣ ва истифодабарии дастгоҳҳои МБЭ вобаста аз шароити маҳаллӣ истифода бурда шаванд. Усулҳо, моделҳо ва таъминоти барномасозие, ки дар қор пешниҳод шудааст дар раванди таълим ҳангоми омӯзиши фанҳои дахлдор дар филиали ДМТ «ДЭМ» истифода мешаванд.

Сохтор ва ҳаҷми рисола. Кори диссертационӣ аз муқаддима, се боб, хулоса, рӯйхати адабиёт ва замимаҳо иборат аст. Ҳаҷми умумии рисола 172 саҳифа буда, рӯйхати адабиёт 128 адад, шумораи чадвалҳо – 20 ва расмҳо бошад – 69 ададро ташкил медиҳанд.

АННОТАЦИЯ

диссертации Ганиева Зокирджона Султоновича на тему: «**Оптимизация режимов работы энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии в условиях высокогорья**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы.

Ключевые слова: ВИЭ, энергокомплекс, оптимизация, режим, высокогорье.

Актуальность темы диссертации заключается в решении как теоретических, так и практических проблем обеспечения доступа к электроэнергии высокогорных районов на основе использования оптимизационных моделей повышения эффективности ЭКНС.

Цель диссертационной работы заключается в обосновании целесообразности создания высокогорного энергетического комплекса с неоднородной структурой ВИЭ и оптимизации его генерирующих мощностей.

Научная новизна работы: на основе оценки ресурсов ВИЭ (гидроэнергетический потенциал, потенциалы солнечной и ветровой энергии) Таджикистана с учётом географических и климатических особенностей систематизированы проблемы и выявлены барьеры их использования, в том числе упущенные возможности в реализации программы МГЭС; для обеспечения гарантированного доступа к электрической энергии в высокогорных районах обоснована необходимость создания энергетического комплекса с неоднородной структурой (ЭКНС) генерирующих источников и предложено его авторское определение; разработана и апробирована методика выбора оптимальных установленных мощностей источников электроэнергии ЭКНС итерационным методом в условиях высокогорья; предложена и апробирована методика оптимизации реактивной мощности и поддержания требуемого уровня напряжения на выходе инвертора СЭС для улучшения режимных параметров ЭКНС; разработана методика поддержания качества электроэнергии в ЭКНС, состоящего из ВЭС, СЭС и МГЭС; разработаны программы для ЭВМ, позволяющие оптимизировать структуру и режим работы электростанций ЭКНС; доказана экономическая эффективность предложенных методик и методов.

Практическая значимость. Разработаны программы для ЭВМ, позволяющие произвести оптимальный выбор установленных мощностей электростанций энергокомплекса итерационным методом и расчет оптимальных режимов работы энергокомплекса симплекс-методом. Результаты выполненных исследований могут быть использованы энергоснабжающими компаниями, проектными организациями при проектировании и эксплуатации установок ВИЭ, в зависимости от местных условий. Предложенные в работе методики, модели и программное обеспечение используются в учебном процессе при изучении соответствующих дисциплин в филиале НИУ «МЭИ» в г. Душанбе.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 172 страниц, список литературы включает 128 библиографических ссылок, 3 приложений, 20 таблиц и 69 рисунков.

ANNOTATION

for the dissertation of Zokirjon Sultonovich Ganiev on the theme: «**Optimization of operating modes of an energy complex based on renewable energy sources in high mountain conditions**», submitted for the academic degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.14.01 – Energy systems and complexes.

Keywords: renewable energy sources, energy complex, optimization, mode, highlands.

The relevance of the dissertation theme lies in solving both theoretical and practical problems of ensuring access to electricity in high mountain areas based on the use of optimization models for increasing the efficiency of ECHS.

The purpose of the dissertation is the substantiation of the feasibility of creating a high-mountain energy complex with a heterogeneous structure of renewable energy sources and optimizing its generating capacities.

Scientific novelty of the work: based on an assessment of renewable energy resources (hydropower potential, solar and wind energy potentials) of Tajikistan, taking into account geographical and climatic features, problems are systematized and barriers to their use are identified, including missed opportunities in the implementation of the SHPP program; to ensure guaranteed access to electrical energy in high mountain areas, the need to create an energy complex with a heterogeneous structure (ECHS) of generating sources is substantiated and its author's definition is proposed; a methodology for selecting the optimal installed capacity of ECHS electricity sources using an iterative method in high mountain conditions was developed and tested; a methodology was proposed and tested for optimizing reactive power and maintaining the required voltage level at the output of the SES inverter to improve the operating parameters of the ECHS; a methodology has been developed for maintaining the quality of electricity in the ECHS, consisting of wind power stations(WPS), solar power plants(SPP) and small hydroelectric power stations(HPS); computer programs have been developed to optimize the structure and operating mode of ECHS power plants; the economic efficiency of the proposed techniques and methods has been proven.

Practical significance. Computer programs have been developed that make it possible to make the optimal selection of the installed capacities of power plants of the energy complex using the iterative method and calculating the optimal operating modes of the energy complex using the simplex method. The results of the completed studies can be used by energy supply companies and design organizations in the design and operation of renewable energy installations, depending on local conditions. The methods, models and software proposed in the work are used in the educational process when studying relevant disciplines at the branch of the National Research University "MPEI" in Dushanbe.

Structure and scope of the dissertation. The work consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and applications. The total volume of the dissertation is 172 pages, the list of references includes 128 bibliographic references, 3 appendices, 20 tables and 69 figures.

Подписано к печати 01.03.2024 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ТТУ имени акад. М. С. Осими.
г. Душанбе, 734042, пр. акад. Раджабовых, 10а.