

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ**

УДК 621.3:621.316.1

На правах рукописи



РАХИМОВ ФИРДАВС МИРЗОУМАРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ
ВЕРТИКАЛЬНО – ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы**

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент,
Силин Николай Витальевич

Душанбе – 2023

Работа выполнена на кафедре «Электроэнергетики и электротехники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» и на кафедре «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Научный руководитель:

Силин Николай Витальевич,

доктор технических наук, профессор
Департамента энергетических систем
Политехнического института (Школы),
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Дальневосточный федеральный
университет» г. Владивосток РФ

Официальные оппоненты:

Велькин Владимир Иванович,

доктор технических наук, доцент, Федеральное
государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Уральский
федеральный университет им. первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г.
Екатеринбург РФ

Юлдашев Зарифджан Шарифович,

доктор технических наук, и.о. главный научный
сотрудник Центра исследования и
использования возобновляемых источников
энергии, Физико – технического института им.
С.У. Умарова НАНТ;

Ведущая организация:

Институт энергетики Таджикистана
р. Кушониён.

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2023 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета БД.КОА-049 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых, 10, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и на сайте организации [https:// www.ttu.tj](https://www.ttu.tj)

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент,

Султонзода Ш. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в электроэнергетической системе Республики Таджикистана (РТ) основным источником электроэнергии являются гидроэлектростанции (ГЭС), доля которых составляет в общем энергобалансе 98% всех действующих электростанций. В зимний период из-за жесткого дефицита воды выработка электроэнергии от малых ГЭС сокращается в десятки раз, а в отдельных случаях полностью прекращается. Поэтому актуальной задачей для развития экономики Республики Таджикистан является повышение надежности электроэнергетических систем (ЭЭС), а также поиск альтернативных источников для ослабления зависимости от одного энергоресурса.

Правительством Республики Таджикистан было принято Постановление № 795 (от 30.12.2015г.) «О Программе освоения возобновляемых источников энергии и строительства малых гидроэлектростанций на 2016-2020 гг.». Кроме того, для освоения энергии малых рек разработана и принята Правительством Долгосрочная Программа строительства малых гидроэлектростанций. Согласно этим документам, особое внимание следует уделить изучению потенциалов возобновляемых источников и внедрению на их основе новых технологий для электроснабжения потребителей удаленных горных населенных пунктов республики. В настоящее время эти программы частично реализованы, на стадии рассмотрения находится новая программа.

В период независимости Республики Таджикистан до 2021 года введено в эксплуатацию более 1300 МВт новых мощностей, из которых более 25 МВт приходятся на долю малых гидравлических электрических станций (МГЭС). Изолированные МГЭС составляют основу локальных электроэнергетических систем, обеспечивающих электроснабжение потребителей в удаленных и труднодоступных районах РТ. Надежность и бесперебойность обеспечения потребителей электроэнергией от таких источников в большой степени зависит от наличия водных ресурсов.

Одним из путей решения данной проблемы состоит в создании локальных электроэнергетических систем, состоящих из МГЭС и ветроэнергетических установок (ВЭУ). Ветроэнергетический потенциал Таджикистана достаточно большой и занимает второе место после гидроресурсов. В то же время совместное использование МГЭС и ВЭУ приводит к усложнению решаемых задач по эффективности и оптимизации их совместной эксплуатации в виду разнохарактерности первичных ресурсов.

Для создания надежной локальной электроэнергетической системы бесперебойного питания потребителей необходима эффективная оптимизация нагрузки. Оптимальное планирование с использованием научно-обоснованных стратегий поможет преодолеть непостоянство потребления и генерации, а также колебания спроса, вызванные изменением численности населения. Разрабатываемые методы решения должны учитывать наихудший сценарий возобновляемой генерации и потребления нагрузки для создания оптимальных мощностей. Благодаря надежности разрабатываемых методов, спроектированная система может обеспечивать нагрузку в дни с меньшей выработкой возобновляемых источников энергии и более высокими колебаниями нагрузки.

Решение проблемы совместного использования МГЭС и ВЭУ является актуальной задачей и связано с оптимизацией процессов преобразования, распределения, регулирования в подобных электроэнергетических системах.

Большого внимания требуют также вопросы разработки и создания ВЭУ, предназначенных для экстремальных условий эксплуатации, обладающими достаточно надежными энергетическими характеристиками. Эффективное решение подобных задач в основном связано с использованием методов физического и математического моделирования.

Степень изученности и разработанности темы исследования. Проблемам математической интерпретации процессов преобразования, распределения, регулирования в

электротехнических и электроэнергетических системах, посвящены работы К.С. Демирчяна, Л.Р. Неймана, Н.В. Коровкина, Л.А. Бессонова, В.А. Веникова, Л.Д. Рожкова, Д.А. Арзамасцева, Н.И. Воропая, Ю.Б. Гука и др.

Вопросы оптимизации систем на базе ВИЭ отражены в работах отечественных и зарубежных ученых: В.П. Харитонова, П.П. Безруких, В.В. Елистратова, В.И. Виссарионова, О.С. Поппеля, Б.В. Лукутина, С.Н. Удалова, В.З. Манусова, С.Г. Обухова, А.К. Киргизова, Ф.О. Исмоилова, К. Роре, G.F. Naterer, S. Eriksson, и др.

Работа посвящена решению как теоретических, так и практических проблем повышения эффективности и оптимизации локальных электроэнергетических систем, в частности, на территории Республики Таджикистан

Объектами исследования диссертационной работы являются локальные электроэнергетические системы на базе возобновляемых источников энергии, в том числе локальные энергосистемы на основе МГЭС и ВЭУ.

Предмет исследования: повышение эффективности функционирования локальных электроэнергетических систем на базе возобновляемых источников энергии за счет их комплексного использования.

Цель диссертационной работы состоит в создании научно-обоснованной теории оптимизации режимов работы разнохарактерных генерирующих источников в локальных электроэнергетических системах и разработке технических решений по повышению эффективности ветроэнергетических установок.

Задачи исследований. Для достижения поставленной цели в данной диссертационной работе необходимо решить следующие задачи:

1. Обобщить и проанализировать информацию о современном состоянии электроэнергетики на территории Республики Таджикистан, а также существующих способов и средств повышения их энергетической эффективности, ослабления зависимости удаленных населенных пунктов от наличия водных ресурсов.

2. Разработать метод оптимизации энергопотребления от локальной энергосистемы, предусматривающая учет неограниченного количества разнохарактерных источников возобновляемой электрической энергии.

3. Разработать расчетную математическую модель локальной электроэнергетической системы на основе МГЭС, ВЭУ и накопителя энергии для оценки и анализа эффективного управления активной нагрузкой в условиях жесткого дефицита воды.

4. Исследовать влияние ветроэнергетической установки на режим работы локальной электроэнергетической системы и изменение конфигурации графиков нагрузки потребителей (или групп потребителей) активной мощности.

5. Провести комплексное исследование по физическому и математическому моделированию режимов работы ветровых энергетических установок, выполнить анализ их влияния на работу локальной электроэнергетической системы и на основе полученных результатов разработать рекомендации по практическому применению;

6. Разработать и запатентовать конструкцию ветровой установки многолопастного типа, имеющую улучшенные показатели по стартовому моменту, коэффициенту использования ветра, устойчивости работы конструкции при работе в условиях турбулентности, а также обеспечивающей снижение затрат на обслуживание.

7. Провести технико-экономическое обоснование применения локальных электроэнергетических систем, для электроснабжения в городской среде.

Методы исследования. При решении поставленных задач применяются методы теоретической электротехники, метод минимизации линейной функции при линейных ограничениях в виде равенств и неравенств (симплекс-метод), методы математического моделирования, программный пакет MATLAB/Simulink, методы физического моделирования.

Научная новизна работы состоит в том, что в ходе научно – исследовательской работы получены следующие научные результаты:

1. Решена задача оптимизации энергопотребления от локальной энергосистемы, предусматривающая учет неограниченного количества разнохарактерных источников возобновляемой электрической энергии, таких как малые гидроэлектростанции, ветроустановки, солнечные батареи, биоустановки с накопителями различного типа.

2. Разработана методика повышения эффективности работы малых ГЭС в условиях жесткого дефицита воды, предусматривающая подключение к сети ветрогенератора и нагрузки, разделённой на две части: строго заданную и вариативную, изменяемую в целях оптимизации.

3. Разработана конструкция ВЭУ карусельного типа с вертикальной осью, включающая в себя использование одно, двух и многоярусных конструкции ветроколеса;

4. Доказана эффективность корректировки конструкции ветротурбины, в частности, путем изменения соотношения сторон ротора и размеров лопасти с целью увеличения коэффициента мощности. Получены достоверные результаты, позволяющие рассматривать режимы работы в широком диапазоне изменения скорости ветрового потока (от 1 м/с до 30м/с).

Практическая ценность работы

1. Результаты исследований и разработанные научно-технические решения по созданию локальных электроэнергетических систем с разнохарактерными источниками электроэнергии могут быть использованы для реализации долгосрочной программы освоения возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан.

2. Разработанная ВЭУ с улучшенными энергетическими показателями может быть использована при создании локальных электроэнергетических систем, предназначенных для эксплуатации в экстремальных условиях для удаленных и труднодоступных районов (населенных пунктов) Республики Таджикистан.

3. Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс департамента электроэнергетики и электротехники ДВФУ при обеспечении дисциплины «Основы проектной деятельности» и на каф. «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими.

4. Результаты диссертационной работы использованы при создании экспериментальной установки локальной электроэнергетической системы на базе ветрогенератора на кафедре электроэнергетики и электротехники ДВФУ, а также на кафедре электрические станции ТТУ имени академика М.С. Осими.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Пути решения проблем обеспечения электроснабжением потребителей в удаленных районах Таджикистана.

2. Принципы создания локальных энергетических систем на базе использования разнохарактерных источников энергии.

3. Структура и принцип реализации экспериментального образца вертикально - осевой ВЭУ с двухъярусным ротором.

4. Алгоритм корректировки конструкции ветротурбины, в частности, путем изменения соотношения сторон ротора и размеров лопасти с целью увеличения коэффициента мощности.

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований режимов работы вертикально-осевой ВЭУ карусельного типа в составе ЛЭС.

Личный вклад автора состоит в общей постановке цели и задач исследования, проведения экспериментальных исследований по определению основных показателей ветроэнергетической установки, участие в обработке, анализе, обобщение полученных результатов, подготовке материалов к публикации, а также формулирование основных выводов выполнен автором совместно с научным руководителем.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы» (п. 3.1, п. 3.3, п. 3.4, и п.3.11).

Реализация результатов работы. Результаты работы могут быть использованы при разработке и внедрении автономных систем электроснабжения на базе ВЭУ для локальных электроэнергетических систем удаленных объектов Республики Таджикистан.

Материалы диссертации внедрены в департаменте «Энергетических систем» ДВФУ в учебном процессе по курсам «Электроснабжение городов и сельской местности», «Основы проектной деятельности», научно-исследовательском семинаре «Энергосберегающие технологии в электроэнергетике», а также в курсовом проектировании и выпускных квалификационных работах. Результаты диссертационной работы использованы при создании экспериментальной установки локальной электроэнергетической системы на базе ветрогенератора в департаменте «Энергетических систем» ДВФУ.

Достоверность и обоснованность научных результатов подтверждается корректным использованием известных научных методов обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Обоснованность результатов подтверждается хорошим совпадением экспериментальных результатов по разработанной методике и численных результатов расчета.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертации были представлены на: XIX Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность» (Томск, 2013г.); X Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительство и энергетики» (Тула, 2014г.); VII Международной научно – практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (Душанбе, 2014г.); XI Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительство и энергетики» (Тула, 2015 г.); Международной научной конференции «Современные технологии и развитие политехнического образования» (Владивосток, 2016г.); Международной научно-практической конференции: «Развитие социального и научно-технического потенциала общества» (Москва, 2018г.); Тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции и Девятой молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» (Ростов-на-Дону, 2018г.); XV Международной научно-практической конференции «Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее» (Пенза, 2018г.); Региональной научно-практической конференции молодых ученых «Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы» (Владивосток, 2016г.);

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 21 печатных работ, в том числе 3 работы в рецензируемых изданиях рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан для опубликования результатов диссертационных исследований, 10 работ – в трудах Международных и Всероссийских научно-технических конференции, 2 работ в других изданиях, 6 патентах на полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 135 наименований и приложений; Объем диссертационной работы состоит из 165 страниц содержащей 12 таблицы и 60 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая ценность проведенных исследований.

В первой главе проведен анализ современного состояния и проблем электроснабжения потребителей от локальных электроэнергетических систем. Локальные

электроэнергетические системы электроснабжения известны давно, но после появления генерирующих установок большой мощности и последующего объединения они уступили свое место централизованным энергетическим сетям. Однако в последние время наблюдается рост их числа.

В §1.1 изложены основные требования, предъявляемые к локальным системам электроснабжения на базе ВИЭ. Отмечено, что они определяются в основном спецификой вида используемого источника и потребителями электроэнергии, которые имеют стохастический характер.

В §1.2 приводится классификация локальных электроэнергетических систем электроснабжения с использованием источников малой генерации.

Локальные СЭС обычно классифицируются по суммарной установленной мощности, по виду электрической схемы соединения и по назначению (рисунок 1.1)

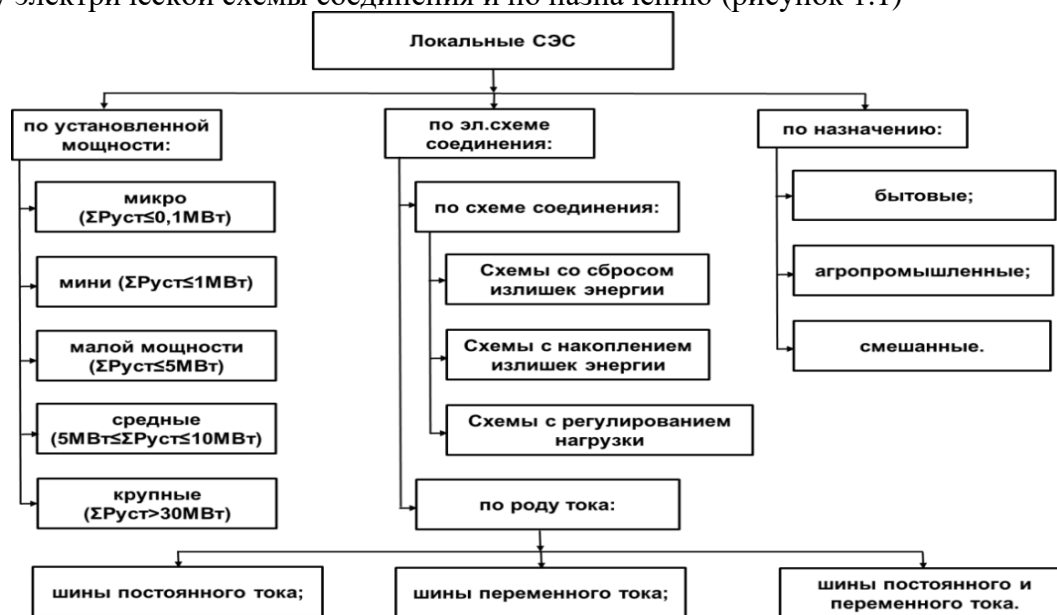


Рисунок 1.1. Классификация локальных СЭС

В ходе анализа выявлено, что в Республике Таджикистан практически не используется понятие локальная электроэнергетическая система, а существующие «автономные» системы не классифицируются ни по одному из критериев, приведенных на рисунке 1.1.

В §1.3 приведены результаты анализа локальных электроэнергетических систем электроснабжения на базе ВИЭ с подробным литературным обзором.

В §1.4 даётся краткий обзор и анализ состояния электроэнергетики Республики Таджикистан. Выявлено, что активное строительство МГЭС в удаленных горных районах республики полностью не решает проблему электроснабжения локальных потребителей. Даны предложения по использованию наиболее доступных возобновляемых источников энергии в локальных электроэнергетических системах республики для повышения их эффективности.

Согласно проведенному анализу в Республике Таджикистан помимо гидроресурсов, имеются большие запасы угля и природного газа, а также возможность использования возобновляемых источников энергии (см. рис. 1.2). Однако, в настоящее время темпы их освоения происходят медленнее, чем гидроресурсы.

За последние два десятилетия локальные электроэнергетические системы значительно развивались за счет новых МГЭС, общее число, которых в республике составляет более 200. Практика показывает, что жесткий дефицит воды в зимний период приводит к серьезным проблемам обеспечения надежным электроснабжением.

Анализ доступности технического потенциала возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на территории Республики Таджикистан, показывает, что потенциал ветровых ресурсов в республике занимает второе место по объему (26,2%) после ресурсов малых рек 52,6% (рисунок 1.3).

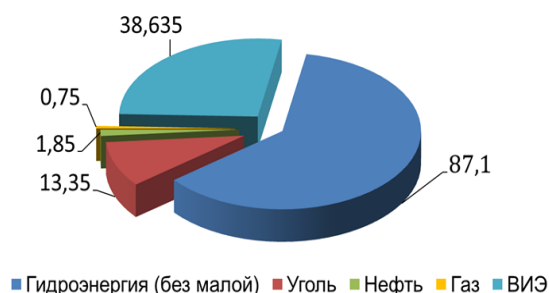


Рисунок 1.2. Технические запасы энергоресурсов Республики Таджикистана, млн. т.у.т. в год

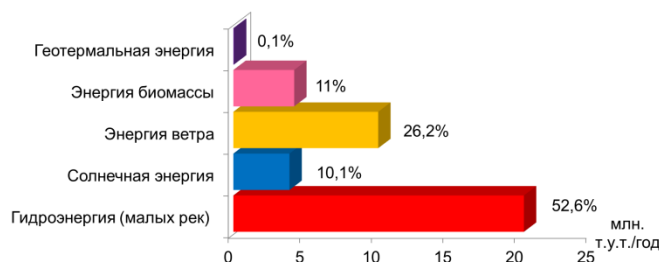


Рисунок 1.3. Технический потенциал ресурсов ВИЭ (в млн. т.у.т./год и в %) Республики Таджикистан

В работе дана оценка потенциалов ветровых ресурсов в удаленных районах Республики. При оценке применена методика представления рассматриваемого района как совокупность участков или зон (рисунок 1.4).

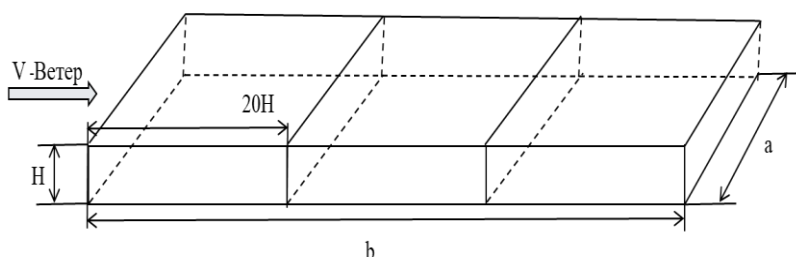


Рисунок 1.4. Модель определения валового потенциала ветровой энергии

Разобьём район на участки (площадки) прямоугольной формы со сторонами a и b ($S = a \cdot b$), и удельной энергией (E_B , Вт*ч/м²). Решением задачи является определение отношения валового потенциала к величине пересекаемых воздушными потоками количества этих плоскостей (см. рис.1.4).

При известных H и a , площадь “рамок” определяется как $A = a \cdot H$

При известной b количество рамок на площадке равно: $n_p = \frac{b}{20H}$

Соответственно общая площадь, пересекаемая воздушными потоками, будет равна

$$S_{\text{расч}} = A \cdot n_p = \frac{a \cdot H \cdot b}{20H} = \frac{S}{20}, \quad (1.1)$$

Если изменить местами стороны a и b по отношению к скорости ветра, то значение S не изменится. С учетом данного положения валовый потенциал ветровой энергии над участком площадью S будет равен,

$$W_B = E_B \cdot S_{\text{расч}} = E_B \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i \quad (1.2)$$

Как видно из формулы (1.2) толщина слоя H в явном виде не влияет на значение валового потенциала, так как зависимость валового потенциала проявляется через скорость ветра, которая применяется для его определения.

Оценка показывает, что потенциал ветровых ресурсов может способствовать развитию технологии возобновляемых источников и тем самым обеспечению эффективности и надежности электроснабжения потребителей от локальных электроэнергетических систем.

Во второй главе приведены результаты математического моделирования локальной электроэнергетической системы с МГЭС и ВЭУ карусельного типа.

В §2.1 проведенный анализ показывает, что максимальная потребность в электроэнергии наблюдается в холодные периоды года (рисунок 2.1). Требуемая мощность вырабатываемой электроэнергии в зимние месяцы почти в два раза превышает необходимую мощность в летние месяцы.

На рисунке 2.2 приведён характерный график распределения стока воды по месяцам горных рек на территории Таджикистана. Обозначая расход воды как преобразованную в потенциальную энергию P_g , и объединив график потребления электроэнергии P_{load} с графиком изменения режима воды в горных реках, получим возможность определения баланса мощностей (рисунок 2.3).

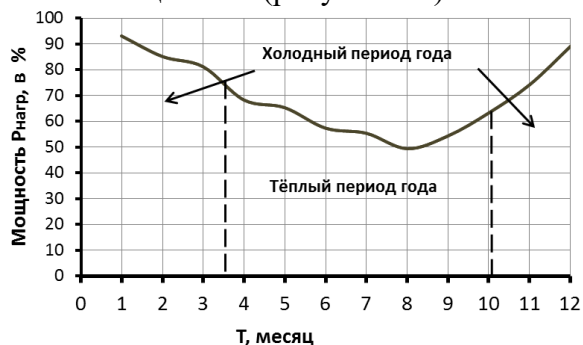


Рисунок 2.1. Обобщённый годовой график потребления ЭЭ локальной ЭС

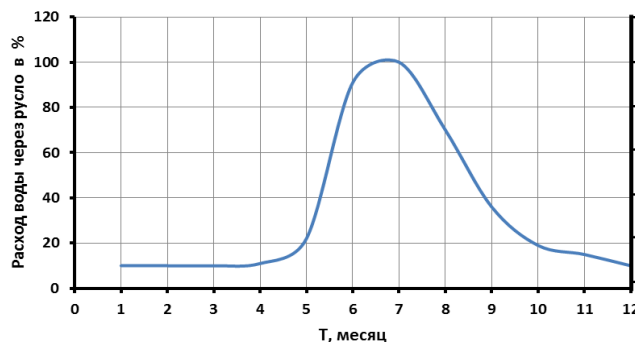


Рисунок 2.2. Характерный график изменения потока воды на малых горных реках

При решении задачи комбинированного применения ВИЭ возникает необходимость рассматривать несколько критериев оптимизации (минимизации и/или максимизации показателей), для определения которых можно применить математические модели основанные, например, на решении задач линейного программирования и генетического алгоритма. Возникает также задача разработки оптимального выбора структуры электропотребления для систем с возобновляемыми источниками энергии.

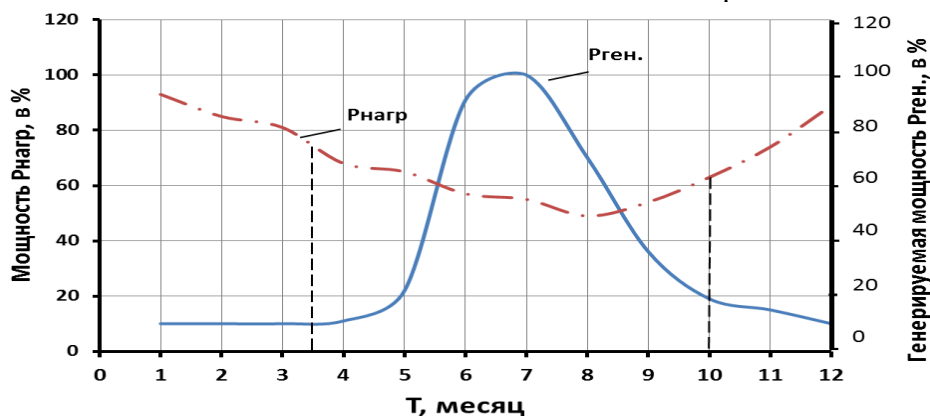


Рисунок 2.3. Годовые графики потребление ($P_{нагр}$) и выработки ($P_{ген}$) ЭЭ

Следует, отметить, что при разнородности источников (например, применение МГЭС и ВЭУ) также возникает необходимость решения задачи оптимального управления режимами генерации и потребления электроэнергии нагрузкой для обеспечения балансов энергии и мощности, соответствующих выражениям;

$$P_{нагр} = P_{ген}; W_{нагр} = W_{ген}$$

где $P_{нагр}$ – мощность потребителя; $P_{ген}$ – мощность источника электроэнергии (ЭЭ);

$W_{нагр}$ – потребляемая электроэнергия со стороны потребителя; $W_{ген}$ – вырабатываемая электроэнергия источником ЭЭ.

Для описания режимов ветроустановок и их решения необходимо использовать математические модели, основанные на использовании теории метода минимизации линейной функции и математического аппарата – генетического алгоритма, которые могут адекватно описать модель сопоставления вырабатываемой мощности ВЭУ и мощности, потребляемой электрической нагрузкой.

В §2.2 представлены результаты исследования по обеспечению надежной работы локальной энергосистемы при минимальной зависимости от первичного источника путем вовлечения в энергобаланс других источников. На первом этапе решена задача оптимизации выработки электроэнергии путем моделирования автономной энергосистемы с обязательным учетом заданной и вариативной частей мощности нагрузки путем использования генетического алгоритма и метода минимизации линейной функции при линейных ограничениях в виде равенств и неравенств (симплекс метод). Преимуществом является полный учет неограниченного количества разнохарактерных источников возобновляемой электрической энергии.

Для Таджикистана наибольшее практическое значение могут иметь локальные источники электроснабжения, включающие в себя МГЭС, ВЭУ, накопитель. На рис.2.4 представлена модель рассматриваемой локальной энергосистемы.



Рисунок 2.4. Модель рассматриваемой локальной энергосистемы

$P_{ВЭУ}$ – мощность ВЭУ, $P_{ген.}$ – мощность МГЭС, $P_{бат.}$, $W_{бат.}$ – мощность и емкость накопителя ЭЭ, $P_{пост.ч}$ – строго заданная и $P_{вар.ч}$ – вариативная мощность нагрузки.

Выработка электроэнергии производится МГЭС и ветрогенератором. Для обеспечения надежного электроснабжения в энергосистеме предусмотрена система накопления избытков энергии, состоящая из накопителя и преобразователя.

Решение задачи оптимизации работы малых ГЭС в условиях жесткого дефицита воды выполняется в предположении, что при управлении вариативной частью нагрузки - $P_{вар.ч}(t)$ и накопителем - $P_{бат}(t)$, одновременно выполняются два условия:

1. Режим выработки электроэнергии МГЭС стабилен, мощность выработки не изменяется во времени, то есть $P_{ген.}(t) = P_{ген.0} = const$. Именно это условие и учитывает ситуацию зимнего периода, так как электроэнергия в дефиците и потребление выработанной МГЭС электроэнергии всегда максимально возможное;

2. При заданном потреблении $W_{нагр.}$ ЭЭ установленные мощности $P_{ВЭУ.макс.}$ ветрогенератора, $P_{бат.макс.}$ преобразователя и емкость $W_{бат.макс.}$ накопителя должны быть минимальными – это условие обеспечивает минимальную стоимость всей системы.

Сформулированная цель оптимизации может быть записана в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ВЭУ.макс.} \rightarrow \min, \\ P_{бат.макс.} \rightarrow \min, \\ W_{бат.макс.} \rightarrow \min, \\ \Delta = \delta(P_{ген.ср.}), \end{array} \right. \quad (2.1)$$

$$P_{\text{взу.макс.}} \geq 0, P_{\text{бат.макс.}} \geq 0, W_{\text{бат.макс.}} \geq 0$$

Здесь вариация δ определяется следующим образом:

$$\delta = \max_{t \in [0, T]} \frac{|P_{\text{ген.ср.}} - P_{\text{ген.}}(t)|}{P_{\text{ген.ср.}}}, \quad P_{\text{ген.ср.}} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{\text{ген.}}(t) dt, \quad (2.2)$$

а Δ – заданное в ограничении типа равенства значение этой вариации.

Решение этой нелинейной задачи многоцелевой оптимизации целесообразно выполнять при ограничении $\Delta = \delta(P_{\text{ген.ср.}})$. Рассмотрим это ограничение и способ его вычисления подробнее. Равенство нулю вариации δ соответствует тому, что микро ГЭС работает в оптимальном режиме. Однако, при этом величины $P_{\text{взу.макс.}}$, $P_{\text{бат.макс.}}$, $W_{\text{бат.макс.}}$ могут быть большими и вся система в целом будет весьма дорогой. Уменьшение установленных мощностей ветрогенератора $P_{\text{взу.макс.}}$, преобразователя $P_{\text{бат.макс.}}$, а также и емкости $W_{\text{бат.макс.}}$ аккумуляторов удешевляет систему, но все более нагружает микро ГЭС и, начиная с каких-то значений, приводит к невозможности сохранять выработку ЭЭ $P_{\text{ген.}}(t)$ на постоянном уровне и, следовательно, появлению ненулевых значений вариации $\delta(P_{\text{ген.ср.}})$.

В §2.3 приводится методика вычисления ограничения $\delta(P_{\text{ген.ср.}})$. Результатом вычисления ограничения $\delta(P_{\text{ген.ср.}})$, является нахождение таких значений вариативной части нагрузки - $P_{\text{вар.ч.}}(t)$ и накопителя - $P_{\text{бат.}}(t)$, при которых достигается минимизация отклонения $P_{\text{ген.}}(t)$ от его среднего значения $P_{\text{ген.ср.}}$.

Постановка задачи также включает в себя ограничение на переменные задачи и связи между ними. Баланс мощности в рассматриваемой сети выражается соотношением:

$$\forall t \in [0, T]: \underbrace{P_{\text{пост. ч.}}(t) + P_{\text{вар. ч.}}(t)}_{P_{\text{нагр.}}(t)} = P_{\text{ген.}}(t) + P_{\text{взу.}}(t) + P_{\text{бат.}}(t) \quad (2.3)$$

$$W_{\text{нагр.}} = \int_0^T P_{\text{нагр.}}(t) dt, \quad W_{\text{нагр.вар.ч.}} = \int_0^T P_{\text{вар.ч.}}(t) dt \quad (2.4)$$

Задав как исходные данные $W_{\text{нагр.}}$ и $W_{\text{нагр.вар.ч.}}$ мы, фактически, определили и величину $W_{\text{нагр.const}} = W_{\text{нагр.}} - W_{\text{нагр.вар.ч.}}$.

Для накопителя:

$$\forall t \in [0, T]: -P_{\text{бат.макс.}} \leq P_{\text{бат.}}(t) \leq P_{\text{бат.макс.}} \quad (2.5)$$

$$\forall t \in [0, T]: 0 \leq W_{\text{бат.}}(t) \leq W_{\text{бат.макс.}} \quad (2.6)$$

Вариативная компонента $P_{\text{вар.ч.}}(t)$ мощности нагрузки должна быть неотрицательна, также производимая микро-ГЭС мощность $P_{\text{ген.}}(t)$ положительна и не может превышать суммарную установленную мощность $P_{\text{ген.макс.}}(t)$ генераторов:

$$\forall t \in [0, T]: 0 \leq P_{\text{вар.ч.}}(t) \leq P_{\text{вар.ч.}} \quad 0 \leq P_{\text{ген.}}(t) \leq P_{\text{ген.макс.}} \quad (2.7)$$

$$P_{\text{вар.ч.}} = [P_{\text{вар.ч.1}}, P_{\text{вар.ч.2}}, \dots, P_{\text{вар.ч.N}}]^T, \quad P_{\text{бат.}} = [P_{\text{бат.1}}, P_{\text{бат.2}}, \dots, P_{\text{бат.N}}]^T. \quad (2.8)$$

Сведя процедуру вычисления ограничений к задаче линейного программирования, где в качестве минимизируемого функционала может быть взят линейный функционал, получим:

$$F(P_{\text{вар.ч.}}, P_{\text{бат.}}, P_{\text{ген.}}) = \sum_{k=1}^{k=1008} (\alpha_k + \beta_k) \xrightarrow{P_{\text{вар.ч.}}, P_{\text{бат.}}, P_{\text{ген.}}} \min \quad (2.9)$$

Задача (2.9) минимизации линейного функционала с линейными ограничениями типа равенств и неравенств, полученными выше, классифицируется как задача линейного программирования. Результат этой классификации чрезвычайно важен, так как методы решения этой задачи хорошо изучены и доказано существование ее единственного решения,

доставляющего глобальный минимум функционалу F . Приведем задачу к стандартному виду, используемому, например, в пакете MATLAB:

$$F(\mathbf{X}) = \langle \mathbf{C}, \mathbf{X} \rangle \xrightarrow{\mathbf{X}} \min,$$

$$\begin{cases} \mathbf{A}_{eq} \mathbf{X} = \mathbf{b}_{eq}, \\ \mathbf{A}_{ineq} \mathbf{X} \leq \mathbf{b}_{ineq}, \\ \mathbf{X}_{\min} \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}_{\max}. \end{cases}$$

В §2.4 указывается на сложность задачи оптимизации работы малых ГЭС в условиях жесткого дефицита воды, которая может быть несколько снижена, если известно соотношение стоимости киловатта установленной мощности ветрогенератора $S_{ВЭУ}$ и преобразователя энергии $S_{бат}$. Пусть $S_{ВЭУ} / S_{бат} = m$, тогда, в силу того, что $P_{вэу.макс}$ и $P_{бат.макс}$ представляют собой установленные мощности ветрогенератора и преобразователя соответственно, то получаем, что смысл задачи оптимизации работы МГЭС в условиях дефицита воды заключается в нахождении наиболее дешевой оптимальной конфигурации локальной энергосистемы. В этом случае задачу можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{cases} P_{вэу.макс} + m \cdot P_{бат.макс} \rightarrow \min, \\ W_{бат.макс} \rightarrow \min, \\ \delta(P_{ген.ср.}) = \max_{t \in [0, T]} (|P_{ген.ср.} - P_{ген.}(t)| / P_{ген.ср.}) = \Delta, \\ P_{вэу.макс} \geq 0, P_{бат.макс} \geq 0, W_{бат.макс} \geq 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

Решением задачи нахождения наиболее дешевой оптимальной конфигурации локальной энергосистемы является множество Парето, для построения которого использовался генетический алгоритм и алгоритм не доминирующей сортировки NSGA-II.

В качестве минимизируемого функционала может быть взят линейный функционал:

$$F(P_{вар.ч.}, P_{бат.}, P_{ген.}) = \sum_{k=1}^{1008} (\alpha_k + \beta_k) \xrightarrow{P_{вар.ч.}, P_{бат.}, P_{ген.}} \min \quad (2.11)$$

Известно, что задача минимизации линейного функционала с линейными ограничениями типа равенств и неравенств (2.4), полученными выше, классифицируется как задача линейного программирования. Методы решения данной задачи хорошо изучены и доказано существование ее единственного решения, доставляющего глобальный минимум функционалу F .

Решение задачи (2.11), необходимое для вычисления ограничений при определении наиболее дешевой оптимальной конфигурации локальной энергосистемы, имеет типичный вид, представленный на рисунке 2.5. Данное решение получено для усредненного графика ветровой активности, представленного на рисунке 2.6., построенного на основании аппроксимации многомесячных экспериментальных данных в горных районах Таджикистана.

На рисунке 2.5 представлены некоторые решения задачи минимизации линейного функционала с линейными ограничениями типа равенств и неравенств, генерируемые в ходе решения нахождения наиболее дешевой оптимальной конфигурации локальной энергосистемы (2.3).

Решения, представленные на рис. 2.5а, соответствуют относительно большому уровню Δ , а на рис. 2.5б - малому уровню Δ .

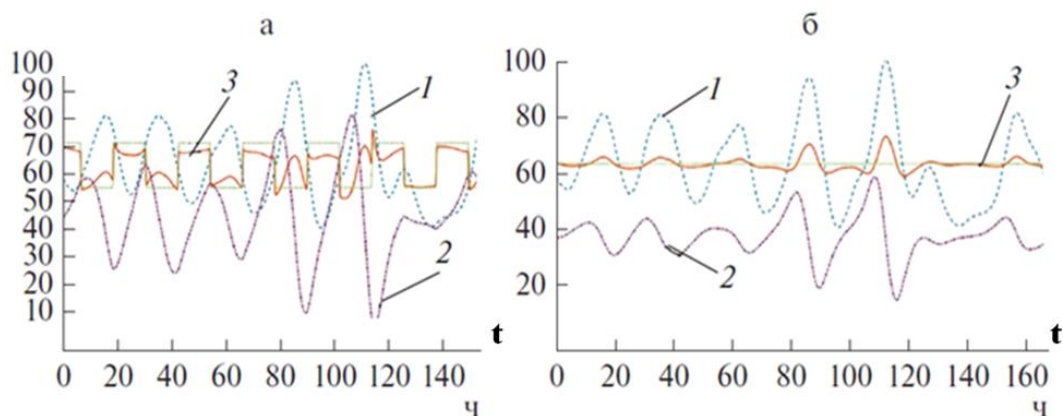


Рисунок 2.5. Типичные решения задачи минимизации линейного функционала с линейными ограничениями типа равенств и неравенств. На графиках: 1 – мощность вариативной части нагрузки, 2 – энергия, запасенная в накопителе, 3 – мощность, генерируемая МГЭС

Решение задачи нахождения наиболее дешевой оптимальной конфигурации локальной энергосистемы представлено на рис. 2.7, где по оси ординат в относительных единицах (приведено к P_{cp}) отложен первый из минимизируемых функционалов ($P_{ВЭУ,max} + m P_{бат,max}$, для $m = 1$, а по оси абсцисс, также в относительных единицах (приведено к P_{cp}) отложен второй минимизируемый функционал ($1080P_{ВЭУ,cp}$). Уровень Δ неравномерности загрузки МГЭС – ~ 0.1 . Множество Парето, представленное на рис. 2.5, позволяет в широком диапазоне изменения параметров всей системы определять ее состав оптимальным образом.

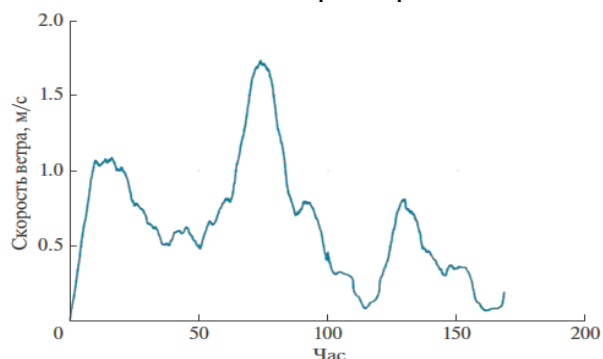


Рисунок 2.6. Усредненный график ветровой активности для горных районов республики Таджикистан

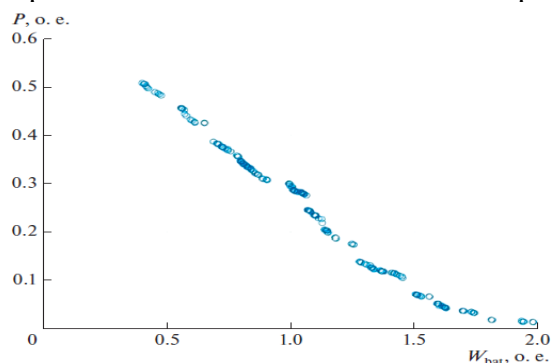


Рисунок 2.7. Типичный вид решения задачи (2.3)

Рассмотренная структурная схема является типичной для локальных электроэнергетических систем Республики Таджикистан, в которых используются только малые ГЭС. Применение математического аппарата – генетического алгоритма и метода минимизации линейного функции при линейных ограничениях позволяет в широком диапазоне изменения параметров всей системы определять её состав оптимальным образом.

Глава 3 посвящена разработке и моделированию устройств локальной энергосистемы, в частности, ветроэнергетической установки многолопастного типа.

В §3.1 приведена постановка задачи для разработки ВЭУ карусельного типа, отвечающего условиям Республики Таджикистан. Получение максимальной энергии в ВЭУ в большой степени зависит от оптимальной конструкции и рациональной формы конструктивных элементов.

В §3.2 проведен сравнительный анализ действующих конструкций ВЭУ многолопастного типа. Коэффициент полезного действия (КПД) ВЭУ в первую очередь определяется взаимодействием ветрового потока с лопастями ветроколеса. Правильно

выбранные форма и типы лопастей, а также углы их установки по отношению к направлению потока могут существенно уменьшить потери мощности и степень влияния непродуктивных углов.

На рисунке 3.1 согласно паспортными данным приведены зависимости развиваемой мощности в о.е. от скорости ветра рассматриваемых ВЭУ, среднеарифметические значения их мощностей (черная линия на графиках). При этом все данные были разделены на два диапазона относительно расчетной скорости ветра $V_{расч}$.

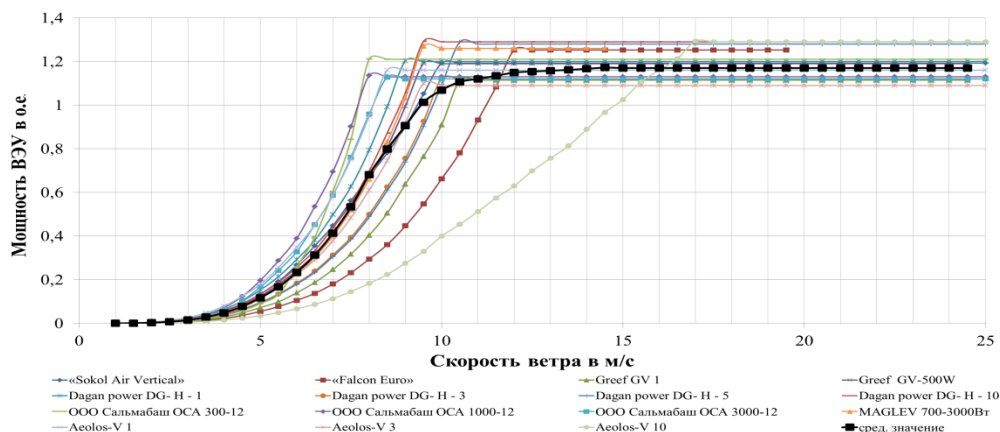


Рисунок 3.1. – Энергетические характеристики малых ВЭУ с регулированием мощности за счет параллельного включения балластной нагрузки

Используя энергетические характеристики рассматриваемых ВЭУ в о.е., изображенные на рисунке 3.2, согласно формулам (3.1) и (3.2) были рассчитаны стандартное отклонение σ и коэффициент вариации ν среднеарифметического значения мощности рассматриваемых ВЭУ для каждой скорости ветра из рабочего диапазона ВЭУ с шагом 1 м/с.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^* - P_{cp}^*)^2}{n}} \quad (3.1)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{P_{cp}^*} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

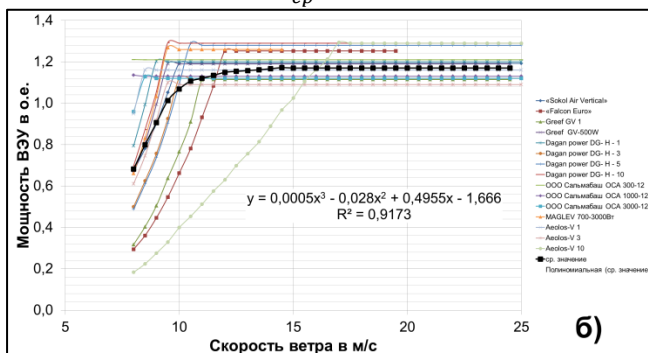
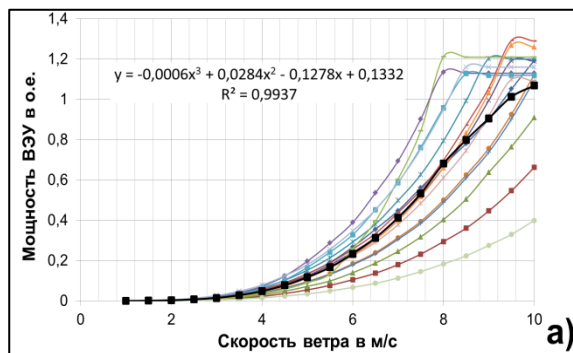


Рисунок 3.2 - Аппроксимация среднестатистической энергетической характеристик ВЭУ в о.е.: а) — в диапазоне скоростей ветра от минимальной $V_{мин}$ до расчетной $V_{расч}$; б) — в диапазоне скоростей ветра от расчетной $V_{расч}$ до максимальной $U_{макс}$

Согласно расчетам во всем диапазоне рабочих скоростей ветра коэффициент вариации среднеарифметического значения мощности рассматриваемых ВЭУ не превышает 15%.

В §3.3 разработана конструкция вертикально осевого ВЭУ многолопастного типа для локальных источников электроснабжения рисунок 3.3.

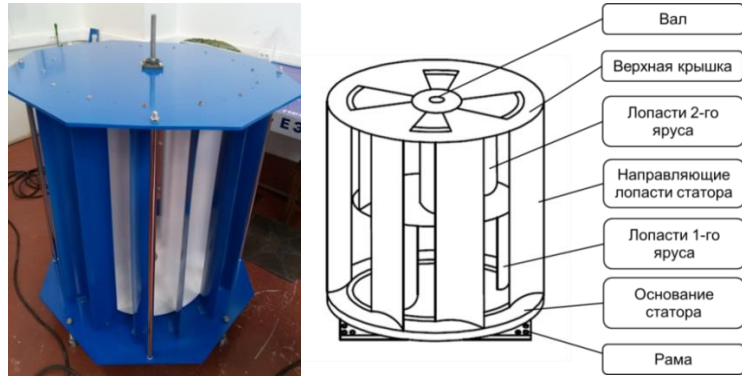


Рисунок 3.3. Общий вид конструкции двухъярусного ВЭУ многолопастного типа

В §3.4 приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований энергетических характеристик ВЭУ с учетом коэффициента соотношения сторон. Для этого разработан алгоритм расчета параметров ВЭУ с вертикальной осью вращения (см. рис. 3.4).

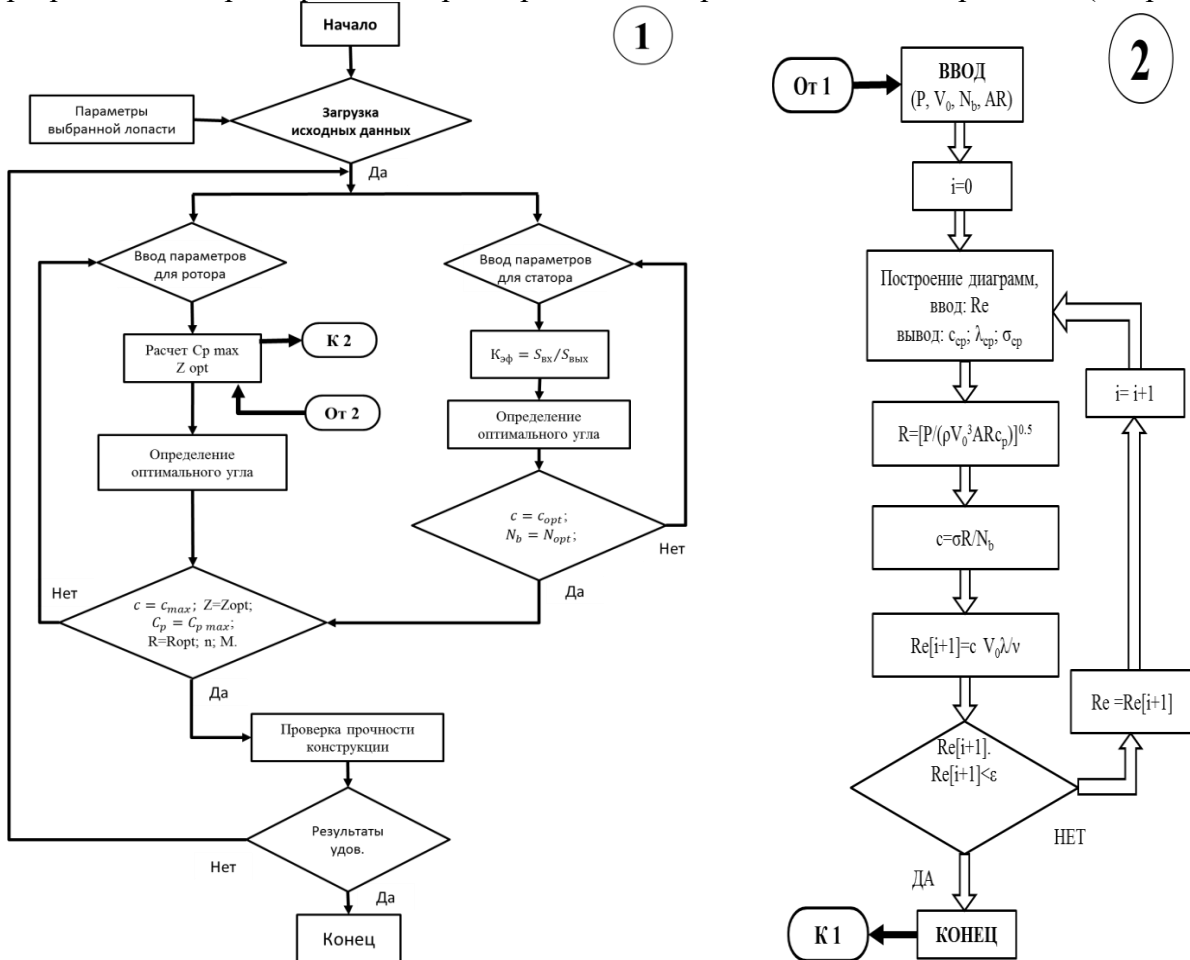


Рисунок 3.4. Алгоритм расчета параметров ВЭУ с вертикальной осью вращения

Из графика на рис.3.5 можно определить плотность $\sigma = 0,7$, которая максимизирует коэффициент мощности, который принимает значение $C_{pmax} = 0,4$, соответствующий значению быстроходности $Z (\lambda) = 4,0$.

Так как плотность σ равна:

$$\sigma = \frac{N_b c}{R} \quad (3.3)$$

то хорда c может быть выражена как функция плотности, радиуса ротора R и числа лопастей N_b , по формуле 3.4:

$$C = \frac{\sigma_{срmax}}{N_b} R \quad (3.4)$$

Соотношение сторон. Значение коэффициента мощности (КПД ветротурбины) зависит от выбора соотношения сторон ветротурбины.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_0^3 2RhC_p \quad (3.5)$$

Определив соотношение сторон турбины (AR) как отношение высоты лопасти к радиусу ротора ($AR = h / R$), радиус ротора можно вывести из формулы 3.5

$$R = \sqrt{\frac{P}{\rho V_0^3 AR C_p}}, \quad (3.6)$$

где мощность P и скорость ветра V_0 являются расчетными данными; ρ – плотность воздуха, кг/м³ – значение которого зависит от температуры и высоты расположения над уровнем моря.

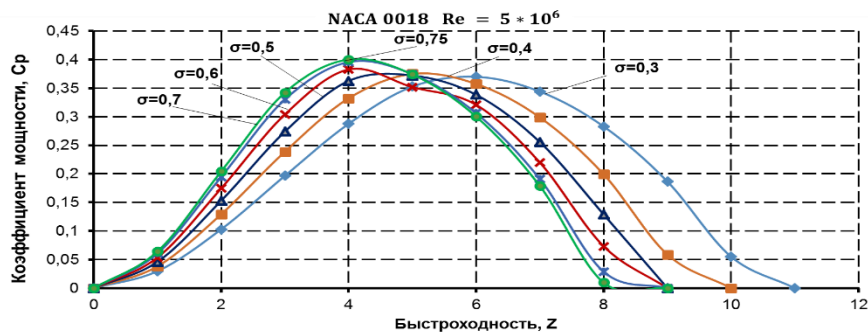


Рисунок 3.5 - Зависимости коэффициента мощности от быстроходности и плотности ротора

С помощью формулы (3.6) можно установить зависимость радиуса R при изменении отношения AR (см. рис. 3.6 и рис. 3.7), а также его влияние на скорость вращения турбины которое определяется по (3.7).

$$\omega = \frac{\lambda_{срmax} V_0}{R} \quad (3.7)$$

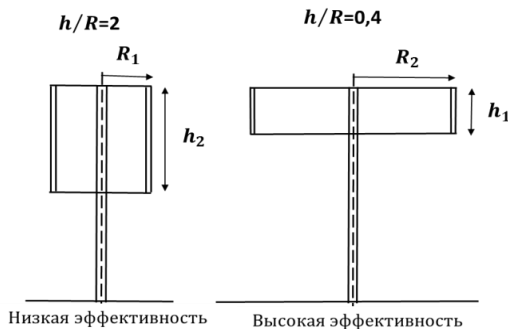


Рисунок 3.6 - Варианты исполнения ветроколес турбин и его зависимости от AR

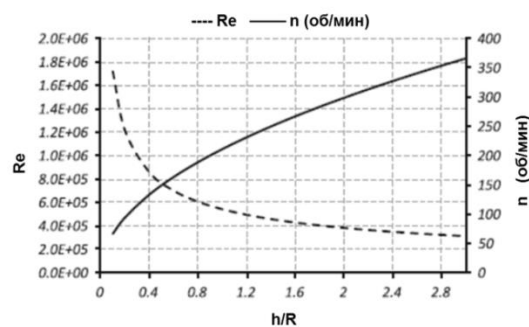


Рисунок 3.7 - Влияние соотношения сторон ротора на число Рейнольдса и скорость вращения показано

Число Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re = \frac{cw}{\nu} \quad (3.8)$$

где c – хорда лопасти по формуле 3, ν - кинематическая вязкость потока, а w - скорость ветра относительно профиля.

При числе Рейнольдса, равном 5×10^6 , из графика на рис. 3.7 определяем максимальное значение коэффициента мощности ($C_{рmax} = 0.41$) при максимальных значениях коэффициента заполнения ротора и быстроходности соответственно: $\sigma_{срmax} = 0.7$ и $Z_{срmax} = 4.0$. Для соотношения сторон 2 ($h / R = 2$), радиус ротора $R = 0,904$ м ($\rho = 1,2$ кг/м³). Из формулы (3.2), получаем хорду $c = 0,136$ м, а из формулы (3.8) получаем скорость вращения

$n=320$ об/мин. Новое число Рейнольдса (вторая попытка) можно определить по формуле (3.7): $Re = 2.8 \times 10^5$.

В §3.5 разработана имитационная компьютерная модель работы вертикально осевой ветроэнергетической установки в среде MatLab, для чего была предложена функциональная схема имитационной модели (см. рис. 3.8), а потом разработана сама модель (см. рис. 3.9).

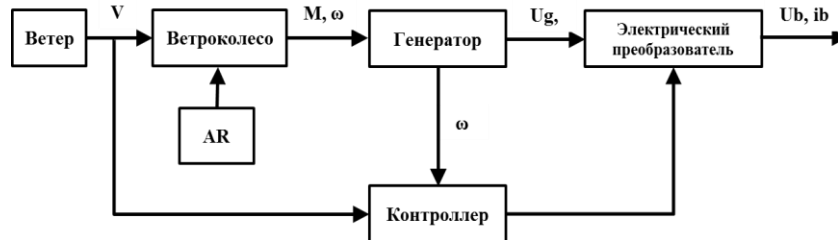


Рисунок 3.8. Функциональная схема имитационной модели ВЭУ

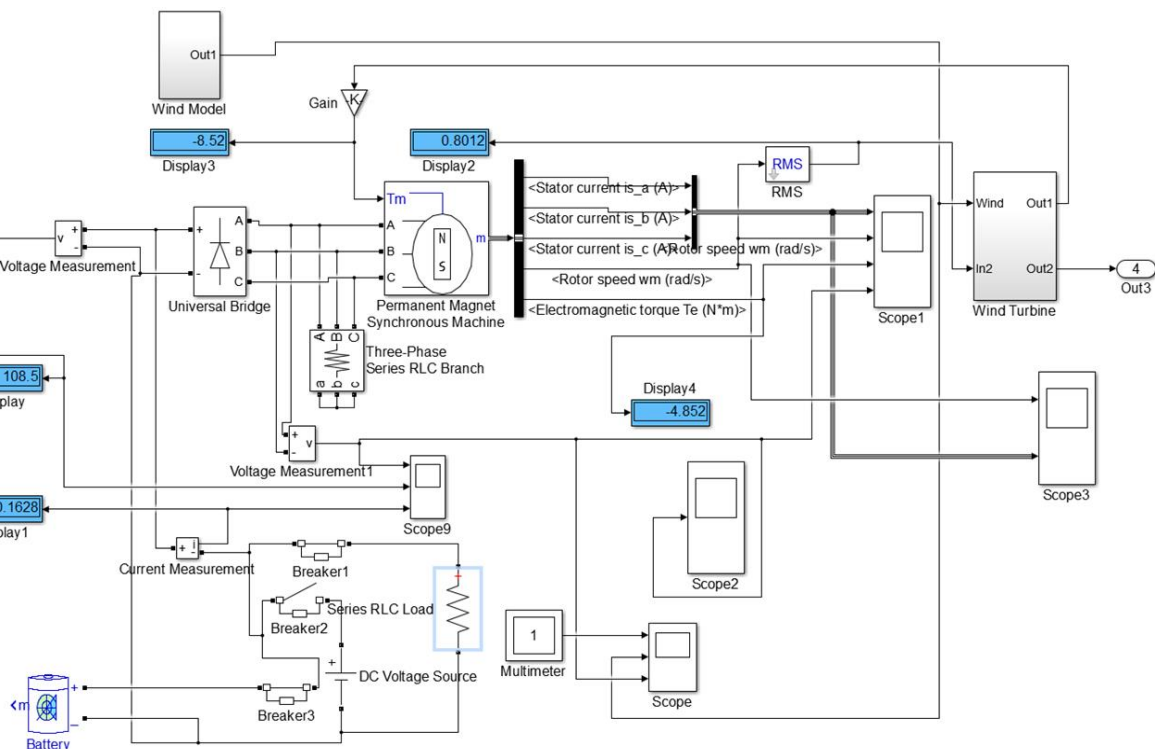


Рисунок 3.9. – Имитационная модель вертикально – осевого ВЭУ с различным коэффициентом AR в пакете программ MATLAB/Simulink

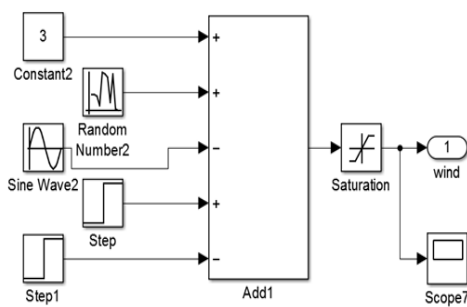


Рисунок 3.10. Блок модели ветра в Simulink/Matlab

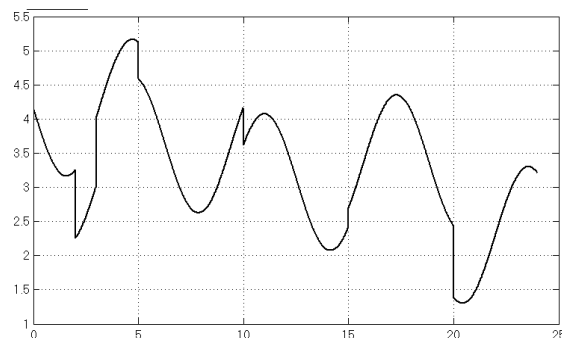


Рисунок 3.11. Суточный суммарный график модели скорости ветра

С целью создания условий близкой к реальной условиям эксплуатации, создана блок модели ветрового потока (рис. 3.10) с возможностью моделирования суммарного суточного скорости ветра (рис. 3.11).

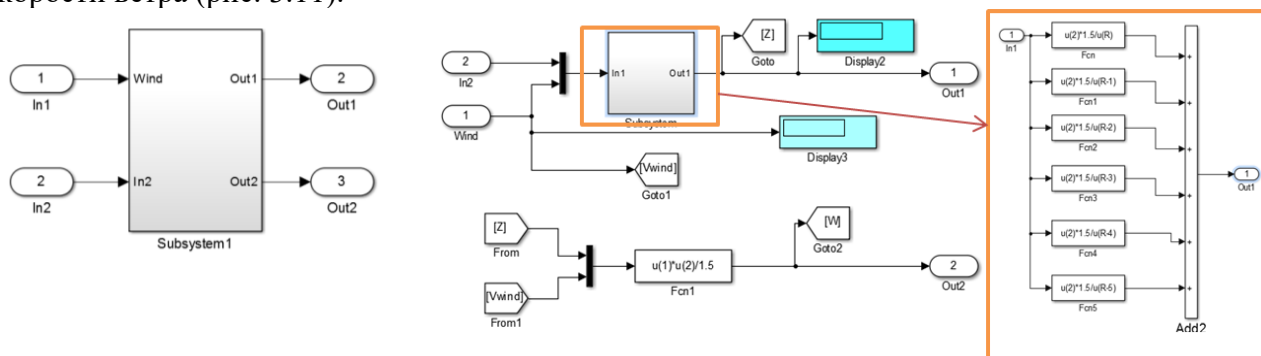


Рисунок 3.12 – Модель ВЭУ в пакете MATLAB/Simulink

Входными параметрами для моделирования ветротурбины являются скорость ветрового потока, подаваемого на вход 2, скорость вращения ветроколеса, соединенного с электрогенератором (подается на вход 1) и значение коэффициента соотношения сторон которое подается на вход 3 (см. рис. 3.12).

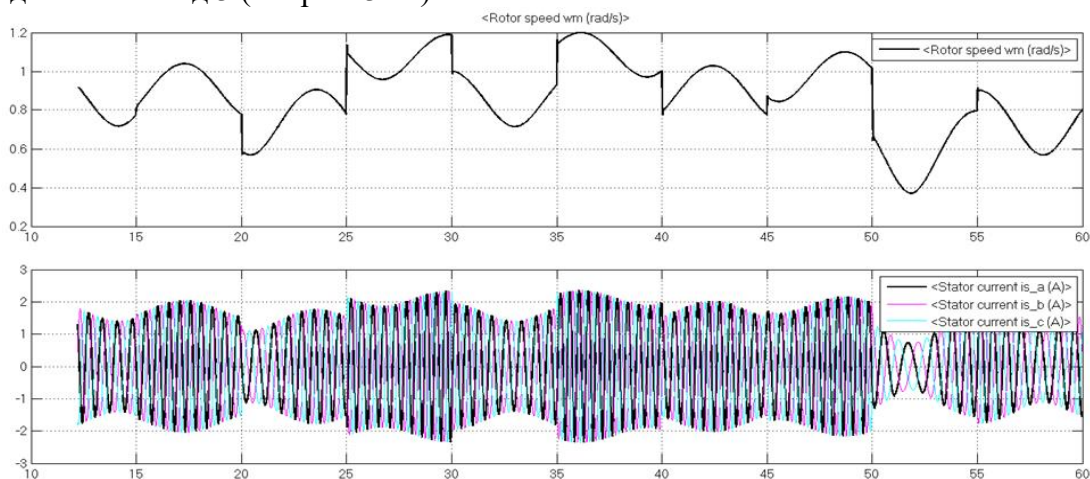


Рисунок 3.13. Зависимость выходного тока от скорости вращения генератора при широком изменении скорости ветрового потока

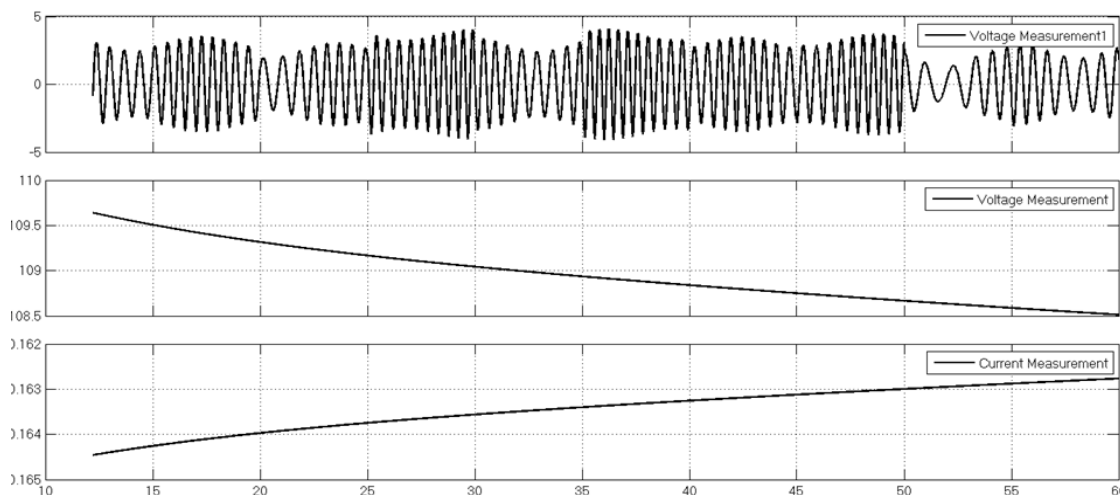


Рисунок 3.14. Зависимость выходного напряжения и тока накопителя ЭЭ от выходного напряжения ветрогенератора

В §3.6 приводится описание разработанного стенда для испытания лопастей вертикально осевых ВЭУ.

В §3.7 приводятся результаты экспериментальных исследований работы вертикально осевой ВЭУ карусельного типа.

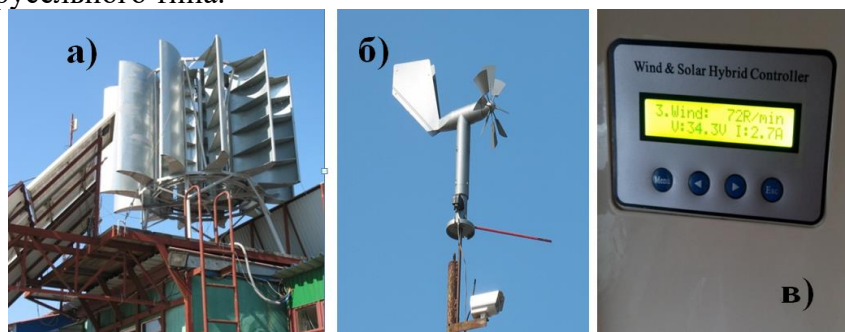


Рисунок 3.15. ВЭУ многолопастного типа установленный на крыше подсобного помещения автостоянки г. Владивосток:
 а – общий вид расположения; б - датчик скорости и направления ветра М-127 с устройством согласования УСТ 0-5 «Гидрометприбор»; в – гибридный контроллер

Зависимости, полученные в ходе экспериментального исследования, сравнивались с результатами имитационного компьютерного моделирования (см. рис. 3.16). При этом наблюдалось достаточно хорошее совпадение результатов.

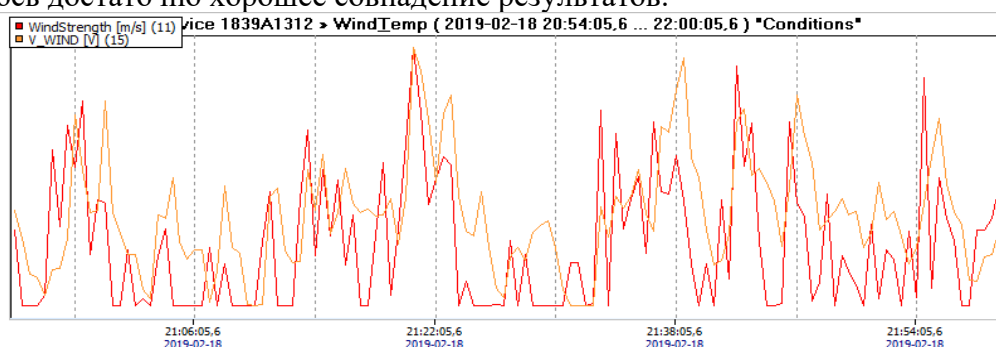


Рисунок 3.16. Осциллограмма зависимости выходного мощности ВО ВЭУ карусельного типа от изменения скорости ветра при изменении мощности нагрузки $P_{нагр}$

Зависимости развиваемой мощности ВО ВЭУ карусельного типа при различных значениях $P_{нагр}$ изображены на рисунке 3.17. При сравнении полученных результатов имитационного компьютерного моделирования с экспериментальными данными их сходимость составила 92%.

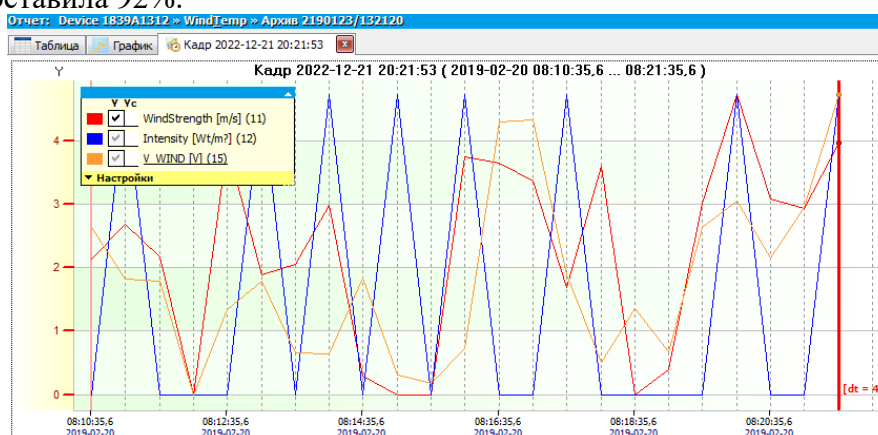


Рисунок 3.17. Выходные энергетические характеристики ВЭУ в о.е. с учетом вариации мощности $P_{нагр}$

В **четвертой главе** представлены результаты технико-экономического описания эффективности использования локальной электроэнергетической системы для городской среды.

В §4.1 дана количественная оценка ветропотенциала городской среды. Отмечено, что для количественной оценки ветропотенциала городской среды целесообразно использовать как природные и антропогенные показатели, так и такие понятия, как плотность шероховатости, интенсивность турбулентных потоков и др. Все эти показатели напрямую или косвенно позволяют оценить производительность турбины.

С повышением высоты здания коэффициент усиления ветра увеличивается для зданий квадратной формы до 25 – 30% , а круглой формы - до 40%. Данные исследования показывают, что потенциал ветра между проходами здания можно использовать с помощью небольших ветровых турбин для производства энергии.

В §4.2 обоснована надежность локальной электроэнергетической системы на основе ВИЭ.

В §4.3 показаны технико-экономические преимущества ветровой энергии для электроснабжения удаленных потребителей Республики Таджикистан.

В **заключении** представлены основные выводы по научным и практическим результатам, полученным в ходе исследования локальной электроэнергетической системы на базе вертикально-осевых ветроэнергетических установок многолопастного типа.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проведен анализ современного состояния электроэнергетики на территории Республики Таджикистан, а также существующих способов и средств повышения их энергетической эффективности. В результате обобщения данных показано, что в настоящее время надежность и эффективность электроснабжения удаленных районов на территории Республики Таджикистан является актуальной проблемой. Несмотря на достаточный потенциал ветровых ресурсов их доля в энергобалансе республике практически нулевая. Из – за недостаточно обоснованной оценки потенциала водотока при выборе мест строительства МГЭС наблюдается недоиспользование мощности потока и установленной мощности гидроагрегатов, что напрямую влияет на их эффективность.

2. Разработан метод оптимизации энергопотребления от локальной энергосистемы, предусматривающий учет неограниченного количества разнохарактерных источников возобновляемой электрической энергии Строгая математическая постановка и решение задачи по оптимизации энергопотребления позволит разрабатывать системы эффективного электроснабжения для конкретных условий удаленных районов.

3. Разработана математическая модель локальной электроэнергетической системы на основе МГЭС, ВЭУ и накопителя энергии. для оценки и анализа эффективного управления активной нагрузкой в условиях жесткого дефицита воды. Исследование данной структуры локальной электроэнергетической системы путем разделения мощности нагрузки на строго заданную и вариативную часть показало целесообразность её применения при решении задачи повышения эффективности работы малых ГЭС в условиях жесткого дефицита воды.

4. Исследовано влияние ветроэнергетической установки на режим работы локальной электроэнергетической системы в условиях изменения конфигурации графиков нагрузки потребителей активной мощности с помощью методов математического моделирования. В результате разработаны рекомендации по практическому применению ВЭУ.

5. Предложены и запатентованы новые конструкции ветровой установки многолопастного типа. Разработанные конструкции ВЭУ карусельного типа с вертикальной осью, включающие в себя использование одно, двух и многоярусных конструкции ветроколеса, а также технические решения позволяют существенно улучшить показатели по стартовому моменту, коэффициенту использования ветра, устойчивости работы конструкции

при работе в условиях турбулентности, а также обеспечить снижение затрат на обслуживание.

6. Проведены работы по технико-экономическому обоснованию применения локальных электроэнергетических систем для электроснабжения в городской среде. Показано, что эффективность использования ВЭУ в условиях городской среды в большой степени зависит от обоснованного выбора места расположения установки с учетом высоты близлежащих зданий и направлений ветровых потоков.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК при

Президенте Республики Таджикистан:

[1 – А] **Рахимов, Ф.М.** К вопросу интеграции ветровых турбин с вертикальной осью в городскую среду [Текст] / Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов, И. Толибзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2018. — №4 (44). — С. 40–46.

[2 – А] **Рахимов, Ф.М.** Оптимизация энергопотребления на основе использования накопителя энергии [Текст] / Н.В. Коровкин, Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Известия РАН. Энергетика. – 2019. - №4. – С. 27 – 41.

[3 – А] **Рахимов, Ф.М.** Влияние соотношение сторон турбины вертикально-осевой ветроэнергетической установки на его производительность [Текст] / Ф.М. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2022. — №2 (58). — С. 21 - 31.

Патенты:

[4 – А] **Рахимов, Ф.М.** Пат. 174578 Российская Федерация. МПК F03D 3/04(2006.01), F03D 7/06 (2006.01), F03D 9/25(2016.01) Мобильная ветроэнергоустановка/ Е.И. Кончаков, А.В. Таскин, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2017103385 от 02.02.2017г. Бюл. №29 опубл. 20.10.2017г.

[5–А] **Рахимов, Ф.М.** Пат. 184213 Российская Федерация. МПК F03D 3/04(2018.05) Ветроэнергетическая установка/ Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов, А.В. Таскин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2018114126 от 18.04.2018г. Бюл. №29 опубл. 18.10.2018г.

[6 – А] **Рахимов, Ф.М.** Пат. 193227 Российская Федерация. МПК E03B 15/02 (2006.01) Устройство для предотвращения образования льда на водной поверхности/ Н.В. Коровкин, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2019125364 от 11.08.2019г. Бюл. №29 опубл. 17.10.2019г.

[7 – А] **Рахимов, Ф.М.** Пат. 193425 Российская Федерация. МПК G01M 13/00 (2006.01) Стенд для испытаний вертикальных лопастей/ Н.В. Силин, М.А. Аврамцева, В.В. Уэно, В.С. Вейна, Ф.М. Рахимов, А.В. Таскин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2019123145 от 23.07.2019г. Бюл. №31 опубл. 29.10.2019г.

[8 – А] **Рахимов, Ф.М.** Пат. 193703 Российская Федерация. МПК E02B 15/02 (2006.01) Устройство для предотвращения образования льда на водной поверхности/ Н.В. Коровкин, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2019125363 от 11.08.2019г. Бюл. №32 опубл. 11.11.2019г.

[9 – А] **Рахимов, Ф.М.** Пат. 208745 Российская Федерация. МПК F03D 5/00 (2006.01) Лопасть ветродвигателя/ Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2021122913 от 02.08.2021г. Бюл. №2 опубл. 11.01.2022г.

Публикации в других изданиях:

[10 – А] Рахимов, Ф.М. Эффективность использования солнечных фотоэлектрических панелей в условиях Таджикистана [Текст] / Л.С. Касобов, Ф.М. Рахимов // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительство и энергетики» 10-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики/ Материалы конференции ТулГУ, -Тула, 2014. Т-2. с. 356-359.

[11 – А] Рахимов, Ф.М. Ввод распределенной генерации в сеть для предоставления системных услуг [Текст] / С.Т. Исмаилов, Ф.М. Рахимов, А. Гуломзода // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительство и энергетики» 11-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики/ Материалы конференции ТулГУ, -Тула, 2015. с. 362-367.

[12 – А] Рахимов, Ф.М. К вопросу создания виртуальной электростанции для повышения эффективности распределенных энергетических источников / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ, - Владивосток, 2016. с. 378-381.

[13 – А] Рахимов, Ф.М. К вопросу внедрения инновационных технологий smart grid в систему электроснабжения острова русский / Н.В. Силин, В.А. Кислюков, Н. Хасанзода, Е.П. Манакон, Ф.М. Рахимов // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ, - Владивосток, 2016. с. 382-386.

[14 – А] Рахимов, Ф.М. К вопросу создания локальных энергетических установок на базе возобновляемых источников энергии / А.В. Таскин, Е.И. Кончаков, А.В. Герасименко, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, Н. Хасанзода // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ, - Владивосток, 2016. с. 391-393.

[15 – А] Рахимов, Ф.М. Вопросы комплексного использования возобновляемых источников энергии на локальных объектах / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // «Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы» [Электронный ресурс]: материалы региональной науч.-практ. конф. молодых ученых, ДВФУ,- Владивосток, 2016. с. 77-81.

[16 – А] Рахимов, Ф.М. Анализ эффективности внедрения вертикально – осевых ветроэнергетических установок в частных домохозяйствах (на примере Приморского края) / Ф.М. Рахимов // Международная научно-практическая конференция: «Развитие социального и научно-технического потенциала общества» сборник статей Международной научно-практической конференции 15 января 2018 г. г. Москва. [Электронный ресурс]– М.: Импульс, 2018. – с. 854-860.

[17 – А] Рахимов, Ф.М. Применение мобильных ветроустановок для энергообеспечения маломощных потребителей [Текст]/ Ф.М. Рахимов // Перспективные системы и задачи управления: материалы Тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции и Девятой молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2018. –с. 270-272.

[18 – А] Рахимов, Ф.М. К вопросу использования ветроустановок в городской среде / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее. сборник статей XV Международной научно-практической конференции в 3 ч. Ч 1. [Электронный ресурс]–Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». –2018. –с.39-43.

[19 – А] Рахимов, Ф.М. Система мониторинга характеристик фотоэлектрических модулей с применением современных коммуникационных технологии / Н.В. Силин, Ф.М.

Рахимов // Материалы Республиканской научно – практической конференции Электроэнергетика, гидроэнергетика, надёжность и безопасность / Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.-Душанбе: «Промэкспо». – 2016. – с. 232-236.

[20 – А] Рахимов, Ф.М. Исследование характеристик вертикально-осевой ветротурбины / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Актуальные вопросы фундаментальных и прикладных исследований. Сборник статей Всероссийской научной конференции. – Владивосток, ДВФУ, 2019. – с. 56-57.

[21 – А] Рахимов, Ф.М. Оценка возможности использования ветровой энергии в локальной электроэнергетической системе Рапшской долины Таджикистана / Ф.М. Рахимов, Л.С. Касобов // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». 16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.2: материалы конференции. – Тула. ТулГУ, 2020. – с. 297 – 301.

**МУАССИСАИ ТАЪЛИМИИ ФЕДЕРАЛИИ ДАВЛАТИИ АВТОНОМИИ
МАЪЛУМОТИ ОЛӢ «ДОНИШГОҲИ ФЕДЕРАЛИИ ШАРҚИ ДУР»**

**ДОНИШГОҲИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ АКАДЕМИК М.С. ОСИМӢ**

УДК 621.3:621.316.1

Бо ҳуқуқи дастнавис



РАҲИМОВ ФИРДАВС МИРЗОУМАРОВИЧ

**ТАҲҚИҚ ВА ҚОРҚАРДИ СИСТЕМАҲОИ ЭЛЕКТРИКИИ
ЛОКАЛӢ ДАР АСОСИ ДАСТГОҲҲОИ ЭНЕРГЕТИКИИ
АМУДӢ – МЕҲВАРӢ БОДИИ НАМУДИ ҚАРУСЕЛӢ**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣи номзади илмҳои техникӣ
аз рӯи ихтисоси 05.14.01 – Системаҳо ва мучтамаъҳои энергетикӣ**

Роҳбари илмӣ:
доктори илмҳои техникӣ, дотсент,
Силин Николай Витальевич

Душанбе – 2023

Диссертатсия дар кафедраи “Электроэнергетика ва электротехника” и Донишгоҳи федералии Шарқи Дур – и Федератсияи Россия ва кафедраи “Неругоҳҳои электрикӣ” – и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Силин Николай Витальевич,

доктори илмҳои техникӣ, дотсенти Департаменти системаҳои энергетикӣ Донишкадаи Политехникии «Донишгоҳи федоролии Шарқи Дур» ш. Владивосток ФР.

Муқарризи расмӣ:

Велькин Владимир Иванович,

доктори илмҳои техникӣ, дотсент, «Донишгоҳи федоролии Урал» ба номи Президенти якуми Россия Б.Н. Ельцин», ш. Екатеринбург ФР.

Юлдошев Зарифҷон Шарифович,

доктори илмҳои техникӣ, дотсент, и.в. сарҳодими илмии Маркази омӯзиш ва тадқиқи манбаъҳои барқароршавандаи энергияи Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АМИТ.

Муассисаи пешбар:

Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон
н. Кушониён.

Ҳимояи диссертатсия санаи «___» _____ соли 2023, соати 14:00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионӣ 6D.KOA-049 дар назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғай: 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад.

Бо диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи расмӣ Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ: [https:// www.ttu.tj](https://www.ttu.tj) шиносои пайдо кунед.

Автореферат санаи «___» _____ соли 2023 ирсол шудааст.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент

Султонзода Ш. М.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот. Дар айни замон дар системаи энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон манбаи асосии нерӯи барқ нерӯгоҳҳои барқи обӣ (НБО) мебошанд, ки ҳиссаи онҳо дар баланси умумии энергетикӣ 98 % тамоми нерӯгоҳҳои барқии амалкунандаро ташкил медиҳад. Дар фасли зимистон бинобар сабаби норасоии шадиди об тавлиди нерӯи барқ даҳҳо маротиба кам мешавад ва дар баъзе мавридҳо комилан қатъ мешавад. Аз ин рӯ, яке аз масъалаҳои мубрами рушди иқтисодиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон ин баланд бардоштани эътимоднокии системаҳои энергетикӣ (СЭ), инчунин ҷустуҷӯи манбаҳои алтернативии коҳиш додани вобастагӣ аз як захираи энергия мебошад.

Бо қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, таҳти №795 (аз 30 декабри соли 2015) «Дар бораи Барномаи рушди манбаҳои барқароршавандаи энергия ва сохтмони нерӯгоҳҳои барқи обии хурд барои солҳои 2016-2020» қабул гардид. Илова бар ин, барои рушди энергетикаи дарёҳои хурд Барномаи дарозмуддати сохтмони нерӯгоҳҳои барқи обии хурд таҳия ва аз ҷониби Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон қабул шудааст. Тибқи ин ҳуҷҷатҳо бояд ба омӯзиши иқтисодии манбаҳои барқароршаванда ва ҷорӣ намудани технологияҳои нав ва дар заминаи онҳо барои таъмини истеъмолкунандагони минтақаҳои дурдасти кӯҳистони ҷумҳурӣ бо нерӯи барқ таваҷҷуҳи махсус дода шавад. Ҳоло ин барномаҳо қисман иҷро шудаанд ва барномаи нав мавриди баррасӣ қарор дорад.

Дар даврони соҳибистиклолии Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2021 зиёда аз 1300 МВт иқтисдорҳои нав ба кор андохта шуданд, ки беш аз 25 МВт ба нерӯгоҳҳои барқи обии хурд (НБО - хурд) рост меояд. НБО хурди алоҳида асоси системаҳои электрикии маҳаллиро ташкил медиҳанд, ки истеъмолкунандагони минтақаҳои дурдастро бо нерӯи барқ таъмин мекунанд. Эътимоднокӣ ва бетанаффус барқтаъминкунӣ аз ҷунин манбаҳои бештар аз мавҷудияти захираҳои об вобаста аст.

Яке аз роҳҳои ҳалли ин масъала ташкили системаҳои электрикии локалӣ мебошад, ки аз НБО -и хурд ва нерӯгоҳҳои барқии бодӣ (НББ) иборат аст. Иқтисодии энергетикаи бод дар Тоҷикистон хеле калон буда, пас аз захираҳои обӣ ҷойи дуюмро ишғол мекунад. Дар баробари ин, истифодаи муштараки НБО ва турбинаҳои бодӣ боиси мураккаб шудани вазифаҳои ҳалшаванда аз ҷиҳати самаранокӣ ва оптимизатсияи кори муштараки онҳо аз ҳисоби гуногунии захираҳои аввалия мегардад.

Барои ба даст овардани системаи боэътимоди энергетикаи локалӣ ҷиҳати бемаҳдудият бо нерӯи барқ таъмин намудани истеъмолкунандгон баланд бардоштани самаранокии он лозим аст. Банақшагирии оптималӣ бо истифода аз стратегияҳои илмӣ асосёфта метавонад ноустувории истеъмол ва тавлид, инчунин тағйирёбии талаботро, ки дар натиҷаи зиёд гардидани аҳоли ба вучуд омадааст, бартараф намояд. Стратегияҳои таҳияшаванда бояд сенарияи аз ҳама ҳолати вазнини тавлиди энергияи барқароршаванда ва истеъмоли онро барои интихоби иқтисдорҳои оптималӣ дар бар гирад. Бо сабаби устувории ин усулҳо, системаи тарҳрезӣшуда метавонад сарбориро дар рӯзҳои бо тавлиди энергияи барқароршаванда ва тағйирёбии бор баландтар барорад.

Ҳалли ин масъалаҳо вазифаи таъхирнопазир буда, бо оптимизатсияи равандҳои табдил, тақсим, танзим дар ҷунин системаҳои энергетикӣ алоқаманд аст.

Ба инкишоф додан ва ба вучуд овардани дастгоҳҳои энергетикаи бодӣ, ки барои шароити экстремалии истифодабарӣ, дорой тавсифҳои ба қадри кифоя боэътимоди энергетикӣ пешбинӣ карда шудаанд, диққати калон додан лозим аст. Ҳалли самарабахши ин гуна масъалаҳо асосан бо истифодаи усулҳои моделсозии физикию математикӣ алоқаманд аст.

Дарачаи коркарди мавзӯ. Масъалаҳои шарҳи математикаи протсессҳои табдил, тақсим, танзим дар системаҳои электрикӣ ва энергетикӣ дар асарҳои К. Демирҷян, Л. Нейман, Н.В. Коровкина, Л. Бессонова, В. Веникова, Л. Рожкова, Д. Арзамастсева, Н.И. Воропай, Ю.Б. Гука ва дигарон дарҷ гардидааст.

Масъалаҳои оптимизатсияи системаҳо дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ) дар асарҳои олимони ватанӣ ва хориҷӣ инъикос ёфтаанд: В.П. Харитонов, П.П. Безруких, В.В. Елистратова, В.И. Виссарионов, О. Поппел, В.В. Лукутина, С.Н. Удалова, В.З. Манусова, С.Г. Обухов, А.Қ. Қирғизов, Ф.О. Исмоилов, К. Роре, G.F. Naterer, S. Eriksson ва дигарон.

Қор ба ҳалли масъалаҳои назариявӣ ва амалии баланд бардоштани самаранокӣ ва оптимизатсияи системаҳои энергетикӣи локалӣ, аз он ҷумла баррасӣ дар қаламрави Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида шудааст.

Объекти таҳқиқоти диссертатсия системаҳои энергетикӣи локалӣ дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия, аз ҷумла системаҳои энергетикӣи локалӣ дар асоси НБО ва НББ мебошад.

Мавзӯи (предмет) таҳқиқот: баланд бардоштани самаранокӣи фаъолияти системаҳои энергетикӣи локалӣ дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия тавассути истифодаи маҷмӯи онҳо.

Мақсади кори диссертатсия эҷоди назарияи аз ҷиҳати асоснокунӣ илмӣ оптимизатсияи речаҳои кори манбаъҳои гуногуни тавлидкунанда дар системаҳои локалии энергетикӣ ва таҳияи қарорҳои техникӣ барои баланд бардоштани самаранокӣи турбинаҳои бодӣ мебошад.

Ҳадафҳои таҳқиқот. Барои ноил шудан ба ин ҳадаф вазифаҳои зерин гузошта ва ҳал карда шуданд:

1. Маълумот дар бораи вазъи кунунӣ соҳаи энергетикаи барқ дар қаламрави Ҷумҳурии Тоҷикистон, инчунин усулҳо ва воситаҳои мавҷудаи баланд бардоштани самаранокӣи энергетикӣи онҳо, кам кардани вобастагии маҳалҳои дурдаст аз мавҷудияти захираҳои об ҷамъбаст ва таҳлил карда мешаванд.

2. Тартиби оптимизатсияи таркиби системаи маҳаллии энергетикӣ бо назардошти шумораи номаҳдуди манбаъҳои гуногуни барқароршавандаи энергия ва дастгоҳҳои захиракунии (нигоҳдори) энергия таҳия карда шавад.

3. Тартиб додани модели математикӣи системаи энергетикӣи локалӣ дар асоси нерӯгоҳи хурди обӣ, турбинаи бод ва дастгоҳи нигоҳдори энергия барои арзёбӣ ва таҳлили назорати самаранокӣи сарборӣи фаъл дар шароити норасоии шадиди об.

4. Омӯштани таъсири нерӯгоҳи электрикӣи бод ба речаи кори системаи маҳаллии электрикӣ ва тағйир додани конфигуратсияи хатти сарборӣи истеъмолкунандагон (ё гуруҳи истеъмолкунандагон) тавоноии фаъл.

5. Оид ба моделсозии физикӣ-математикӣи речаҳои кори нерӯгоҳҳои барқӣ бодӣ таҳқиқоти комплексӣ гузаронида, таъсири он ба кори системаи электрикӣи локалӣ таҳлил карда, аз рӯи натиҷаҳои ба даст овардашуда барои татбиқи амалӣ тавсияҳо тартиб дода шавад.

6. Тартиб додани конструксияи турбинаи бодии бисёрпара, ки аз ҷиҳати моменти ба қор андохтан, коэффитсиенти истифодабарӣи бод, устувории конструксияи хангоми қор дар шароити турбулентӣи беҳтар гардида, инчунин кам кардани хароҷоти нигоҳубини онро таъмин менамояд.

7. Гузаронидани таҳқиқоти техникӣ-иқтисодӣ оид ба истифодаи системаҳои энергетикӣи локалӣ, ки аз нерӯгоҳҳои барқӣи обӣи хурд ва турбинаҳои бодӣ барои таъмини истеъмолкунандагони дурдаст иборат аст.

Усулҳои таҳқиқот. Хангоми ҳалли вазифаҳои гузошташуда, усулҳои электротехникаи назариявӣ, усули кам кардани функцияи хаттӣ дар зери маҳдудиятҳои хаттӣ дар шакли баробарӣ ва нобаробарӣ (усули симплекс), усулҳои моделсозии математикӣ, маҷмӯи баътаи барномаи MATLAB/Simulink, усулҳои моделсозии физикӣ. истифода мешаванд.

Навоари илмӣ таҳқиқот дар он аст, ки дар рафти кори таҳқиқотӣ натиҷаҳои зерини илмӣ ба даст оварда шудаанд:

1. Масъалаи оптимизатсияи истеъмоли энергия аз системаи энергетикии локалӣ ҳал карда шуд, ки он ба инобат гирифтани миқдори номаҳдуди манбаъҳои гуногуни энергияи барқароршаванда, аз қабилӣ нерӯгоҳҳои барқи обии хурд, турбинаҳои бодӣ, бо дастгоҳҳои зағиракунии энергия пешбини шудааст.

2. Техникаи баланд бардоштани самаранокии нерӯгоҳҳои барқи обии хурд дар шароити норасоии шадиди об таҳия шудааст, ки ба шабакаи генератори бод ва сарбориро ба ду қисм тақсим мекунад: ба таври қатъӣ муайяншуда ва тағйирёбанда, ки бо мақсади оптимизатсия тағйир дода мешавад.

3. Лоихаи турбинаи бодии намуди каруселӣ, ки меҳвари амудӣ дорад, кор карда баромада шудааст ва дар он истифодаи конструксияҳои як, ду ва бисёрзинаи чархҳои бодиро дар бар мегирад.

4. Самаранокии танзими конструксияи турбинаи бодӣ, аз ҷумла, бо роҳи тағйир додани таносуби паҳлӯҳои ротор ва андозаҳои парра бо мақсади зиёд кардани коэффитсиенти тавоноии исбот шудааст. Натиҷаҳои боэътимод ба даст оварда шуданд, ки имкон медиҳанд речаҳои кори дастгоҳи бодиро дар доираи васеи тағйирёбии суръати бод (аз 1 м/с то 30 м/с) баррасӣ шаванд.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот:

1. Натиҷаҳои таҳқиқот ва қарорҳои илмӣ-техникии кор карда баромадашуда оид ба ташкили системаҳои электрикии локалии дорой манбаъҳои гуногуни неруи барқ барои татбиқи барномаи дарозмуддати рушди манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон метавонанд истифода шаванд.

2. Турбинаи бодии таҳияшуда, ки дорои нишондодҳои энергетикии мукамал мебошад, метавонад барои бунёди системаҳои локалии энергетикӣ дар шароити шадиди экстремалии истифодабарӣ барои ноҳияҳои дурдасти Ҷумҳурии Тоҷикистон пешбинӣ шудааст.

3. Маводҳои кори диссертатсионӣ ба раванди таълимии кафедраи электроэнергетика ва электротехникаи Донишгоҳи федералии Шарқи Дур ҳангоми таълими фанни «Асосҳои фаъолияти лоихакашӣ» ворид карда мешаванд.

4. Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ барои ба бунёди иншооти таҷрибавии системаи электрикии локалӣ дар асоси генератори бодӣ дар кафедраи электроэнергетика ва электротехникаи Донишгоҳи федералии Шарқи Дур ва дар кафедраи нерӯгоҳҳои электрикии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ истифода бурда шудааст.

Нуқтаҳои асосии таҳқиқоти диссертатсионӣ, ки ба ҳимоя пешниҳод карда мешаванд:

1. Роҳҳои ҳалли проблемаҳои бо неруи барқ таъмин намудани истеъмолкунандагони минтақаҳои дурдасти Тоҷикистон.
2. Принципиҳои ташкили системаҳои энергетикии локалӣ дар асоси истифодаи манбаъҳои гуногуни энергия.
3. Сохтор ва принципи татбиқи намунаи таҷрибавии турбинаи бодии амудӣ меҳвар бо ротори дуқабата.
4. Алгоритми танзими конструктивии турбинаи бодӣ, аз ҷумла, бо роҳи тағйир додани таносуби паҳлӯҳои ротор ва андозаҳои парра бо мақсади зиёд кардани коэффитсиенти тавоноӣ.
5. Натиҷаҳои таҳқиқоти назариявӣ ва таҷрибавии речаҳои кори турбинаи бодӣ амудӣ-меҳвар намуди каруселӣ дар ҳайати системаи энергетикии локалӣ.

Саҳми шахсии муаллиф аз муқаррароти умумии ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот, гузаронидани тадқиқоти таҷрибавӣ барои муайян кардани нишондиҳандаҳои асосии нерӯгоҳи бодӣ, иштирок дар коркард, таҳлил, ҷамъбасти натиҷаҳои бадастомада, омода кардани мавод барои интишор, инчунин тартиб додани хулосаҳои асосие, ки муаллиф яққоя бо роҳбари роҳбарикунанда қабул кардааст.

Мутобиқати диссертатсия бо шиносномаи ихтисос. Мавзӯ ва мазмуни рисола ба шиносномаи ихтисоси 05.14.01 – «Системаҳо ва мучтамаъҳои энергетикӣ» (саҳ. 3.1, с. 3.3, с. 3.4 ва с. 3.11) мувофиқат мекунанд.

Татбиқи натиҷаҳои кор. Натиҷаҳои корро дар таҳия ва ҷорӣ намудани системаҳои автономии барқтаъминкунӣ дар асоси турбинаҳои бодӣ барои системаҳои энергетикӣи локалӣ дар объектҳои дурдасти Тоҷикистон истифода бурдан мумкин аст.

Маводҳои диссертатсионӣ дар кафедраи системаҳои энергетикӣи Донишгоҳи федералии Шарқи Дур дар раванди таълим дар курсҳои «Таъминоти барқи шаҳрҳо ва деҳот», «Асосҳои фаъолияти лоиҳакашӣ», семинари илмӣ «Технологияҳои сарфакунандаи энергия дар электроэнергетика», инчунин дар курси лоиҳакашӣ ва корҳои хатми таҳассусӣ ҷорӣ гардидааст. Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ дар кафедраи системаҳои энергетикӣи Донишгоҳи Федеролии Шарқи Дур дар асоси генератори бодӣ дар майдончаи таҷрибавӣ барои бунёди системаи энергетикӣи локалӣ истифода бурда шудааст.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот. Эътимоднокӣ ва асоснокии натиҷаҳои илмӣ бо истифодаи дурусти усулҳои маъруфи илмӣ барои асоснок кардани натиҷаҳо, хулосаҳо ва тавсияҳо тасдиқ карда мешавад. Дуруст будани натиҷаҳо бо мувофиқати хуби байни натиҷаҳои таҷрибавӣ аз рӯи усули таҳияшуда ва натиҷаҳои адабии ҳисоб тасдиқ карда мешавад.

Санҷиш ва тасдиқ намудани натиҷаҳои кор. Муқаррарот ва натиҷаҳои асосии диссертатсия дар конференсияи XIX умумирусиягии илмӣ-техникии «Энергетика: самаранокӣ, эътимоднокӣ, бехатарӣ» (Томск, 2013); Конфронси X байналмилалӣ оид ба масъалаҳои истихроҷи маъдан, сохтмон ва энергетика «Проблемаҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва экологии саноати кӯҳӣ, сохтмон ва энергетика» (Тула, 2014); Конфронси VII байналмилалӣ илмию амалии «Дурнамои рушди илм ва маориф» (Душанбе, 2014); Конфронси XI байналмилалӣ оид ба истихроҷи маъдан, сохтмон ва энергетика «Проблемаҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва экологии истихроҷи маъдан, сохтмон ва энергетика» (Тула, 2015); Конфронси байналмилалӣ илмӣ «Технологияҳои муосир ва рушди таълими политехникӣ» (Владивосток, 2016); Конфронси байналмилалӣ илмию амалӣ: «Рушди неруи иҷтимоӣ ва илмию техникии ҷомеа» (Маскав, 2018); Конфронси сенздаҳуми илмию амалии умумирусиягӣ ва нӯҳумин мактаб-семинари ҷавонон «Идоракунӣ ва коркарди иттилоот дар системаҳои техникӣ» (Ростови лаби Дон, 2018); Конфронси XV байналмилалӣ илмӣ-амалии «Илм ва маориф: нигоҳ доштани гузашта, мо ояндаро месозем» (Пенза, 2018); Конфронси минтақавӣ илмию амалии олимони ҷавон «Илм, технология, истеҳсолоти саноатӣ: таърих, ҳолати кунунӣ, дурнамо» (Владивосток, 2016) маъруза шудааст.

Нашрияҳо. Натиҷаҳои асосии кори диссертатсионӣ дар 21 мақолаи ҷопӣ, аз ҷумла 3 мақола дар нашрияҳои тақризии аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионӣи назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон барои наشري натиҷаҳои таҳқиқоти диссертатсионӣ тавсияшуда, 9 мақола дар маҷаллаҳои байналхалқӣ ва умумирусияӣ. конференсияҳои илмию техникӣ, 2 мақола дар нашрияҳои дигар ба таъб расидаанд, 6 патент барои моделҳои фойданок гирифта шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми кор. Кори диссертатсионӣ аз муқаддима, ҷор боб, хулоса, номгӯи адабиётҳо аз 135 номгӯй ва замимаҳо иборат аст; Ҳаҷми рисола аз 165 саҳифа иборат буда, 12 ҷадвал ва 60 расмро дар бар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар муқаддима аҳамияти мавзӯи таҳқиқот асоснок карда шуда, ҳадаф ва вазифаҳои кори диссертатсия, навоариҳои илмӣ ва арзиши амалии таҳқиқот муайян карда шудааст.

Дар **боби якум** вазъият ва проблемаҳои бо неруи барқ таъмин намудани истеъмолкунандагон аз системаҳои энергетикӣи локалӣ таҳлил карда шудааст. Системаҳои таъмини барқи локалӣ кайҳо боз маълуманд, вале баъд аз пайдо шудани нерӯгоҳҳои пуриқтидор ва муттаҳидкунӣи онҳо ҷои худро ба шабакаҳои мутамаркази энергетикӣ доданд. Аммо дар солҳои охир шумораи онҳо зиёд шуда истодааст.

Дар §1.1 талаботи асосӣ нисбат ба системаҳои локалии таъмини барқ дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия муайян карда шуда, асосан аз рӯи хусусиятҳои намуди

манбаи истифодашаванда ва истеъмолкунандагони нерӯи барқ, ки хусусияти стохастикӣ доранд, муайян карда мешаванд.

Дар зербанди §1.2 таснифи системаҳои маҳаллии таъминоти барқро бо истифода аз манбаҳои тавоноиашон хурд таъмин мекунад, оварда шудааст.

Таҳлил нишон дод, ки дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мафҳуми “системаи локалии барқ” амалан истифода намешавад ва системаҳои «автономӣ»-и мавҷуда аз рӯи ягон меъёри дар расми 1.1 овардашуда тасниф карда нашудаанд.

Системаҳои барқтаъминкунии локалӣ одатан аз рӯи иқтидори умумии насбшуда, аз рӯи намуди нақшаи пайвасти барқ ва аз рӯи таъинот тасниф карда мешаванд (расми 1.1).

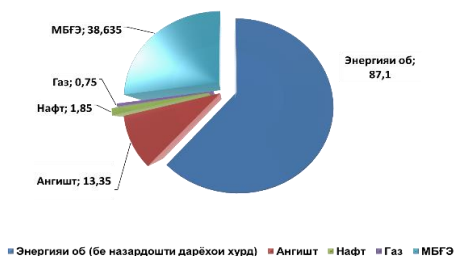


Расми 1.1. Таснифи шабакаҳои локалии барқтаъминкуни

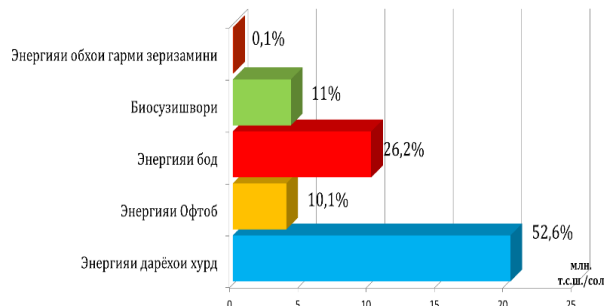
Дар §1.3, натиҷаҳои таҳлили системаҳои локалии таъминоти барқ дар асоси манбаҳои барқароршавандаи энергия бо таҳлили муфассали адабиёт оварда шудаанд.

Дар §1.4 оид ба таҳлили вазъи электроэнергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон маълумот оварда шудааст. Маълум шуд, ки сохтмони фаъолонаи НБО-ҳои хурд дар ноҳияҳои дурдасти қўхсори ҷумҳури проблемаи бо нерӯи барқ таъмин намудани истеъмолкунандагони локалиро пурра ҳал карда наметавонад. Барои системаҳои электрикии локалии ҷумҳури истифода бурдани манбаҳои барқароршавандаи энергия бо мақсади баланд бардоштани самаранокии онҳо тақлифҳо пешниҳод карда шудаанд.

Аз рӯи таҳлил дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ба ғайр аз захираҳои обӣ, захираҳои зиёди ангишт, гази табиӣ, инчунин имконияти истифодаи манбаҳои барқароршавандаи энергия мавҷуд аст (ниг. расми 1.2). Аммо дар айни замон суръати азхудкунии онҳо назар ба захираҳои обӣ сусттар аст.



Расми 1.2. Захираҳои техникаи захираҳои энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон, млн.т.с.ш./сол

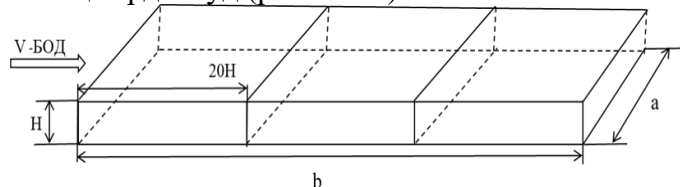


Расми 1.3. Потенциали техникаи захираҳои МБЭ (млн. т.с.ш./сол ва ба ҳисоби фоиз) Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар давоми ду даҳсолаи охир системаҳои энергетикаи локалӣ низ аз ҳисоби НБО-ҳои нав хеле зиёд шудаанд, ки шумораи умумии онҳо дар ҷумҳури зиёда аз 200 ададро ташкил медиҳад. Таҷриба нишон медиҳад, ки дар фасли зимистон нарасидани об ба бозътимод таъмин намудани нерӯи барқ саҳт таъсир расонида, боиси душвориҳои чиддӣ мегардад.

Таҳлили мавҷудияти иқтидори техникий манбаъҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ) дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон нишон медиҳад, ки иқтидори захираҳои бод дар ҷумҳурӣ аз ҷиҳати ҳаҷм (26,2%) пас аз захираҳои дарёҳои хурд ҷои дуюмро ишғол мекунад (расми 1.3).

Дар §1.4.2 арзёбии иқтидори захираҳои бод дар ноҳияҳои дурдасти ҷумҳурӣ оварда шудааст. Ҳангоми баҳодихӣ усули пешниҳоди минтақаи баррасишаванда ҳамчун маҷмӯи худудҳо ё минтақаҳо татбиқ карда шуд (расми 1.4).



Расми 1.4. Модели муайян кардани иқтидори умумии энергияи бод

Майдонро ба қисмҳои (платформаҳои) шакли росткунҷаи дорои тарафҳои a ва b ($S=a \cdot b$) ва энергияи ҳос (E_B , Вт*ҷ/м²) тақсим мекунем. Ҳалли масъала аз муайян кардани таносуби потенциали умумӣ ба миқдори ин қисмҳое, ки тавассути он ҷараёни ҳаво убур мекунад, иборат аст (ниг. расми 1.4).

Ҳангоми H ва a маълум будан майдони «чаҳорҷӯба» муайян карда мешавад: $A=a \cdot H$

Бо маълум b будани шумораи қисмҳо дар майдон баробар аст: $n_p = \frac{b}{20H}$

Мутаносибан, майдони умумии убури ҷараёнҳои ҳаво,

$$S_{\text{хисоб}} = A \cdot n_p = \frac{a \cdot H \cdot b}{20H} = \frac{S}{20}, \quad (1.1)$$

Агар тарафҳои a ва b -ро нисбат ба суръати бод иваз кунем, он гоҳ арзиши S тағйир намеёбад. Бо назардошти ин муқаррарот, иқтидори умумии энергияи бод дар қитъаи майдони S баробар аст ба

$$W_B = E_B \cdot S_{\text{хисоб}} = E_B \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i \quad (1.2)$$

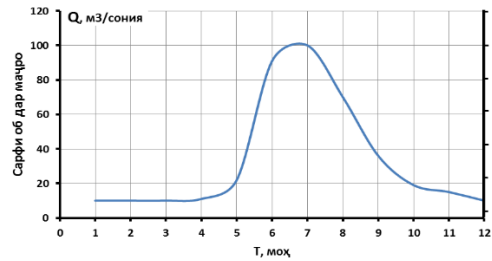
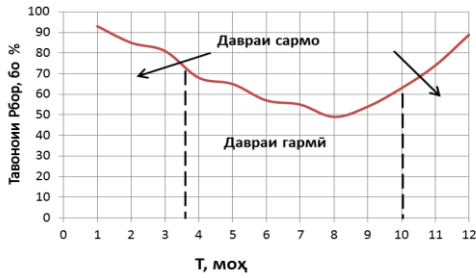
Тавре ки аз формулаи (1.2) дида мешавад, ғафсии қабати H ба арзиши потенциали умумӣ ба таври возеҳ таъсир намерасонад, зеро вобастагии потенциали умумӣ тавассути суръати бод, ки барои муайян кардани он истифода мешавад, зоҳир мегардад.

Арзёбӣ (баҳодихӣ) нишон медиҳад, ки потенциали захираҳои бодӣ метавонад ба рушди технологияи барқароршаванда мусоидат намуда, ба ин васила самаранокӣ ва эътимоднокии таъминоти нерӯи барқро ба истеъмолкунандагон аз шабакаҳои барқии локалӣ таъмин наояд.

Дар **боби дуюм** натиҷаҳои моделсозии математикии системаи локалии энергетикӣ бо НБО-и хурд ва турбинаҳои бодии навъи карусели оварда шудаанд.

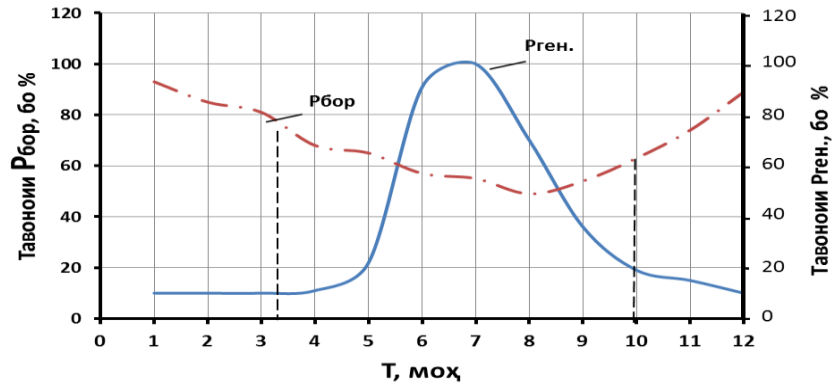
Дар §2.1, таҳлили гузаронидашуда нишон медиҳад, ки зиёдшавии талабот ба нерӯи барқ дар фаслҳои сарди сол мушоҳида мешавад (расми 2.1). Иқтидори зарурии нерӯи барқ дар фасли зимистон истеҳсолшаванда назар ба иқтидори зарурии моҳҳои тобистон қариб ду баробар зиёд аст.

Дар расми 2.2 графикаи тавсифи тақсими маҷрои об аз рӯи моҳҳо дар дарёҳои кӯҳии ҳудуди Тоҷикистон нишон дода шудааст. Истеъмоли обро, ки ба энергияи потенциали табдил дода мешавад $P_{\text{ген}}$ ишора карда, графикаи истеъмоли нерӯи барқи $P_{\text{бор}}$ -ро бо графикаи тағйирёбии речаи об дар дарёҳои кӯҳӣ муттаҳид намуда, баланси нерӯи барқро муайян карда метавонем (расми 2.3).



Расми 2.1. Графики умумии солонаи сарфи неруи барқ дар системаи ЭЭ локалӣ Расми 2.2. Графики хоси тағйир ёфтани речаи об дар дарёҳои хурди кӯхӣ

Ҳангоми ҳалли масъалаи истифодаи якҷояи манбаъҳои барқароршавандаи энергия зарур аст, ки якҷанд меъёрҳои оптимизатсия (минимизатсия ва / ё ҳадди аксар кардани нишондиҳандаҳо) ба назар гирифта шаванд, то муайян кунем, ки кадом моделҳои математикӣ, масалан, ба ҳалли масъалаҳои барномасозии хатӣ ва алгоритми генетикӣ асос ёфтаанд истифода бурдан мумкин аст. Инчунин вазифа гузошта шудааст, ки интихоби оптималии сохтори истеъмоли нерӯи барқ барои системаҳои дорои манбаъҳои барқароршавандаи энергия таҳия карда шавад.



Расми 2.3. Графикаи солонаи истеъмоли ЭЭ ($P_{бор}$) ва тавлид ($P_{ген.}$)

Бояд тазакурр дод, ки бо якхела будани манбаъҳо (масалан, истифодаи НБО ва турбинаҳои бодӣ) инчунин ҳалли масъалаи назорати оптималии речаҳои тавлид ва истеъмоли нерӯи барқро аз рӯи сарборӣ барои таъмини тавозуни энергия ва нерӯи барқ зарур мешавад;

$$P_{бор} = P_{ген.}; W_{бор} = W_{ген.}$$

ки дар он $P_{бор}$ тавоноии истеъмолкунанда аст; $P_{ген.}$ - тавоноии манбаи неруи барқ;

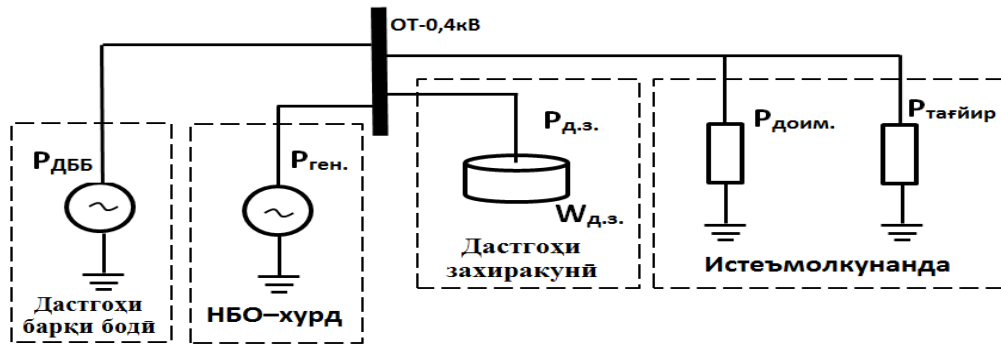
$W_{бор}$ – энергияи электрикии истеъмолшуда аз тарафи истеъмолкунанда; $W_{ген.}$ – энергияи электрикии, ки аз манбаи ЭЭ тавлид мекунад.

Барои тавсифи речаҳои турбинаҳои бодӣ ва ҳалли онҳо аз моделҳои математики истифода бурдан лозим аст, ки дар асоси назарияи усули кам кардани функсияи хатӣ ва аппарати математикӣ - алгоритми генетикӣ, ки метавонанд ба таври кофӣ модели муқоисавии тавоноии тавлидкардаи ДББ – ро бо тавоноии аз ҷониби бор (истеъмолкунанда) истеъмолшударо тавсиф намоянд.

Дар §2.2 натиҷаҳои таҳқиқот оид ба таъмини кори боэътимоди системаи маҳаллии энергетикӣ бо вобастагии ҳадди ақал аз манбаи аввалия тавассути ҷалби дигар манбаъҳо ба баланси энергия оварда шудааст. Дар марҳилаи аввал масъалаи оптимизатсияи тавлиди нерӯи барқ тавассути моделсозии системаи автономии энергетикӣ бо назардошти хатмии қисмҳои додашуда ва тағйирёбандаи тавоноии сарборӣ бо истифода аз алгоритми генетикӣ ва усули кам кардани функсияи хатӣ дар зери маҳдудиятҳои хаттӣ ҳал карда шуд. Шакли баробарӣ ва нобаробарӣ (усули симплекс). Афзалияти ин баҳисобгирии пурраи шумораи номаҳдуди манбаъҳои гуногуни энергияи барқароршаванда мебошад.

Барои Тоҷикистон, манбаъҳои локалии таъмини нерӯи барқ бо истифода аз НБО, турбинаҳои бодӣ ва дастгоҳи захиракуни метавонанд аҳамияти бештари амалӣ дошта

бошанд. Дар расми 2.4 модели системаи баррасишавандаи маҳаллии энергетикӣ нишон дода шудааст.



Расми 2.4. Модели системаи энергетикӣи локалӣ

$P_{ДББ}$ тавоноии дастгоҳи барқи бодӣ, $P_{ген.}$ тавоноии НБО аст, $P_{д.з.}$, $W_{д.з.}$ тавоноии ва ҳаҷми дастгоҳи захиракунии ЭЭ аст, $P_{доим.}$ тавоноии, ки доимӣ муайян карда шудааст ва $P_{тағйир.}$ тавоноии тағйирёбандаи бор мебошад.

Нерӯи барқро тавассути НБО ва дастгоҳи барқи бодӣ тавлид мекунад. Барои таъмини боэътимоди нерӯи барқ дар системаи энергетикӣ системаи захиракунии энергияи зиёдотӣ, ки аз дастгоҳи захиракуний (Д.З.) ва табдилдиҳанда иборат аст, пешбинӣ шудааст.

Ҳалли масъалаи оптимизатсияи кори нерӯгоҳҳои барқи обии хурд дар шароити норасоии шадиди об бо назардошти он сурат мегирад, ки ҳангоми идора кардани қисми тағйирёбандаи бор - ва захиракуний - дар як вақт ду шарт иҷро карда мешавад:

1. Речаи тавлиди нерӯи барқи НБО устувор аст, иқтидори тавлидоти бо мурури замон тағйир намеёбад. Яъне маҳз ҳамин шарт вазъи давраи зимистонро ба инобат мегирад, зеро нерӯи барқ нокифоя аст ва масрафи нерӯи барқи тавлидкардаи НБО ҳамеша ҳадди имкон аст;
2. Барои истеъмоли додашудаи $W_{бор}$ ЭЭ, тавоноии насбшудаи генератори бодӣ $P_{ДББ.макс.}$ табдилдиҳанда $P_{д.з.макс.}$ ва ғунҷоиши табдилдиҳанда $W_{д.з.макс.}$ бояд ҳадди аққал бошад - ин ҳолат арзиши ҳадди ақали тамоми системаро таъмин мекунад.

Ҳадафи оптимизатсияи таҳияшударо метавон ба таври зерин навишт:

$$\begin{cases} P_{ДББ.макс.} \rightarrow \min, \\ P_{д.з.макс.} \rightarrow \min, \\ W_{д.з.макс.} \rightarrow \min, \\ \Delta = \delta(P_{ген.миён.}), \\ P_{ДББ.макс.} \geq 0, P_{д.з.макс.} \geq 0, W_{д.з.макс.} \geq 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Дар ин ҷо, вариатсияи δ ба таври зерин муайян карда мешавад:

$$\delta = \max_{t \in [0, T]} \frac{|P_{ген.миён.} - P_{ген.}(t)|}{P_{ген.миён.}}, \quad P_{ген.миён.} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{ген.}(t) dt, \quad (2.2)$$

ва Δ арзиши ин тағйирот аст, ки дар маҳдудияти навъи баробарӣ дода шудааст.

Ҳал кардани ин масъалаи ғайрихаттии бисёрмақсадноки оптимизатсионӣ (2.1) дар доираи маҳдудият $\Delta = \delta(P_{ген.миён.})$ ба мақсад мувофиқ аст. Биёед ин маҳдудиятро дида бароем ва чӣ тавр он ба таври муфассал ҳисоб карда мешавад. Вариатсияи сифрии δ ба он мувофиқат мекунад, ки НБО-и хурд дар речаи оптималӣ кор мекунад. Аммо, дар ин ҳолат, арзишҳо $P_{ДББ.макс.}$, $P_{д.з.макс.}$, $W_{д.з.макс.}$ метавонанд калон бошанд ва тамоми система дар маҷмӯъ хеле гарон хоҳад буд. Кам кардани иқтидорҳои насбшудаи генератори бодӣ $P_{ДББ.макс.}$, табдилдиҳанда $P_{д.з.макс.}$, инчунин ғунҷоиши батареяҳо $W_{д.з.макс.}$ арзиши системаро кам мекунад, аммо ба нерӯгоҳи барқи обии хурд ҳарчи бештар сарборӣ илова мекунад ва аз баъзе арзишҳо сар карда, боиси имконнопазирии нигоҳдории энергия

мегардад. тавлиди ЭЭ $P_{ген.}(t)$ дар сатҳи доимӣ ва аз ин рӯ, пайдоиши тағиротҳои гайрисифрӣ.

Дар §2.3 техникаи ҳисобкунии маҳдудиятро $\Delta = \delta(P_{ген.миён.})$ медиҳад. Натиҷаи ҳисоб кардани маҳдудият $\Delta = \delta(P_{ген.миён.})$, пайдо кардани чунин арзишҳои қисми тағйирёбандаи сарборӣ $P_{тағйир.}(t)$ - ва захиракунии $P_{д.з.}(t)$ - мебошад, ки дар он майлқунии ками $P_{ген.}(t)$ аз арзиши миёнаи он $P_{ген.миён.}(t)$ ба даст оварда мешавад.

Изҳороти мушкilot инчунин маҳдудияти тағйирёбандаҳои масъала ва муносибатҳои байни онҳоро дар бар мегирад. Тавозуни нерӯ дар шабакаи баррасишаванда бо чунин тарз ифода карда мешавад:

$$\forall t \in [0, T]: \underbrace{P_{доим.}(t) + P_{тағйир.}(t)}_{P_{бор.}(t)} = P_{ген.}(t) + P_{ДББ.}(t) + P_{д.з.}(t) \quad (2.3)$$

$$W_{бор.} = \int_0^T P_{бор.}(t) dt, \quad W_{бор.тағйир.} = \int_0^T P_{тағйир.}(t) dt \quad (2.4)$$

Бо назардошти маълумоти ибтидоӣ $W_{нагр.}$ ва $W_{бор.тағйир.}$ мо, воқеан, арзиши $W_{бор.const} = W_{бор.} - W_{бор.тағйир.}$

Барои захиракунии:

$$\forall t \in [0, T]: -P_{д.з.макс.} \leq P_{д.з.}(t) \leq P_{д.з.макс.} \quad (2.5)$$

$$\forall t \in [0, T]: 0 \leq W_{д.з.}(t) \leq W_{д.з.макс.} \quad (2.6)$$

Қисмати тағйирёбандаи $P_{тағйир.}(t)$ тавоноии сарборӣ бояд манфӣ набошад ва тавоноии истеҳсолкардаи НБО – и хурд мусбат бошад ва наметавонад аз тавоноии умумии насбшудаи генераторҳо зиёд бошад:

$$\forall t \in [0, T]: 0 \leq P_{тағйир.}(t) \leq P_{тағйир.}, \quad 0 \leq P_{ген.}(t) \leq P_{ген.макс} \quad (2.7)$$

$$P_{тағйир.} = [P_{тағйир.1}, P_{тағйир.2}, \dots, P_{тағйир.N}]^T, \quad P_{д.з.} = [P_{д.з.1}, P_{д.з.2}, \dots, P_{д.з.N}]^T \quad (2.8)$$

Коҳиш додани тартиби ҳисобкунии маҳдудиятҳо дар масъалаи барномасозии хаттӣ, ки дар он функционали хатӣ метавонад ҳамчун функсияи ҳадди ақалл гирифта шавад:

$$F(P_{тағйир.}, P_{д.з.}, P_{ген.}) = \sum_{k=1}^{1008} (\alpha_k + \beta_k) \xrightarrow{P_{тағйир.}, P_{д.з.}, P_{ген.}} \min \quad (2.9)$$

Масъалаи (2.9) кам кардани функсияи хаттӣ бо маҳдудиятҳои баробарии хатӣ ва нобаробарии дар боло гирифташуда ҳамчун масъалаи барномасозии хаттӣ тасниф карда мешавад. Натиҷаи ин таснифот ниҳоят муҳим аст, зеро усулҳои ҳалли ин масъала хуб омӯхта шудаанд ва мавҷудияти ҳалли ягонаи он, ки минимуми глобалиро ба функционалии F медиҳад, исбот шудааст. Биёед масъаларо ба шакли стандартии истифодашуда кам кунем, масалан, дар бастаи MATLAB:

$$F(\mathbf{X}) = \langle \mathbf{C}, \mathbf{X} \rangle \xrightarrow{\mathbf{X}} \min,$$

$$\begin{cases} \mathbf{A}_{eq} \mathbf{X} = \mathbf{b}_{eq}, \\ \mathbf{A}_{ineq} \mathbf{X} \leq \mathbf{b}_{ineq}, \\ \mathbf{X}_{min} \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{X}_{max}. \end{cases}$$

Дар §2.4 мураккабии вазифаи оптимизатсияи кори нерӯгоҳҳои барқи обии хурд дар шароити норасоии шадиди об нишон дода шудааст, ки агар таносуби арзиши як киловатт нерӯи насбшудаи генератори бодӣ $S_{ДББ}$ ва табдилдиҳандаи энергияи $S_{д.з.}$ бошад, онро то андозае коҳиш додан мумкин аст. Пас, бигзор $S_{ДББ} / S_{д.з.} = m$ аз сабаби $P_{ДББ.макс.}$ ва $P_{д.з.макс.}$ ифода кардани иқтидорҳои насбшудаи генератори бод ва табдилдиҳанда мутаносибан маълум кунем, ки маънои вазифаи оптимизатсияи кори нерӯгоҳҳои барқи обии хурд дар шароити норасоии шадиди об иборат аст. Арзонтарин конфигуратсияи оптималии

системаи энергетикии локалиро муайян кунем. Дар ин ҳолат, мушкилотро метавон ба таври зерин ифода кард:

$$\begin{cases} P_{\text{ДББ.макс.}} + m \cdot P_{\text{Д.з.макс.}} \rightarrow \min, \\ W_{\text{Д.з.макс.}} \rightarrow \min, \\ \delta(P_{\text{ген.миён.}}) = \max_{t \in [0, T]} (|P_{\text{ген.миён.}} - P_{\text{ген.}}(t)| / P_{\text{ген.миён.}}) = \Delta, \\ P_{\text{ДББ.макс.}} \geq 0, P_{\text{Д.з.макс.}} \geq 0, W_{\text{Д.з.макс.}} \geq 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

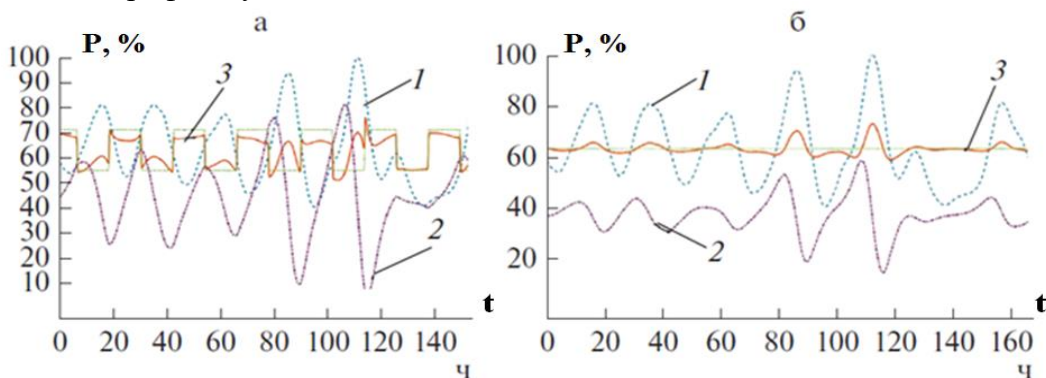
Ҳалли масъалаи дарёфти конфигуратсияи арзонтарини оптималии системаи энергетикии локалӣ маҷмӯи Парето мебошад, ки барои сохтани он алгоритми генетикӣ ва алгоритми навъбандии ғайридоминантӣ NSGA-II истифода шудааст.

Функсияи хаттиро метавон ҳамчун функционалии ҳадди ақал гирифта мумкин аст:

$$F(P_{\text{тағйир.}}, P_{\text{Д.з.}}, P_{\text{ген.}}) = \sum_{k=1}^{k=1008} (\alpha_k + \beta_k) \xrightarrow{P_{\text{тағйир.}}, P_{\text{Д.з.}}, P_{\text{ген.}}} \min \quad (2.11)$$

Маълум аст, ки масъалаи кам кардани функсияи хаттӣ бо маҳдудиятҳои хаттӣ ба монанди баробарӣ ва нобаробарӣ (2.4), ки дар боло гирифта шудааст, ҳамчун масъалаи барномасозии хаттӣ тасниф карда мешавад. Усулҳои ҳалли ин масъала хуб омӯхта шуда, мавҷудияти ягона роҳи ҳалли он, ки минимуми глобалии Функционалии F -ро таъмин мекунад, бо ёрии бастаи MATLAB исбот шудааст.

Ҳалли масъалаи (2.11), ки барои ҳисоб кардани маҳдудиятҳо ҳангоми муайян кардани ҳалли барои дарёфти конфигуратсияи оптималии системаи локалии энергетикӣ зарур аст, шакли хоси дар расми 2.5 нишон додашударо дорад. Ин натиҷаи ҳалли стандартӣ барои графикаи миёнаҳисобшудаи суръати бод, ки дар расми 2.6 нишон дода шудааст, дар асоси апроксиматсияи маълумотҳои чандинмоҳаи таҷрибавӣ дар минтақаҳои кӯҳии Тоҷикистон сохта шудааст, гирифта шудааст.



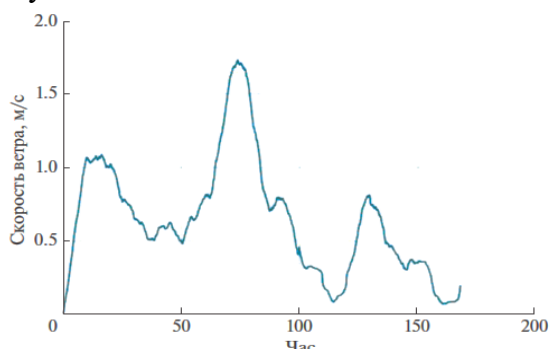
Расми 2.5. Ҳалли маҷмулии масъалаи кам кардани функсияи хаттӣ бо маҳдудиятҳои хаттӣ ба монанди баробарӣ ва нобаробарӣ. Дар графикҳо: 1 - тавоноии қисми тағйирёбандаи сарборӣ, 2 - энергияи дар аккумулятор захирашуда, 3 - тавоноии тавлидшуда аз ҷониби НБО – и хурд

Дар расми 2.5 баъзе роҳҳои ҳалли масъалаи кам кардани функсияи хаттӣ бо маҳдудиятҳои хаттӣ ба монанди баробарӣ ва нобаробарӣ дар ҷараёни ҳалли масъалаи дарёфти конфигуратсияи оптималии арзонтарини системаи энергетикии локалӣ (2.3) оварда шудааст.

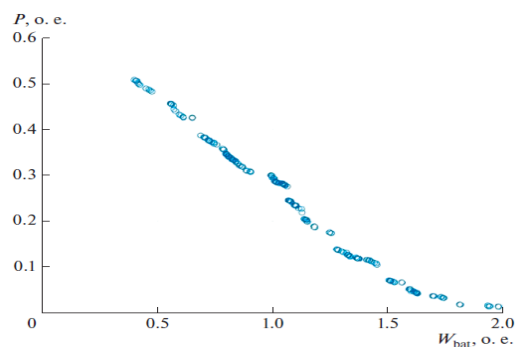
Натиҷаҳое, ки дар расми 2.5а нишон дода шудаанд ба сатҳи нисбатан калон Δ мувофиқат мекунад ва дар расми 2.5б – нишондодашуда ба сатҳи хурди Δ .

Ҳалли масъалаи дарёфти конфигуратсияи оптималии арзонтарини системаи энергетикии локалӣ дар расми 2.7 нишон дода шудааст, ки дар он аввалин функцияҳои ҳадди ақалл ($P_{\text{бод,макс.}} + m P_{\text{Д.з.макс.}}$, барои $m=1$ бо қадди тири ординатаҳо дар воҳидҳои нисбӣ (ба $P_{\text{тағйир.}}$ кам карда шудааст) ва дар баробари тири абсиссаҳо кашида мешаванд, инчунин дар

воҳидҳои нисбӣ (ба $P_{миёна}$ кам карда шудааст), дуҷони функционалии минимумшуда ($1080P_{бод,миёна}$) ба таъхир гузошта мешавад. Дараҷаи Δ нобаробарии сарбории НБО-и хурд $\sim 0,1$. Маҷмӯи Парето, ки дар расми 2.5 оварда шудааст, имкон медиҳад таркиби онро дар шакли роҳи оптималӣ дар доираи васеи тағйирот дар параметрҳои тамоми система барраси намуд.



Расми 2.6. Графики миёна суръати бод барои ноҳияҳои баландкӯҳи Ҷумҳурии Тоҷикистон



Расми 2.7. Шакли маъмулии ҳалли масъалаи (2.3)

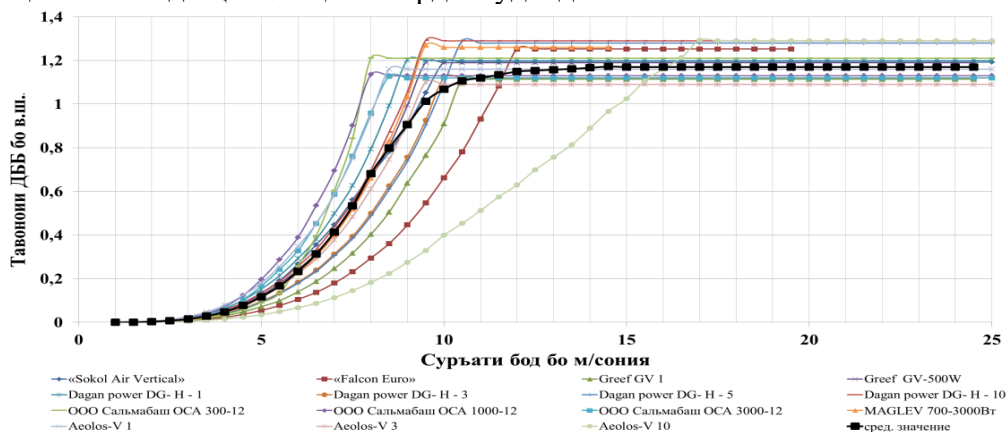
Схемаи сохтории баррасишаванда барои системаҳои локалии электрии Ҷумҳурии Тоҷикистон хос аст, ки онҳо танҳо аз НБО-и хурд истифода мебаранд. Истифодаи аппарати математикӣ — алгоритми генетикӣ ва усули кам кардани функсияи хаттӣ дар шароити маҳдудиятҳои хаттӣ имкон медиҳад, ки дар доираи васеи тағйироти параметрҳои тамоми система таркиби он ба таври оптималӣ муайян карда шавад.

Боби 3 ба масъалаи кор карда баромадан ва моделсозии дастгоҳҳои системаи энергетикӣи локалӣ, аз ҷумла, турбинаи бодӣ бисёрпаррадор бахшида шудааст.

Дар § 3.1 баёниҳои масъала оид ба сохтани турбинаи бодӣ навъи каруселӣ, ки ба шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон мувофиқ аст, оварда шудааст. Гирифтани энергияи максималӣ дар турбинаи бодӣ аз бисёр ҷиҳат ба конструксияи оптималӣ ва шакли дурусти элементҳои конструксия вобаста аст.

Дар §3.2, таҳлили муқоисавии конструксияҳои мавҷудбудаи турбинаҳои бодӣ гузаронида шудааст. Зариби кори турбинаи бодӣ пеш аз ҳама бо таъсири мутақобилаи ҷараёни бод бо парраҳои турбинаи бодӣ муайян карда мешавад. Шакл ва навъҳои дурусти интихобкардаи парраҳо, инчунин кунҷи насби онҳо нисбат ба самти ҷараён метавонад талафоти барқ ва дараҷаи таъсири кунҷҳои бесамарро хеле кам кунад.

Дар расми 3.1 аз рӯи маълумоти шиносмавӣ вобастагии тавоноӣ коркардшуда бо воҳиди шарти (в.ш.) нишон дода шудааст. Оид ба суръати бодӣ турбинаҳои бодӣ, ки мавриди баррасӣ қарор доранд, нишондодҳои миёнаи арифметикӣи иқтисори онҳо (хатти сиёҳ дар графикҳо) нишондода шудааст. Дар ин ҳолат, ҳамаи маълумотҳо ба ду диапазон нисбат ба суръати ҳисобӣ бод $V_{ҳисоб}$ тақсим карда шуданд.

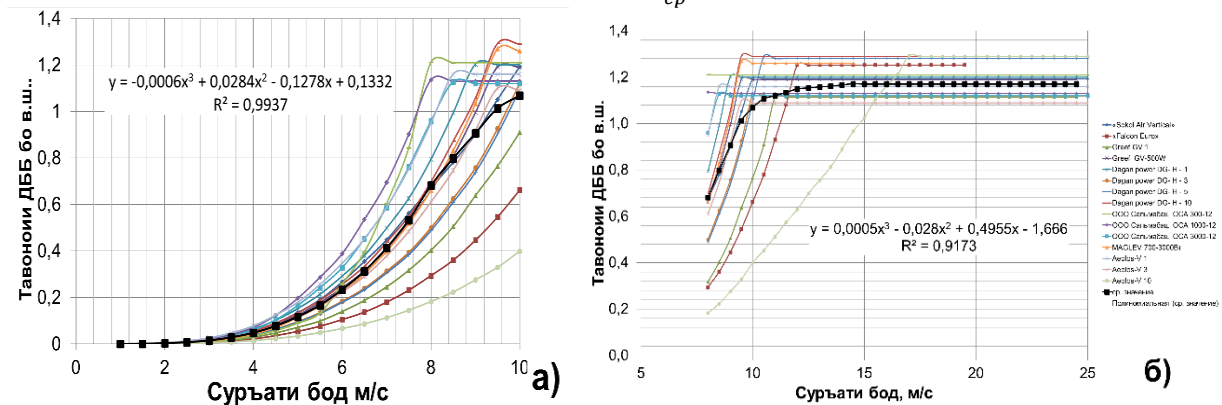


Расми 3.1. – Тавсифҳои энергетикӣ турбинаҳои бодии хурд бо танзими тавоноии нерӯи барқ бо ёрии пайвасти параллелии бори иловагӣ (балластӣ) амалӣ мешавад

Бо истифода аз тавсифҳои энергетикӣ турбинаҳои бодии баррасишаванда дар расми 3.2 мувофиқи формула, майлқунии стандартӣ σ ва зароби тағирёбии v нишондоди миёнаи арифметикӣ тавоноии турбинаҳои бодӣ дар назар дошта шудааст. Барои ҳар як қиммати суръати бод аз доираи кори ДББ бо қадами 1 м/с нишон дода шудааст.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^* - P_{cp}^*)^2}{n}} \quad (3.1)$$

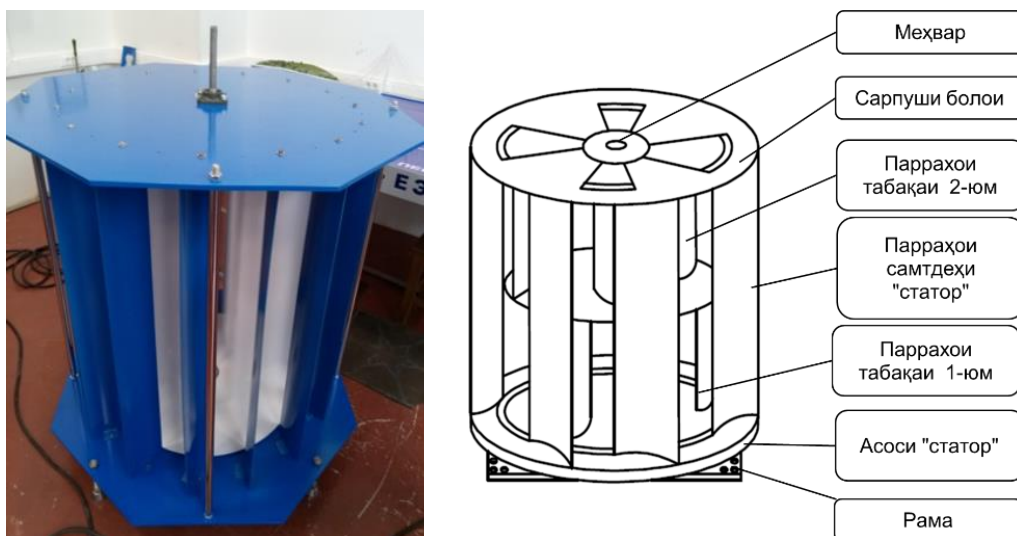
$$v = \frac{\sigma}{P_{cp}^*} \cdot 100\% \quad (3.2)$$



Расми 3.2 — Наздик кардани (аппроксиматсия) тавсифҳои миёнаи энергетикӣ турбинаҳои бодӣ бо в.ш: а) — дар диапазони суръати бод аз минимуми $V_{\text{мин}}$ то $V_{\text{хисоб}}$ хисобшуда; б) - дар доираи суръати бод аз $V_{\text{хисоб}}$ то ҳадди максималии $V_{\text{макс}}$.

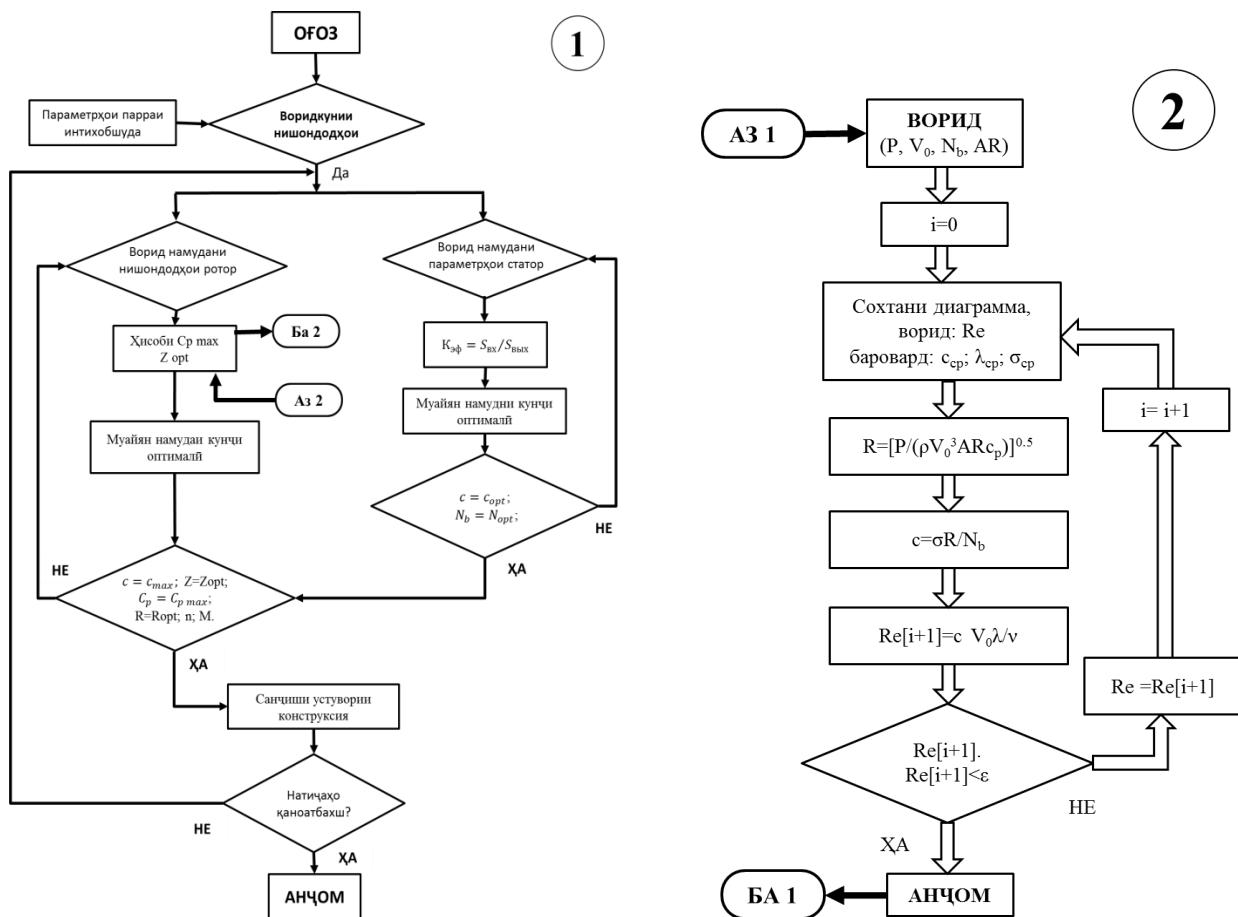
Мувофиқи ҳисобҳо дар тамоми диапазони суръати бодии амалқунанда зароби тағирёбии нишондоди миёнаи арифметикӣ тавоноии турбинаҳои бодӣ аз 15 фоиз зиёд нест.

Дар §3.3 лоиҳаи турбинаи бодии амудию мехварию намуди бисёрпаррадор барои манбаъҳои локалии таъмини нерӯи барқ таҳия карда шудааст (расми 3.3).



Расми 3.3. Намоиши умумии конструксияи дуқабатаи турбинаи бодии бисёрпарра

Дар §3.4 натиҷаҳои таҳқиқоти ҳисоббарорӣ ва таҷрибавии тавсифи энергетикӣ турбинаҳои бод бо назардошти таносуби тарафҳо оварда шудаанд. Барои ин алгоритми ҳисоб кардани параметрҳои турбинаи бод бо мехварию амудӣ тартиб дода шудааст (ниг. расми 3.4).



Расми 3.4. Алгоритм барои ҳисоб кардани параметрҳои турбинаи бодӣ бо меҳвари амудӣ.

Аз графикаи расми 3.5 зичии $\sigma = 0,7$ -ро муайян кардан мумкин аст, ки ин зариби тавоноиро максимум мекунад, ки қимати $C_{pmax} = 0,4$ -ро мегирад, ки ба қимати суръати Z (λ) = 4,0 мувофиқ аст.

Азбаски зичии σ ин аст:

$$\sigma = \frac{N_b c}{R} \quad (3.3)$$

он гоҳ хордаи c -ро метавон ҳамчун функцияи зичӣ, радиуси ротор R ва шумораи чӯбҳои N_b мувофиқи формулаи 3.4 ифода кард:

$$c = \frac{\sigma_{cpmax}}{N_b} R \quad (3.4)$$

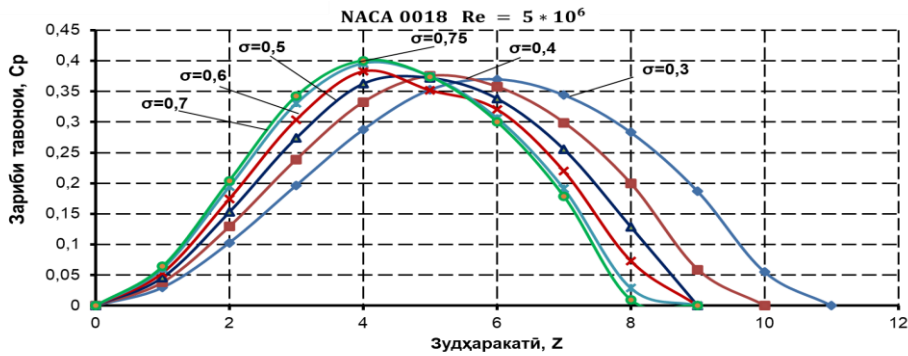
Таносуби тарафҳо. Дар рафти лоиҳакашии турбинаи бодии бо меҳвари амудӣ қимати зариби тавоноии барқ (самаранокии турбинаи бодӣ) аз интиҳоби таносуби тарафҳои турбина вобаста аст.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_0^3 2RhC_p \quad (3.5)$$

Бо муайян кардани таносуби тарафҳои турбина (AR) ҳамчун таносуби баландии парра ба радиуси ротор ($AR = h / R$), радиуси роторро аз рӯи формулаи 3.5 ёфтан мумкин аст.

$$R = \sqrt{\frac{P}{\rho V_0^3 AR C_p}}, \quad (3.6)$$

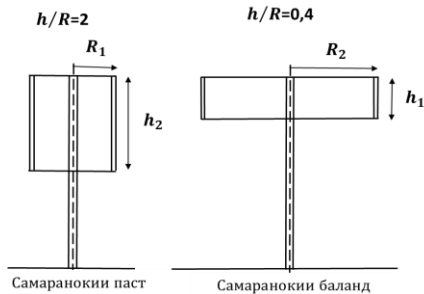
ки дар он тавоноии P ва суръати бод V_0 маълумотҳои ҳисоби мебошанд; ρ – зичии ҳаво, кг/м³ – арзиши он аз ҳарорат ва баландӣ аз сатҳи баҳр вобаста аст.



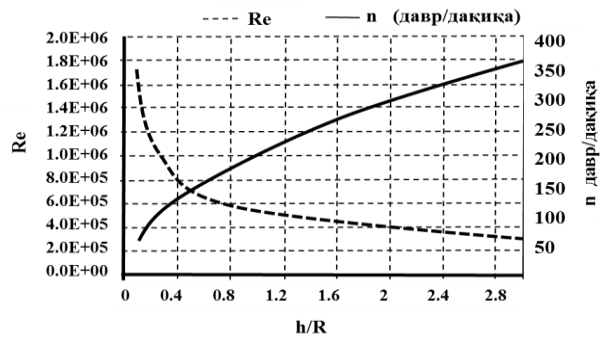
Расми 3.5 – Вобастагии зариви тавоной аз суръат ва зичии ротор

Аз формулаи (3.6) афзоиши радиуси R бо камшавии таносуби AR (ниг. расми 3.6 ва расми 3.7), инчунин таъсири онро ба суръати гардиши турбина мушохида кардан мумкин аст, ки онро (3.7) муайян мекунад).

$$\omega = \frac{\lambda_{срmax} V_0}{R} \quad (3.7)$$



Расми 3.6 - Намунаҳои турбинаҳои бодӣ ва вобастагии он аз AR



Расми 3.7 - Таъсири таносуби ротор ба адади Рейнолдс ва n нишон дода шудааст.

Адади Рейнолдс бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$Re = \frac{c w}{\nu} \quad (3.8)$$

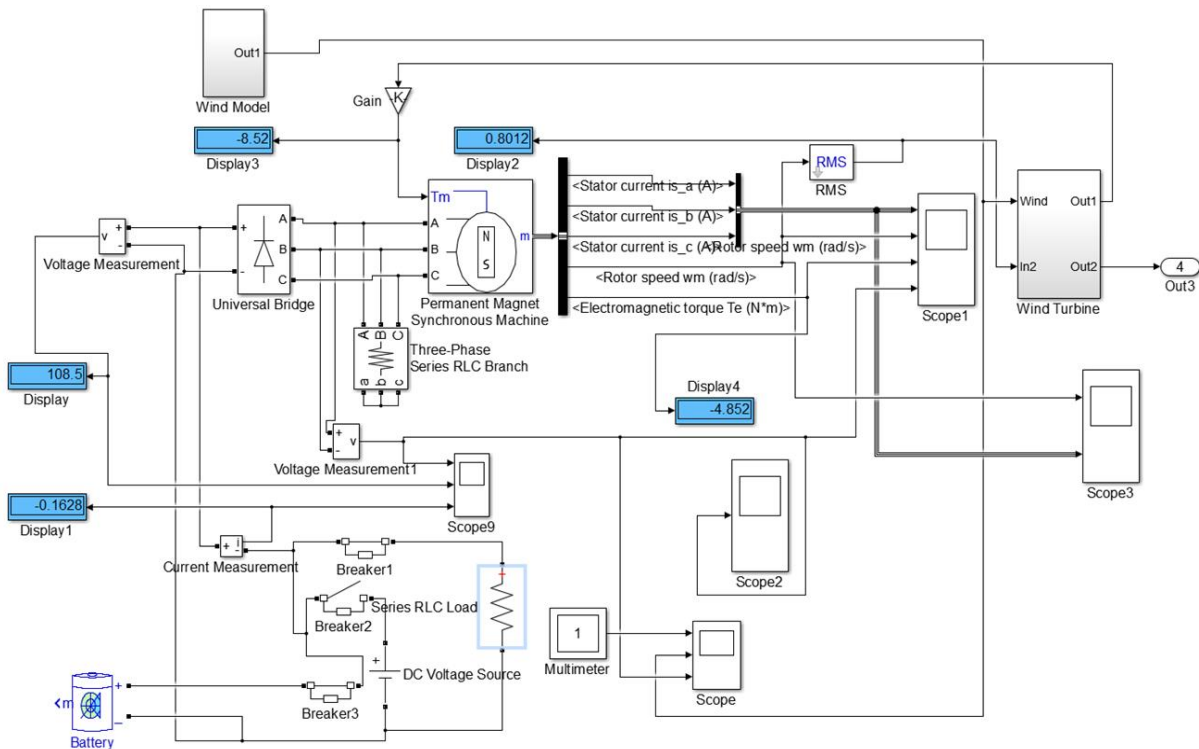
ки дар он c – хордаи парра аз r -и формулаи 3, ν часпакии кинематикии чараён ва w суръати бод нисбат ба профил мебошад.

Ҳангоми адади Рейнолдс баробари 5×10^6 будан, аз графикаи расми 3.7 мо арзиши максималии зариви тавоноиро ($C_{рmax} = 0.41$) дар арзишҳои максималии зариви пуркунии ротор ва суръати мутаносибан муайян мекунем: $\sigma_{срmax} = 0.7$ ва $Z_{срmax} = 4.0$. Барои таносуби тарафҳои 2 ($h / R = 2$), мувофиқи формулаи (4), радиуси ротор $R = 0,904$ м ($\rho = 1,2$ кг / м³) аст. Аз формулаи (3.2) хордаи $c = 0,136$ м ва аз формулаи (3.8) суръати гардиш $n=320$ чархзаниро ба даст меорем. Рақами нави Рейнолдсро (кӯшиши дуум) бо формулаи (3.7) муайян кардан мумкин аст: $Re = 2.8 \times 10^5$.

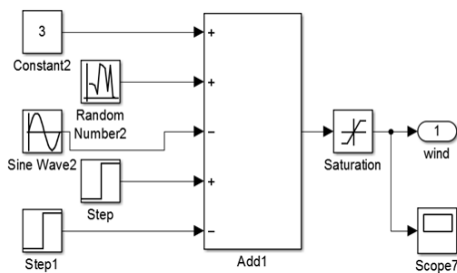
Дар §3.5 модели компютериери кори турбинаи бодии амудии мехвар дар муҳити MatLab таҳия карда шуд, ки барои он диаграммаи функционалии модели моделсозӣ пешниҳод карда шуд (ниг. расми 3.8) ва баъд худӣ модел таҳия карда шуд (нигаред ба расми 3.9).



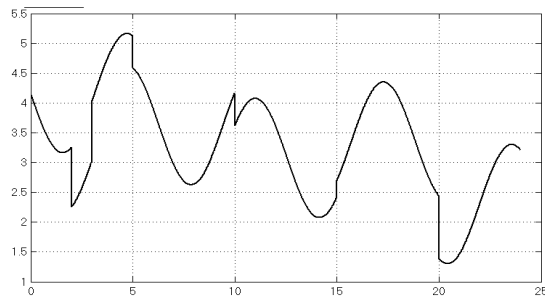
Расми 3.8. Нақшаи функционалии модели турбинаи бодӣ



Расми 3.9. – Модели симулясияи турбинаи бодии мехвари амудӣ бо коэффисиенти гуногуни AR дар бастаи MATLAB/Simulink

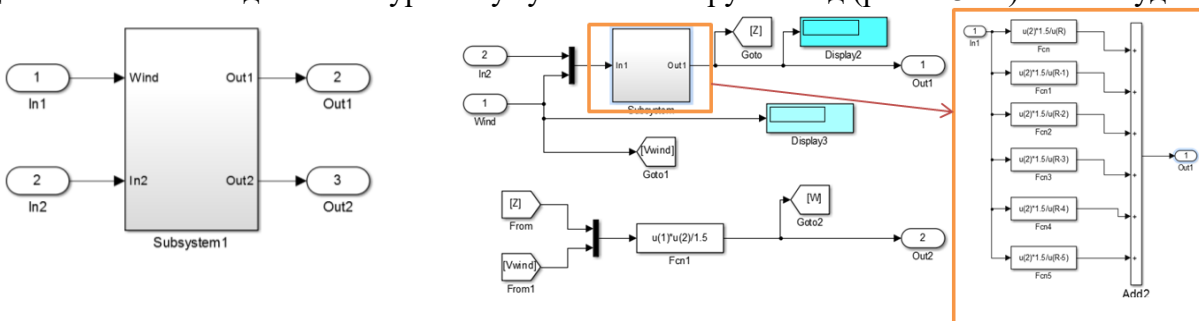


Расми 3.10. Блоки модели бод дар Simulink/Matlab



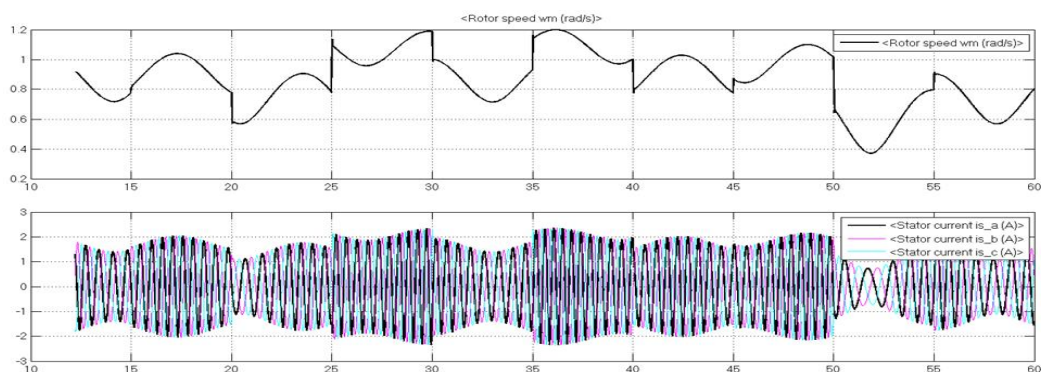
Расми 3.11. Графикаи чамъбастии модели суръати бод

Бо мақсади фароҳам овардани шароит ба шароити реалии кор блоки модели чараёни бод бо имконияти моделсозии суръати умумии шабонарӯзии бод (расми 3.11) сохта шуд.

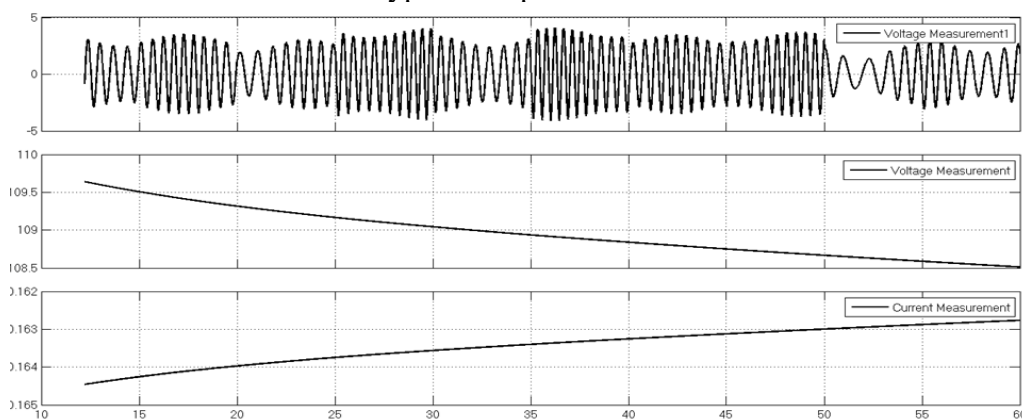


Расми 3.12 - Модели турбинаи бодӣ дар бастаи барномаи MATLAB / Simulink

Параметрҳои воридотӣ барои моделсозии турбинаи бод суръати чараёни бод, ки ба вуруди 2 дода мешавад, суръати гардиши чархи бод, ки ба генератори барқ пайваст (ба вуруди 1 дода шудааст) ва арзиши таносуби чанбаҳое мебошанд, ки ба вуруди 3 (ниг. расми 3.12).



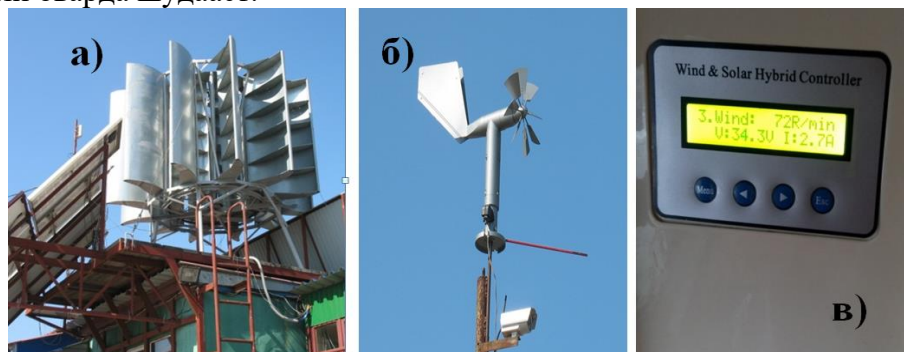
Расми 3.13. Вобастагии чараёни баромад аз суръати гардиши генератор бо тағирёбии
васеи суръати чараёни бод



Расми 3.14. Вобастагии шиддати баромад ва чараёни дастгоҳи нигоҳдории энергия аз
шиддати баромади генератори бод

Дар §3.6 тавсифи стэнди таҳияшуда барои озмоиши чархҳои турбинаҳои бодии амудӣ оварда шудааст.

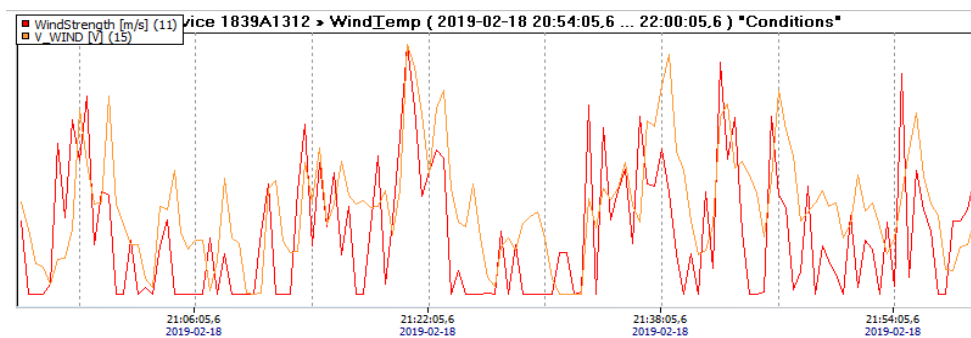
Дар фасли 3.7 натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии кори турбинаи бодии меҳвари амудӣ навъи каруселӣ оварда шудааст.



Расми 3.15. Турбинаи боди бисёрқабата дар боми хучраи ёрирасони истгоҳи
мошинҳои Владивосток насб карда шудааст:

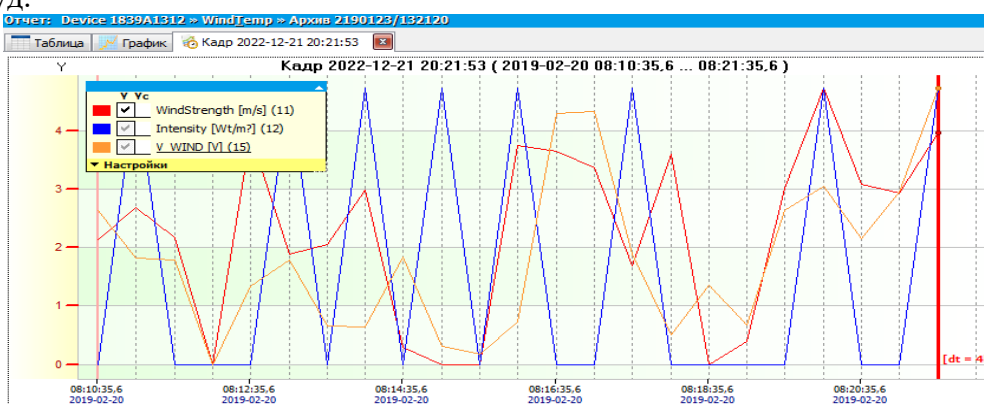
а - намуди умумии ҷойгиршавӣ; б — қосидаки (датчики) суръат ва самти бод М-127
бо дастгоҳи мувофиқакунии УСТ 0-5 «Гидрометприбор»; в - назоратчии гибридӣ

Вобастагӣҳое, ки дар рафти омӯзиши таҷрибавӣ ба даст оварда шудаанд, дар расми
3.16 нишон дода шудаанд, онҳоро бо осциллограммаҳое, ки дар чараёни моделсозии
компютерӣ ба даст омадаанд, муқоиса кардан мумкин аст (ниг. расми 3.16).



Расми 3.16. Оссиллограммаи вобастагии тавонои баромади ВТ-и турбинаи бодии навъи каруселӣ аз тағйирёбии суръати бод бо тағйирёбии тавонои сарбории $P_{бор}$.

Вобастагии ҳосилшуда аз иқтидори тавлидшудаи турбинаи бодии турбинаи бодӣ дар арзишҳои гуногуни $P_{бор}$ дар расми 3.17 нишон дода шудааст. Ҳангоми муқоисаи натиҷаҳои бадастомадаи моделсозии компютерӣ бо маълумотҳои таҷрибавии мувофиқаташон ба 92 % баробар буд.



Расми 3.17. Хусусиятҳои энергияи баромади турбинаҳои бодӣ дар в.ш. бо назардошти тағйирёбии тавонои P_{load}

Дар **боби чорум** натиҷаҳои тавсифи техникӣ-иқтисодии системаи электрикии локалӣ оварда шудаанд.

Дар §4.1 баҳодиҳии миқдории потенциали бодии муҳити шаҳр гузаронида шудааст. Қайд карда мешавад, ки барои баҳодиҳии миқдории иқтидори бодии муҳити шаҳр истифода бурдани ҳам нишондиҳандаҳои табиӣ ва ҳам антропогенӣ, инчунин мафҳумҳо ба монанди зичии ноҳамвор, шиддатнокии ҷараёни ноором ва ғайра ба мақсад мувофиқ аст. Ҳамаи ин нишондиҳандаҳо мустақим ё ғайримустақим, ба мо имконият медиҳанд, ки ба кори турбина баҳо диҳем.

Дар баробари баланд шудани баландии бино зареби тавоноии бод барои биноҳои чоркунҷа то 25 — 30 фоиз ва барои биноҳои мудаввар то 40 фоиз меафзояд. Ин таҳқиқотҳо нишон медиҳанд, ки потенциали бод дар байни гузаргоҳҳои бино метавонад бо ёрии турбинаҳои бодии хурд барои тавлиди энергия истифода шавад.

Дар § 4.2 эътимоднокии системаи энергетикӣ локалӣ дар асоси МБЭ асоснок карда шудааст.

Дар §4.3 афзалиятҳои техникӣ ва иқтисодии энергияи бодро барои таъмини барқ ба истеъмолкунандагони дурдаст дар Ҷумҳурии Тоҷикистон нишон медиҳад.

Дар хотима хулосаҳои асосӣ оид ба натиҷаҳои илмӣ ва амалие, ки дар рафти омузиши системаи электрикии локалӣ дар асоси турбинаҳои бодии бисёрпарраи амудӣ ба даст оварда шудаанд, дарҷ гардидаанд.

Дар замима нусхаҳои патентҳо оид ба модели муфид ва санади истифодаи натиҷаҳо дар раванди таълимӣ барои омодаسازی донишҷӯён оварда шудаанд.

ХУЛОСАҲО

1. Таҳлили вазъияти системаҳои энергетикӣи локалӣ нишон дод, ки дар айни замон эътимодноӣ ва самаранокии бо неруи барқ таъмин намудани ноҳияҳои дурдасти ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон проблемаи таъхирнопазир мебошад. Сарфи назар аз иқтисодии кофӣи захираҳои бод ҳиссаи онҳо дар тавозуни энергетикӣи ҷумҳури амалан ба сифр баробар аст. Аз сабаби ба таври нокифоя асоснок карда шудани иқтисодии мачрои об, ҳангоми интиҳоби майдонҳо барои сохтмони НБО – хурд пурра истифода нашудани иқтисодии мачро ва ё иқтисодии гузошташудаи агрегатҳои обӣ мушоҳида мешавад, ки ин ба самаранокии онҳо бевосита таъсир мерасонад.

2. Модели дақиқи математикӣ ва ҳалли масъалаи оптимизатсияи тартиб дода шудааст, ки ҳалли он ба хароҷоти ҳадди ақал барои турбинаҳои бодӣ ва дастгоҳи захиракунии ЭЭ мувофиқат мекунад. Афзоиши самаранокии барқтаъминкуниро дар шароити норасоии об таъмин мекунад.

3. Омӯзиши сохтори системаи энергетикӣи локалӣ дар асоси НБО, турбинаҳои бодӣ ва захираи энергия бо тақсими тавоноии сарборӣ ба қисмати қатъӣ муайяншуда ва тағйирёбанда самаранокии онро дар ҳалли масъалаи муайян кардани конфигуратсияи оптималии манбаъҳои тавлидкунанда ва захира кардани энергия, бартарии нисбат ба усулҳои анъанавӣ тасдиқ карда шуд. Моделсозии моделиронӣ нишон дод, ки барои муайян кардани конфигуратсияи оптималии манбаъҳои тавлидкунанда ба ду қисм тақсим кардани тавоноии бор имкон медиҳад самаранокии баландтарин дар оптимизатсия ба даст оварда шавад.

4. Конструксияи турбинаи бодӣ ва алгоритми ҳисоб кардани параметрҳои асосии турбинаи бодӣ тартиб дода шуд, ки ин барои омӯхтани протсессҳои статикӣ ва динамикӣ имконият дод. Муносиб будани модели таҳияшуда дар шароити кори турбинаи бодии каруселӣ дар базаи таҷрибавии Донишгоҳи федеролии Шарқи Дур (ДВФУ), инчунин дар шароити саҳро дар Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. Вобастагии кори турбинаҳои бодии турбинаҳои бодии навъи карусел аз таносуби паҳлӯҳо ва тақсими чархи бод ба зина муқаррар карда мешавад.

5. Нишондиҳандаҳои комплексии эътимоднокии системаи электрикӣи локалӣ дар асоси НБО ва турбинаҳои бодӣ бо назардошти тақсимоии бор ба қисми қатъиян муайян ва тағйирёбанда муайян карда мешаванд.

6. Самаранокии истифодаи турбинаҳои бодӣ дар муҳити шаҳрӣ бештар аз интиҳоби оқилонаи ҷойгиркуни бо назардошти баландии биноҳои наздик ва самтҳои ҷараёни бод вобаста аст.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБ:

**Нашрияҳо дар маҷаллаҳои илмӣ, ки Комиссияи олии аттестатсионӣ назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия додааст:**

[1 – М] Рахимов, Ф.М. К вопросу интеграции ветровых турбин с вертикальной осью в городскую среду [Текст] / Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов, И. Толибзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2018. — №4 (44). —С. 40–46.

[2 – М] Рахимов, Ф.М. Оптимизация энергопотребления на основе использования накопителя энергии [Текст] / Н.В. Коровкин, Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Известия РАН. Энергетика. – 2019. - №4. – С. 27 – 41.

[3 – М] Рахимов, Ф.М. Влияние соотношение сторон турбины вертикально-осевой ветроэнергетической установки на его производительность [Текст] / Ф.М. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2022. — №2 (58). —С. 21 - 31.

Патентҳо:

[4 – М] Рахимов, Ф.М. Пат. 174578 Российская Федерация. МПК F03D 3/04(2006.01), F03D 7/06 (2006.01), F03D 9/25(2016.01) Мобильная ветроэнергоустановка/ Е.И. Кончаков, А.В. Таскин, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2017103385 от 02.02.2017г. Бюл. №29 опубл. 20.10.2017г.

[5 – М] Рахимов, Ф.М. Пат. 184213 Российская Федерация. МПК F03D 3/04(2018.05) Ветроэнергетическая установка/ Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов, А.В. Таскин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2018114126 от 18.04.2018г. Бюл. №29 опубл. 18.10.2018г.

[6 – М] Рахимов, Ф.М. Пат. 193227 Российская Федерация. МПК E03B 15/02 (2006.01) Устройство для предотвращения образования льда на водной поверхности/ Н.В. Коровкин, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2019125364 от 11.08.2019г. Бюл. №29 опубл. 17.10.2019г.

[7 – М] Рахимов, Ф.М. Пат. 193425 Российская Федерация. МПК G01M 13/00 (2006.01) Стенд для испытаний вертикальных лопастей/ Н.В. Силин, М.А. Аврамцева, В.В. Уэно, В.С. Вейна, Ф.М. Рахимов, А.В. Таскин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2019123145 от 23.07.2019г. Бюл. №31 опубл. 29.10.2019г.

[8 – М] Рахимов, Ф.М. Пат. 193703 Российская Федерация. МПК E02B 15/02 (2006.01) Устройство для предотвращения образования льда на водной поверхности/ Н.В. Коровкин, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2019125363 от 11.08.2019г. Бюл. №32 опубл. 11.11.2019г.

[9 – М] Рахимов, Ф.М. Пат. 208745 Российская Федерация. МПК F03D 5/00 (2006.01) Лопасть ветродвигателя/ Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, А.К. Киргизов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» №2021122913 от 02.08.2021г. Бюл. №2 опубл. 11.01.2022г.

Нашириҳо дар маводҳои конференсияҳо:

[10 – М] Рахимов, Ф.М. Эффективность использования солнечных фотоэлектрических панелей в условиях Таджикистана [Текст] / Л.С. Касобов, Ф.М. Рахимов // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительство и энергетики» 10-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики/ Материалы конференции ТулГУ, -Тула, 2014. Т-2. с. 356-359.

[11 – М] Рахимов, Ф.М. Ввод распределенной генерации в сеть для предоставления системных услуг [Текст] / С.Т. Исмаилов, Ф.М. Рахимов, А. Гуломзода // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительство и энергетики» 11-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики/ Материалы конференции ТулГУ, -Тула, 2015. с. 362-367.

[12 – М] Рахимов, Ф.М. К вопросу создания виртуальной электростанции для повышения эффективности распределенных энергетических источников / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ, - Владивосток, 2016. с. 378-381.

[13 – М] Рахимов, Ф.М. К вопросу внедрения инновационных технологий smart grid в систему электроснабжения острова русский / Н.В. Силин, В.А. Кислюков, Н. Хасанзода, Е.П. Манаков, Ф.М. Рахимов // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ, - Владивосток, 2016. с. 382-386.

[14 – М] Рахимов, Ф.М. К вопросу создания локальных энергетических установок на базе возобновляемых источников энергии / А.В. Таскин, Е.И. Кончаков, А.В. Герасименко, Ф.М. Рахимов, Н.В. Силин, Н. Хасанзода // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ, - Владивосток, 2016. с. 391-393.

[15 – М] Рахимов, Ф.М. Вопросы комплексного использования возобновляемых источников энергии на локальных объектах / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // «Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы» [Электронный ресурс]: материалы региональной науч.-практ. конф. молодых ученых, ДВФУ,- Владивосток, 2016. с. 77-81.

[16 – М] Рахимов, Ф.М. Анализ эффективности внедрения вертикально – осевых ветроэнергетических установок в частных домохозяйствах (на примере Приморского края) / Ф.М. Рахимов // Международная научно-практическая конференция: «Развитие социального и научно-технического потенциала общества» сборник статей Международной научно-практической конференции 15 января 2018 г. г. Москва. [Электронный ресурс]– М.: Импульс, 2018. – с. 854-860.

[17 – М] Рахимов, Ф.М. Применение мобильных ветроустановок для энергообеспечения маломощных потребителей [Текст]/ Ф.М. Рахимов // Перспективные системы и задачи управления: материалы Тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции и Девятой молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2018. –с. 270-272.

[18 – М] Рахимов, Ф.М. К вопросу использования ветроустановок в городской среде / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее. сборник статей XV Международной научно-практической конференции в 3 ч. .Ч 1. [Электронный ресурс]–Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». –2018. –с.39-43.

[19 – М] Рахимов, Ф.М. Система мониторинга характеристик фотоэлектрических модулей с применением современных коммуникационных технологии / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Материалы Республиканской научно – практической конференции Электроэнергетика, гидроэнергетика, надёжность и безопасность / Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.-Душанбе: «Промэкспо». – 2016. – с. 232-236.

[20 – М] Рахимов, Ф.М. Исследование характеристик вертикально-осевой ветротурбины / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Актуальные вопросы фундаментальных и прикладных исследований. Сборник статей Всероссийской научной конференции. – Владивосток, ДВФУ, 2019. – с . 56-57.

[21 – М] Рахимов, Ф.М. Оценка возможности использования ветровой энергии в локальной электроэнергетической системе Раштской долины Таджикистана / Ф.М. Рахимов, Л.С. Касобов // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». 16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.2: материалы конференции. – Тула. ТулГУ, 2020. – с. 297 – 301.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Рахимова Фирдавса Мирзоумаровича на тему: **«Исследование и разработка локальных электроэнергетических систем на базе вертикально – осевых ветроэнергетических установок карусельного типа»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – Электроэнергетические системы и комплексы

Ключевые слова: локальная электроэнергетическая система, энергоресурсы, энергопотребление, оптимизация, математическое моделирование, физическое моделирование, ветровая энергетическая установка, нагрузка.

Актуальность темы диссертации: Работа посвящена решению как теоретических, так и практических проблем повышения эффективности и оптимизации локальных электроэнергетических систем, в частности, на территории Республики Таджикистан.

Цель диссертационной работы - состоит в создании научно-обоснованной теории оптимизации режимов работы разнохарактерных генерирующих источников в локальных электроэнергетических системах и разработке технических решений по повышению эффективности ветроэнергетических установок.

Научная новизна полученных результатов: решена задача оптимизации энергопотребления от локальной энергосистемы, предусматривающая учет неограниченного количества разнохарактерных источников возобновляемой электрической энергии, таких как малые гидроэлектростанции, ветроустановки с накопителями различного типа; **разработана** методика повышения эффективности работы малых ГЭС в условиях дефицита воды, предусматривающая подключение к сети ветрогенератора и нагрузки, разделённой на две части: строго заданную и вариативную, изменяемую в целях оптимизации; **разработана** конструкция ВЭУ карусельного типа с вертикальной осью, включающая в себя использование одно, двух и многоярусных конструкции ветроколеса; **доказана** эффективность корректировки конструкции ветротурбины, в частности, путем изменения соотношения сторон ротора и размеров лопасти с целью увеличения коэффициента мощности; получены достоверные результаты, позволяющие рассматривать режимы работы в широком диапазоне изменения скорости ветрового потока (от 1 м/с до 30м/с).

Методы исследования. При решении поставленных задач применяются методы теоретической электротехники, метод минимизации линейной функции при линейных ограничениях в виде равенств и неравенств (симплекс-метод), методы математического моделирования, программный пакет MATLAB/Simulink, методы физического моделирования.

Практическая ценность работы:

Результаты исследований и разработанные научно-технические решения по созданию локальных электроэнергетических систем с разнохарактерными источниками электроэнергии, а также разработанная ВЭУ с улучшенными энергетическими показателями могут быть использованы при создании локальных электроэнергетических систем, предназначенных для эксплуатации в экстремальных условиях для удаленных и труднодоступных районов (населенных пунктов) Республики Таджикистан.

Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими (акт внедрения от 18.01.2023г).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 135 наименований и приложений; Объем диссертационной работы состоит из 165 страниц содержащей 12 таблицы и 60 рисунков.

АННОТАТСИЯ

ба рисолаи номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.14.01 – барои дарёфти унвони илмии номзади илмҳои техникӣ барои рисолаи Раҳимов Фирдавс Мирзоумарович дар мавзӯи: «**Таҳқиқ ва коркарди системаҳои электрикии локалӣ дар асоси дастгоҳҳои энергетикӣ амудӣ – меҳварӣ бодии намуди каруселӣ**» пешниҳод шудааст. Системаҳо ва комплексҳои энергетикӣ

Калимаҳои калидӣ: системаи маҳаллии барқ, захираҳои энергетикӣ, масрафи энергия, оптимизатсия, моделсозии математикӣ, моделсозии физикӣ, нерӯгоҳи барқи бодӣ, сарборӣ.

Мубрамияти мавзӯи диссертатсия: ба ҳалли масъалаҳои назариявӣ ва амалии баланд бардоштани самаранокӣ ва оптимизатсияи системаҳои энергетикӣ локалӣ, аз ҷумла дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида шудааст.

Мақсади кори диссертатсия эҷоди назария аз ҷиҳати илмӣ асоснокӣ оптимизатсияи режимҳои кори манбаъҳои гуногуни тавлидкунанда дар системаҳои маҳаллии энергетикӣ ва таҳияи қарорҳои техникӣ барои баланд бардоштани самаранокӣ турбинаҳои бодӣ мебошад.

Навовари илмӣ натиҷаҳои бадастомада: масъалаи оптимизатсияи истеъмоли энергия аз системаи локалии энергетикӣ ҳал карда шуд, ки он ба инобат гирифтани миқдори номаҳдуди манбаъҳои гуногуни энергияи барқароршаванда, аз қабали нерӯгоҳҳои барқи обии хурд, турбинаҳои бодӣ бо намудҳои гуногуни дастгоҳҳои захиракунии пешбинӣ шудааст; методологияи баланд бардоштани самаранокӣ нерӯгоҳҳои барқи обии хурд дар шароити норасоии об таҳия шудааст, ки он пайвасти кардани генератори бодӣ ба шабака ва борро ба ду қисм тақсим мекунад: қисми доимӣ ва тағйирёбанда, ки бо мақсади оптимизатсия мебошад; лоиҳаи турбинаи бодии намуди карусели бо меҳвари амудӣ, аз ҷумла истифодаи конструксияҳои турбинаи бодии як, ду ва бисёрқабата тартиб дода шудааст; самаранокӣ ислоҳоти тарҳи турбинаи бодӣ, аз ҷумла, бо роҳи тағйир додани таносуби паҳлуҳои ротор ва андозаҳои парра бо мақсади зиёд кардани коэффиенти тавоноӣ исбот шудааст; усули моделиронӣ барои омӯзиши речаҳои кори турбинаи бодии меҳвари – амудӣ пешниҳод карда шудааст. Натиҷаҳои бозьтимод ба даст оварда шудаанд, ки ба мо имкон медиҳанд речаҳои кориро дар доираи васеи тағйирёбии суръати бод (аз 1 м/с то 30 м/с) баррасӣ кард.

Усулҳои таҳқиқот. Ҳангоми ҳалли вазифаҳои гузошташуда, усулҳои электротехникаи назариявӣ, усули кам кардани функсияи хатӣ дар зери маҳдудиятҳои хаттӣ дар шакли баробарӣ ва нобаробарӣ (усули симплекс), усулҳои моделсозии математикӣ, маҷмӯи баътаи барномаи MATLAB/Simulink, усулҳои моделсозии физикӣ истифода мешаванд.

Арзиши амалии кор:

Натиҷаҳои таҳқиқот ва қарорҳои илмӣ-техникӣ кор карда баромадашудаи ба вучуд овардани системаҳои электрикии локалии дорой манбаъҳои гуногуни энергияи электрикӣ, инчунин турбинаи бодӣ таҳияшуда, ки нишондиҳандаҳои энергетикӣ беҳтар карда шудаанд, метавонанд барои сохтани системаҳои локалии электрикӣ барои истифода пешбинишуда дар шароити мушкил барои ноҳияҳои дурдаст (деҳот) - и Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода шаванд.

Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ ба раванди таълим дар кафедраи «Нерӯгоҳҳои электрикӣ»-и ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ (санади аз 18.01 соли 2023) чори кардашудааст.

Сохтор ва ҳаҷми кор. Рисола аз муқаддима, чор боб, хулоса, номгуи истинодҳо аз 135 номгуй ва замимаҳо иборат аст;

Ҳаҷми кори рисола аз 165 саҳифа иборат буда, аз 12 ҷадвал ва 60 расм иборат аст.

ANNOTATION

for the dissertation of Rakhimov Firdavs Mirzoumarovich on the topic: "**Research and development of local electric power systems based on vertically - axial wind turbines of the carousel type**", submitted for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.14.01 - Electric power systems and complexes

Keywords: local electric power system, energy resources, energy consumption, optimization, mathematical modeling, physical modeling, wind power plant, load.

Relevance of the dissertation topic: The work is devoted to solving both theoretical and practical problems of improving the efficiency and optimization of local electric power systems, in particular, on the territory of the Republic of Tajikistan.

The purpose of the dissertation work is to create a scientifically based theory of optimization of operating modes of diverse generating sources in local electric power systems and the development of technical solutions to improve the efficiency of wind turbines.

Scientific novelty of the obtained results: the problem of optimizing energy consumption from the local energy system has been solved, which provides for taking into account an unlimited number of diverse sources of renewable electrical energy, such as small hydroelectric power plants, wind turbines with storage devices of various types; a methodology has been developed to improve the efficiency of small hydroelectric power plants in conditions of water shortage, which provides for connecting a wind generator to the network and a load divided into two parts: strictly specified and variable, which is changed for optimization purposes; the design of a carousel-type wind turbine with a vertical axis has been developed, which includes the use of one, two and multi-tiered wind turbine designs; the effectiveness of adjusting the design of a wind turbine has been proven, in particular, by changing the ratio of the sides of the rotor and the dimensions of the blade in order to increase the power factor; reliable results have been obtained that allow us to consider operating modes in a wide range of wind flow speed changes (from 1 m/s to 30 m/s).

Research methods. When solving the tasks set, methods of theoretical electrical engineering, the method of minimizing a linear function under linear constraints in the form of equalities and inequalities (simplex method), methods of mathematical modeling, the MATLAB/Simulink software package, methods of physical modeling are used.

The practical value of the work:

The results of research and developed scientific and technical solutions for the creation of local electric power systems with diverse sources of electricity, as well as the developed wind turbine with improved energy performance, can be used to create local electric power systems designed for operation in extreme conditions for remote and hard-to-reach areas (settlements) Republic of Tajikistan.

The materials of the dissertation work are introduced into the educational process at the Department of Power Plants of TTU named after Academician M.S. Osimi (act of implementation dated 01/18/2023).

Structure and scope of work. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references from 135 titles and applications; The volume of the dissertation work consists of 165 pages containing 12 tables and 60 figures.