

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ**

На правах рукописи

**УДК 621.311.24: 621.316.1**



**САФАРОВ МАНУЧЕХР ИСУФОВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ  
В ЛОКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ  
С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

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

**Душанбе – 2023**

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированный электропривод и электрические машины» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

**Научный руководитель:** **Хасанзода Насрулло,**  
кандидат технических наук, и. о. доцента  
кафедры «Электрические станции»  
Таджикского технического университета  
имени академика М.С. Осими

**Официальные оппоненты:** **Русина Анастасия Георгиевна,**  
доктор технических наук, доцент, декан  
факультета энергетики Новосибирского  
государственного технического университета

**Абдуллоев Бахтиёр Толибджонович,**  
кандидат технических наук, начальник  
отдела международных отношений,  
реализации проектов и академической  
мобильности Таджикского государственного  
университета коммерции, г. Душанбе

**Ведущая организация:** Институт энергетики Таджикистана  
р. Кушониён

Защита диссертации состоится «06» октября 2023 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA-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://web.ttu.tj>

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Султонзода Ш. М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Возобновляемые источники энергии играют большую роль в энергетике, что улучшает экологическую ситуацию и позволяет потребителям иметь собственные источники энергии.

После того, как объединённая электроэнергетическая система Средней Азии разделилась на отдельные энергосистемы, в Республике Таджикистан (РТ) из-за доминирующей доли гидроресурсов в зимний период нарушается энергобаланс в системе по причине нехватки первичного ресурса, приводящей к снижению генерируемой мощности с одновременным повышением спроса на электроэнергию. Наиболее остро проблема нехватки генерируемой мощности наблюдается в локальных электроэнергетических системах удалённых населённых пунктов, где в зимний период русла малых рек замерзают до 80%.

За последние три десятилетия Правительством Республики Таджикистан был принят ряд мер по снижению дефицита, генерирующего мощности в зимний период, об этом свидетельствует доработка нормативно-правовых документов, принятие ряда постановлений и их реализация. Например, Постановление Правительства РТ №795 от 30 декабря 2015 года «О программе освоения возобновляемых источников энергии и строительства малых гидроэлектростанций на 2016-2020гг.». На основе данной программы, а также Долгосрочной программы строительства МГЭС были построены новые МГЭС и реконструировано большинство существующих малых ГЭС в республике. Также из содержания этих документов можно сделать вывод о том, что изучению и внедрению ВИЭ уделяется особое внимание для повышения надёжности, эффективности, безопасности и социальной обеспеченности населения, проживающего в труднодоступных и удалённых населённых пунктах республики.

В качестве перспективного объекта исследования в данной работе выбрана локальная электроэнергетическая система Мургабского района, расположенная в Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) Таджикистана.

В значительной степени отличие режимов выбранной системы заключается в том, что в зимний период является энергодефицитным, а в летний период - энергоизбыточным. Мургабский район состоит из 20 разбросанных населённых пунктов, расположенных в 50-150 км друг от друга, которые не присоединены к системам центрального электроснабжения ГБАО. Расстояние от административного центра области до районного центра 320 км. Возведение для этих целей воздушных ЛЭП 35 – 10/0,4 кВ с учетом постоянно растущих цен на строительные материалы представляется для района и области технически и экономически нецелесообразным. Принимая во внимание вышеизложенные обстоятельства, правильным вариантом для повышения эффективности систем электроснабжения может стать рассмотрение вопроса комплексного использования местных энергоресурсов на основе ВИЭ.

Наиболее перспективным для Мургабского района представляется совместное использование ресурсов ВИЭ, а конкретно ВЭУ и СЭС с целью

сглаживания пиковых всплесков и простоев в производстве энергии. Отметим, что комплексное использование возобновляемых источников энергии с учетом их стохастического характера прихода возлагает дополнительные требования к балансированию режимов. Дополнительно также необходимо учитывать необходимость применения накопителей электрической энергии, где требуется уточнение его режимов эксплуатации в составе энергокомплекса.

Учитывая стохастический характер прихода первичных возобновляемых источников, возникает проблема выбора методики для оптимального режима совместного использования всего комплекса в составе локальной электроэнергетической системы. При решении задачи многокритериального характера требуется рассмотрение вариантов по наиболее худшему сценарию режимов генерации и потребления с целью создания оптимального варианта структурной схемы и режимов эксплуатации. Благодаря надежности принятых методов разработанная система может обеспечивать нагрузку в дни с меньшей выработкой от возобновляемых источников энергии и частым изменением нагрузки.

Решение данных проблем является актуальной задачей и связано с оптимизацией процессов преобразования, распределения, регулирования в подобных электроэнергетических системах.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в научные исследования в планировании и применении возобновляемых источников энергии внесли зарубежные и отечественные ученые: Н.И. Воропай, В.З. Манусов, Е.В. Соломин, Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов, С.Н. Удалов, А.А., Бубенчиков, А.Я. Абдурахмонов, Ф.О. Исмоилов и другие.

Вопросы оптимизации систем на базе ВИЭ отражены в работах зарубежных и отечественных ученых: В.П. Харитонов, П.П. Безруких, В.В. Елистратова, В.И. Виссарионова, О.С. Поппеля, Б.В. Лукутина, В.З. Манусова, С.Г. Обухова, К. Роре, S. Eriksson, З. Ш. Юлдашева, А.К. Киргизова, Х.С. Саидзода и др.

Несмотря на существенный вклад зарубежных и отечественных исследователей в проблематику комплексного использования ВИЭ, с одной стороны, и на существующую актуальную потребность в оптимизации систем на базе ВИЭ с оптимальным планированием «электропотреблением» режима генерации и потребления, с другой стороны, в настоящее время не создана методика оптимального планирования электропотребления, которая удовлетворяла бы техническим и экономическим критериям.

**Цель работы:** разработка математической модели для оптимизации электропотребления в локальных электроэнергетических системах.

**Объект исследования** – локальная электроэнергетическая система с доминирующей долей возобновляемых источников энергии.

**Предмет исследования** – планирование оптимальных режимов электропотребления от возобновляемых источников энергии.

**Концепция работы** - разработка моделей и методов оптимизации режимов электропотребления на основе возобновляемых источников энергии.

**Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:**

1. Оценить использование запаса возобновляемых источников энергии для локальной электроэнергетической системы.
2. Определить вероятностную характеристику законов распределения скорости ветрового потока и солнечной радиации.
3. Разработать методику планирования и оптимизации режимов электропотребления в локальной электроэнергетической системе.
4. Оценить технико-экономическую эффективность предложенных мероприятий.

**Методы исследования:** методы оптимизации на основе линейного программирования и продукционных правил; методы анализа и балансирования установившихся режимов электроэнергетических систем, а также методы теории вероятностей и математической статистики.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Определены вероятностные характеристики и законы распределения основных метеорологических факторов для источников генерации на основе возобновляемых источников энергии.
2. Разработана математическая модель для режимов электропотребления с учетом возобновляемых источников энергии и накопителя в виде системы нелинейных алгебраических уравнений.
3. Разработан алгоритм оптимального планирования электропотребления на основе линейного программирования и правил продукций для минимизации финансовых расходов потребителей.

**Практическая значимость и реализация работы:**

1. Предложена математическая модель оптимального распределения энергетических ресурсов для потребителей Мургабского района за каждый час на суточном интервале времени с учетом энергии ветроустановок, солнечной фотоэлектрической станции и возможности ее аккумуляции.
2. Разработан алгоритм и его программная реализация метода оптимизации режимов электропотребления потребителя, что подтверждено свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ.
3. Предложенные модели и методы излагаются при подготовке специалистов и магистров по специальности «Электрические станции» в курсах «Оптимизация электроэнергетических систем», «Энергетические сооружения и установки нетрадиционных возобновляемых источников энергии» и «Режимы работы электрооборудования нетрадиционных возобновляемых источников энергии» Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Оценка энергетического потенциала Республики Таджикистан, позволяющая предопределять возможности использования возобновляемых источников энергии.
2. Установленные законы распределения вероятностей ветрового потока и солнечной радиации.

3. Предложенный метод и алгоритм оптимального планирования электропотребления для определенного состава источников энергии позволяет снизить материальные и финансовые затраты электропотребителя.

4. Реальная оценка экономической эффективности использования возобновляемых источников энергии.

**Личный вклад автора в диссертационную работу** заключается в общей постановке цели и задач исследования, проведении экспериментальных исследований по определению основных показателей ветроэнергетической установки и солнечной станции, участии в обработке, анализе, обобщении полученных результатов, подготовке материалов к публикации, а также составлении основных выводов, сделанных автором совместно с научным руководителем.

#### **Соответствие диссертационной работы паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы:

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

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

11. «Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла Земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера».

12 – «Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования».

**Достоверность научных положений, полученных результатов и выводов** подтверждается корректным использованием теории электроэнергетических систем, общей теории электротехники, теоретических основ электротехники, вероятностно-статистических методов обработки

ретроспективных данных, а также достаточно хорошей достоверностью метеорологических данных.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях и научных семинарах:

- Международной научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», Энергетический институт, г. Бохтар 23 декабря 2017 года.; Международной научно-практической конференции «World science: problems and innovations», МЦНС «Наука и просвещение» г. Пенза часть 1. 28 февраля 2018 года; Международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования», Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, 28 ноября 2019; Международной научно-практической конференции: «Энергетика региона: состояние и перспективы развития», Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, 21 декабря 2019 года; 16-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». (2020) года; Республиканской научно-практической конференции: «Энергетика: Душанбе, 21 декабря, 2020 г; XVII Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022 г.

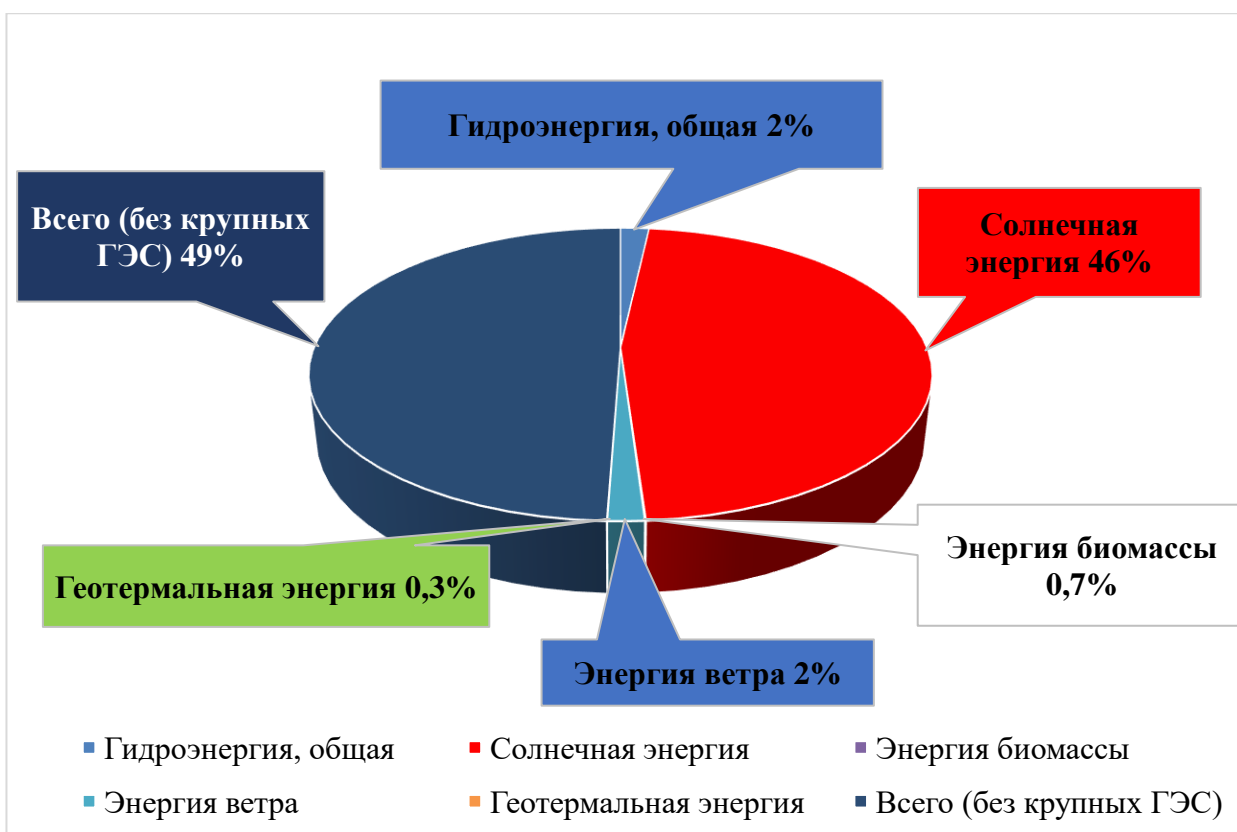
**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 16 печатных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, получен свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также 11 работ в прочих научных изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего в себя 135 наименований, и 4 приложений. Общий объем работы составляет 138 страниц, включая 21 таблицу и 46 рисунка.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическое значение работы, перечислены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассмотрено состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии в локальной электроэнергетической системе. В Таджикистане имеется достаточное количество всех видов возобновляемых источников энергии (см. рис. 1). Также проведен анализ состояния и тенденции развития ветровой и солнечной энергетики в мире и в Республике Таджикистан.



**Рисунок 1.** – Ресурсы нетрадиционных возобновляемых источников энергии РТ/ [млн. т.у.т. (МВт) в год]

Проведены результаты анализа современного состояния и использования ВИЭ в Республике Таджикистан в период независимости.

Приведены результаты анализа законов и нормативных документов государств, входящих в состав СНГ, и мировой опыт по организации иерархии электроэнергетической системы, в том числе условия создания локальных электроэнергетических систем (см. табл.1 и 2).

**Таблица 1.** – Основные определения ЭЭС в странах СНГ

Определение/ страна	Таджикистан	Белоруссия	Казахстан	Узбекистан	Кыргызстан	Туркменистан	Армения	Молдова	Азербайджан
Объединённая электроэнергетическая система	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Территориальная электроэнергетическая система	-	-	+	+	-	+	+	+	+
Национальная электрическая сеть	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Районная электроэнергетическая система	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Локальная (местная) электроэнергетическая система	+	-	-	-	-	+	-	-	-



**Таблица 2.** – Основные определения ЭЭС в зарубежных странах (кроме СНГ)

Определение/ страна	США	Евросоюз	Германия	Турция	Китай	Индия	Франция
Объединенная электроэнергетическая система	+	+	+	+	+	+	+
Территориальная электроэнергетическая система	-	+	-	-	-	-	-
Национальная электрическая сеть	-	-	-	+	+	+	+
Районная электроэнергетическая система	+	-	+	-	-	-	-
Локальная (местная) электроэнергетическая система	+	+	+	+	+	+	-

**Вторая глава** посвящена статистической обработке ретроспективных временных рядов метеорологических факторов, а именно: скорости ветрового потока и солнечной радиации для установления их вероятностных характеристик и законов распределения.

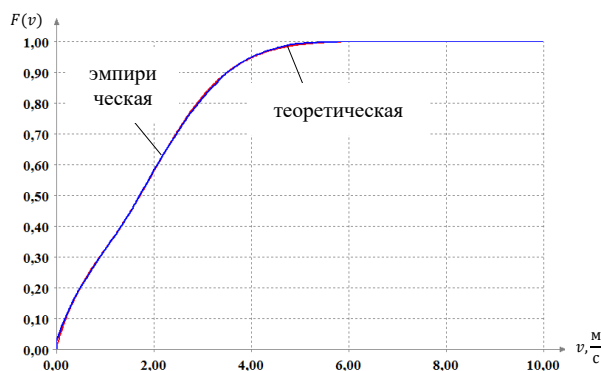
Для определения законов распределения была использована программа «Статистический анализ интервальных наблюдений одномерных непрерывных случайных величин. Версия 4.4.1.105». Часть перечня стандартных законов распределения, которые реализованы в программе, приведена в таблице 3. В ней даны идентификаторы распределений, синонимы идентификаторов, название распределения.

**Таблица 3.** – Законы распределений, встроенные в программу

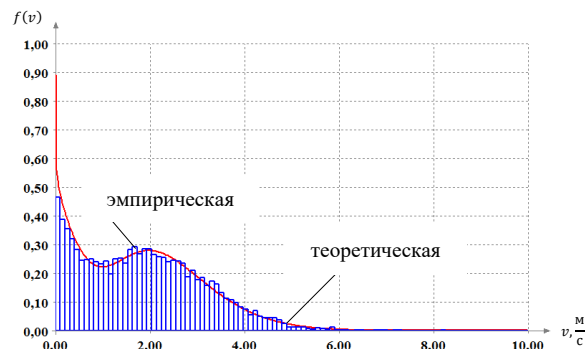
Идентификатор	Синоним	Название распределения
D9	NORM	Нормальное
D14	VEI	Вейбулла
D19	GAMMA	Гамма
D20	BETA_I	Бета I рода
D21	BETA_II	Бета II рода
D22	BETA_III	Бета III рода

Используя программу по статистическому анализу интервальных наблюдений одномерных непрерывных случайных величин, определим законы распределения для скорости ветра и солнечного излучения. Данные по скорости ветра за 2021 год были взяты из архива метеостанции Мургабского района. Скорость ветра была записана как среднее значение скорости ветра за часовой интервал.

В результате подбора функции распределения, наиболее приближенной оказалась смесь двух бета-распределений III рода (рис. 2 – 3) с плотностью:  $\{0,45 \times \text{Be-III}(0,944; 6,091; 1,766; 10; 0)\}$ ,  $\{0,55 \times \text{Be-III}(7,435; 7,291; 3,124; 10; 0)\}$ , где {параметр смеси бета-распределения III рода (параметр формы  $\alpha$ ; параметр формы  $\beta$ ; параметр формы  $\delta$ ; параметр масштаба; параметр сдвига)} – функция плотности распределения.



**Рисунок 2.** – Эмпирическая и теоретическая функции распределения скорости ветра за 2021 год в Мургабском районе



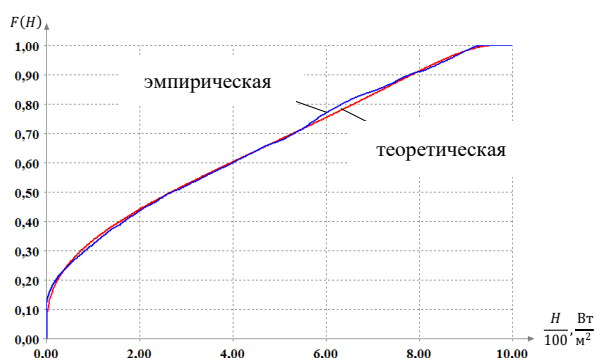
**Рисунок 3.** – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения скорости ветра за 2021 год в Мургабском районе

Аналогичным образом были подобраны распределения для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе.

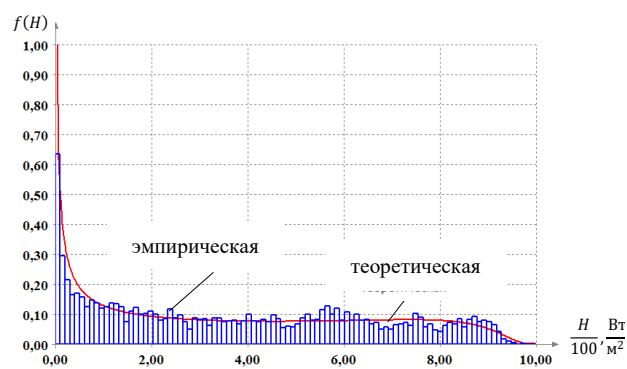
Солнечное излучение, полученное на поверхности Земли, подвержено ежедневным, сезонным и годовым колебаниям, и, следовательно, для получения достаточно точной оценки долгосрочной доступности и распределения необходимо получить многолетнее наблюдение (возможно, по меньшей мере, 20 лет). Однако во многих местах в развивающихся странах нет средств для непрерывных и точных измерений солнечной радиации, и поэтому необходимо использовать эмпирические методы, основанные на легко измеряемых метеорологических параметрах, таких как температура, относительная влажность, количество осадков, облачность и продолжительность яркого солнечного света.

Описательные статистические анализы, а также логический статистический анализ были применены для получения желаемых результатов. Подбор кривой вероятности был применен, чтобы найти наиболее подходящее распределение вероятности для различных месяцев года. Анализ проводился на почасовых данных о солнечном облучении, полученных в 2021 году, чтобы получить глубокое понимание данных для конструктивного решения указанных проблем.

Для анализа были взяты данные, усредненные за каждый час, и рассматриваются в интервале времени с 8:00 по 16:00 местного времени, так как в ночное время солнце заходит за горизонт и не светит. В результате подбора функции распределения наиболее приближенной оказалась бета-распределение III рода (рис. 4 – 5), параметры которой равны:  $\alpha = 0,354$ ,  $\beta = 7,035$ ,  $\delta = 0,045$ ,  $q = 10$ .



**Рисунок 4.** – Эмпирическая и теоретическая функции плотности потока солнечного излучения за 2021 год в Мургабском районе



**Рисунок 5.** – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения плотности потока солнечного излучения за 2021 год в Мургабском районе

Аналогичным образом были подобраны распределения для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе.

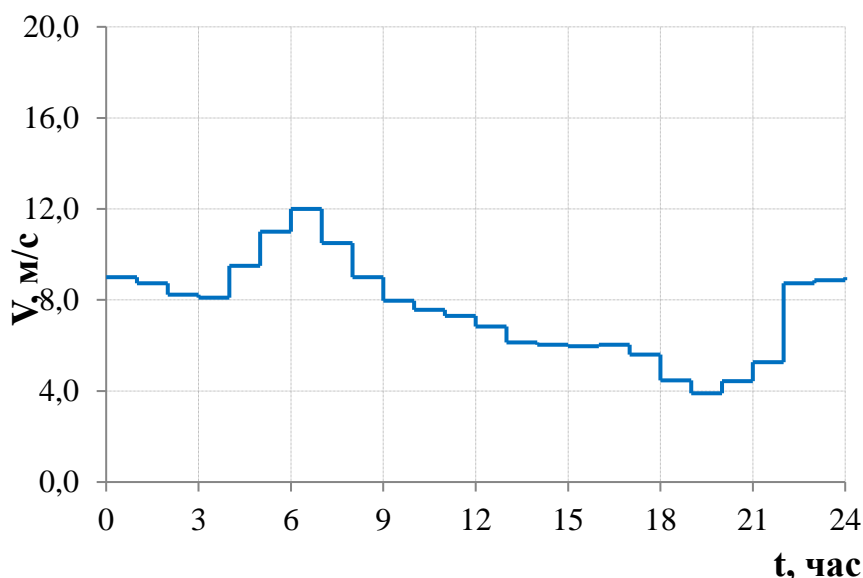
**Третья глава** посвящена оптимальному использованию возобновляемых источников энергии в Мургабском районе. Ключевым моментом при этом является использование собственных ветроэнергетических и солнечных ресурсов, которые достаточно велики в данном регионе. Цель исследования состоит в разработке **математической модели** оптимального энергобаланса и электропотребления при участии потребителей и возобновляемых источников энергии в виде ветроэнергетических и солнечной инсоляции как локальной системы с двусторонним потоком энергии с учетом разных ценовых показателей. Предложена система выбора приоритетности источников генерации, обеспечивающая минимизацию материально-финансовых затрат электропотребителя.



**Рисунок 6.** – Предлагаемая структура локальной электроэнергетической системы Мургабского района

*Ветровая энергетика.* Для различных участков рассматриваемой территории скорость ветра может отличаться. Мургабский район в данном случае также не является исключением. В настоящей работе рассмотрены статистические данные по климатическим показателям данного района за несколько месяцев 2021 года.

Метеорологические данные о скорости ветра Мургабского района (рисунок 7) доказывают целесообразность строительства ветровой электростанции (ВЭС) мощностью до 500 кВт.



**Рисунок 7.** – Среднесуточные графики скорости ветра

Мощность ВЭУ имеет непосредственную зависимость от скорости ветра, который изменчив во времени и зависит от климатических показателей. Ее с учетом омываемой площади установки  $A$  ( $m^2$ ) можно рассчитать так

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A V^3, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздушного потока ( $kg/m^3$ ), которая также зависит от температуры и давления воздуха;

$A$  – омываемая лопастями, площадь;

$V$  – скорость ветра;

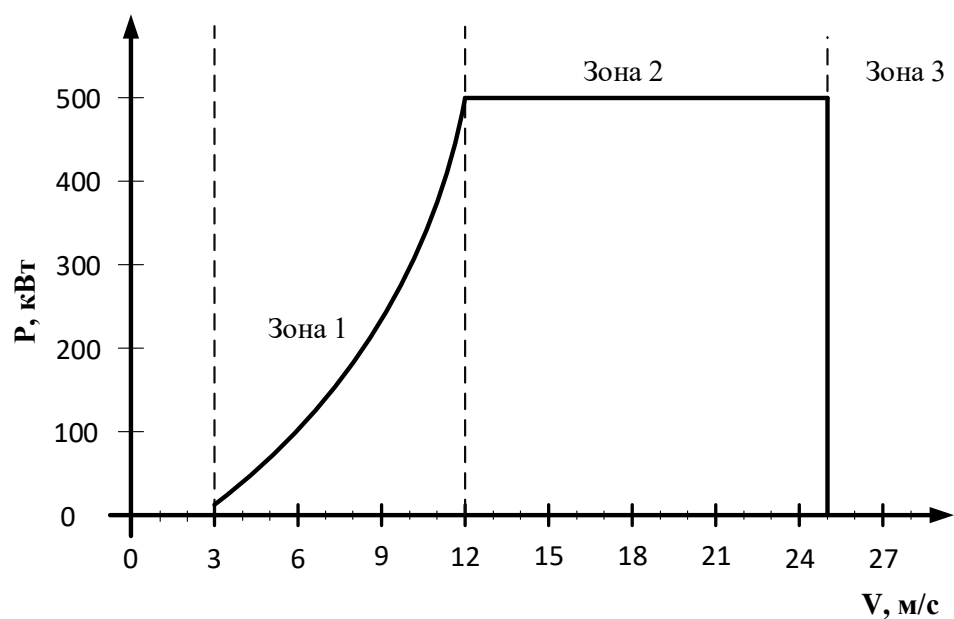
$C_p$  – коэффициент, описывает КПД ветряной турбины.

Определяют омываемую поверхность лопаток:

$$A = \pi R^2, \quad (2)$$

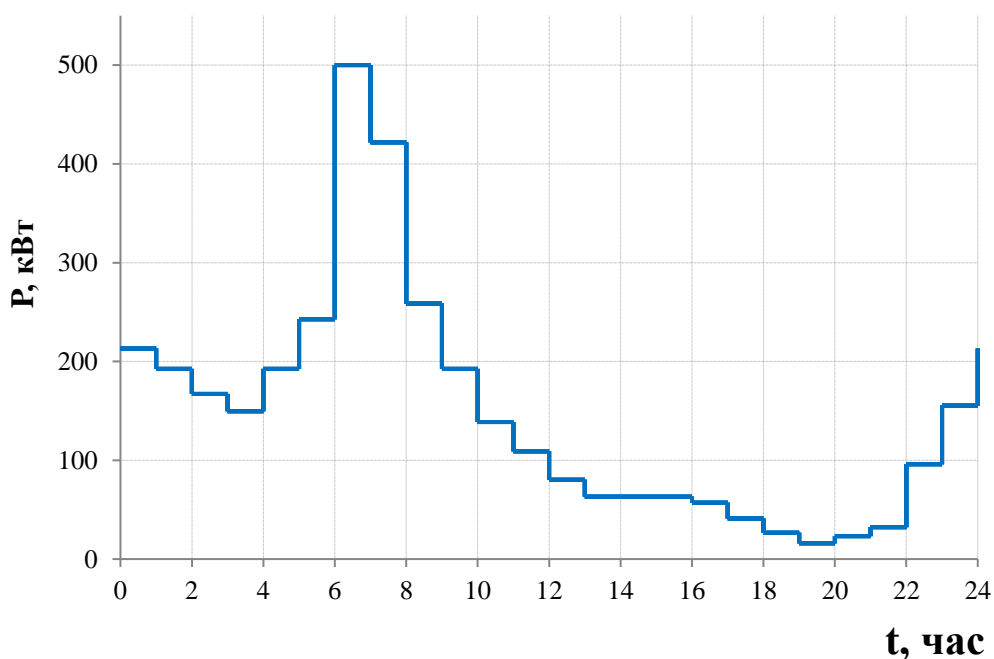
где  $R$  – радиус колеса ветряной электростанции, м.

После установления точной скорости ветра ее преобразуют в электрическую мощность согласно характеристикам по мощности установки на рисунке 8.



**Рисунок 8.** – Характеристика мощности ВЭС

Согласно графику, изображенному на рисунке 8, мощность начинает вырабатываться при скорости ветра от трех м/с. Номинальная мощность соответствует скоростям от 3 м/с до 12 м/с, а при 12 м/с до 25 м/с, мощность поддерживается на номинальном уровне. При скорости ветра 25 м/с осуществляется автоматическая остановка установки. Преобразование мощности представлено на рисунке 9.



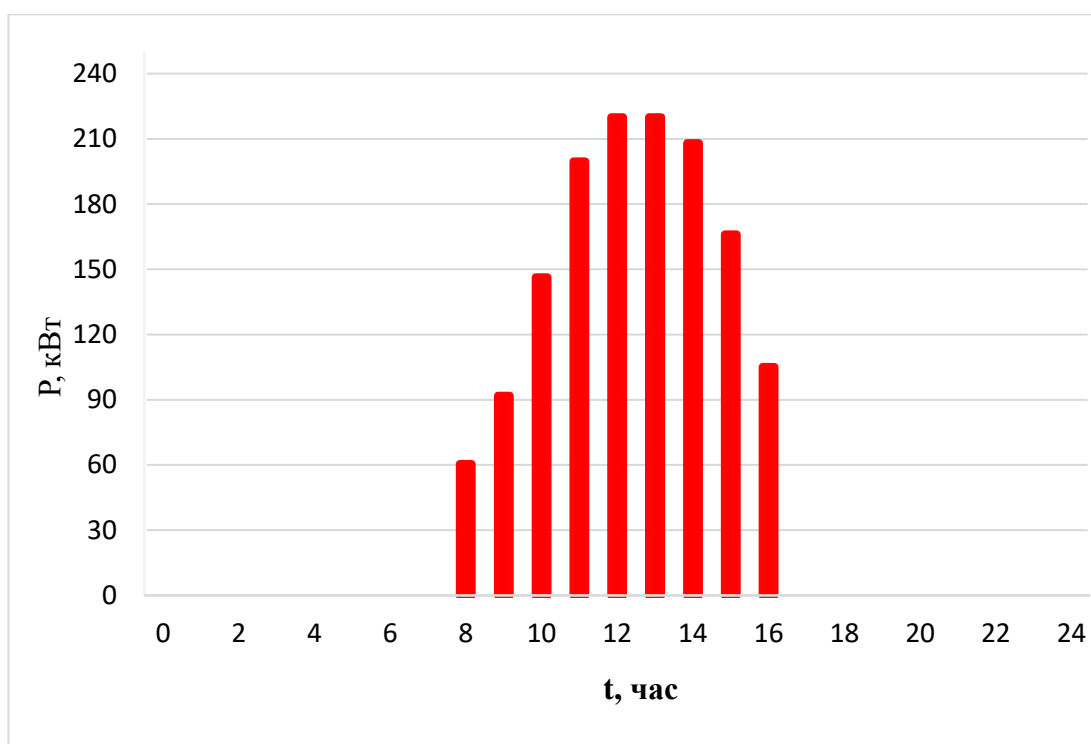
**Рисунок 9.** – Суточные графики выдачи мощности ВЭС

*Солнечная энергетика.* Одним из самых распространенных источников возобновляемой энергии является Солнце, в том числе и в Республике Таджикистан.

Среди стран Центральной Азии Таджикистан считается одним из лидеров по потенциалу солнечной энергии.

Так, согласно оценке экспертов, солнечный потенциал Таджикистана составляет приблизительно 25 миллиардов кВт.ч/год., что соответствует 10-20% от общенациональной потребности в энергии. Суммарное значение солнечной радиации соответствует 701-801 Вт/м<sup>2</sup> или 7500-8001 МДж/м<sup>2</sup> в условиях ясного неба.

На территориях Мургабского района согласно оценкам местных экспертов, интенсивность прямой солнечной радиации составляет 10,3 кВт.ч/м<sup>2</sup> в летний период (июнь-июль) и 5,9 кВт ч/м<sup>2</sup> в зимний период (декабрь-январь).



**Рисунок 10.** – Суточные графики выдачи мощности СЭС

Согласно графику 7, повышенный спрос электроэнергии в утренние часы совпадает с максимальной скоростью ветра, что также предшествует применению ветряка в утренние часы. Солнцестояние у нас в республике составляет от 8 до 16 ч, а это соответствует продолжительности электрической нагрузки в течение рабочего дня. Общая мощность солнечных станций была выбрана 220 кВт с КПД 20,65%.

**Математическая модель энергетического баланса потребителя.** Для любой электроэнергетической системы неизбежно существует жесткий баланс активной мощности между источниками генерации и потребителями электрической энергии. К этой мощности необходимо прибавить также суммарные потери активной мощности в электрической сети, связанные с технологическим расходом энергии на её передачу. Уравнение баланса мощностей для рассматриваемой системы можно написать в следующем виде

$$P_{СИС} + P_{ВЭУ} + P_{СЭС} \pm P_{Акк.} = P_{П} + \sum \Delta P, \quad (3)$$

где  $P_{СИС}$  – мощность, которую можно получить от внешнего источника;  $P_{ВЭУ}$  – предельная мощность от ВЭУ;  $P_{СЭС}$  – предельная мощность от СЭС;  $P_{Акк.}$  – мощность накопителя, аккумуляторной батареи;  $P_{П}$  – мощность электропотребителя;  $\sum \Delta P$  – суммарная потеря активной мощности в сети.

В суточном интервале энергетический баланс можно записать в интегральной форме:

$$\int_0^{24} P_{СИС}(t) dt + \int_0^{24} P_{ВЭУ}(t) dt + \int_0^{24} P_{СЭС}(t) dt \pm \int_0^{24} P_{Акк.}(t) dt = \int_0^{24} P_{П}(t) dt + \int_0^{24} \sum \Delta P(t) dt \quad (4)$$

Это дает возможность получать энергию из разных источников: энергетические системы, ветроустановки, солнечной электростанции и аккумулятора, себестоимость которых отличительна. Эффективность от их применения определяется как соотношение полученной энергии различной стоимости для каждого часа применения. Задача носит оптимизационный характер.

Примером могут служить режимы электропотребления Мургаба, для чего примем:

$P_{П_i}$  – потребление электроэнергии потребителями Мургаба;  $P_{СИС}$  – мощность передачи от энергосистемы;  $P_{\max}^{ВЭУ_i}$  – максимально возможная генерируемая мощность ветровой электростанции, где  $0 \leq P_{ном}^{ВЭУ} \leq P_{\max}^{ВЭУ}$ ,  $P_{\max}^{СЭС_i}$  – максимально возможная генерируемая мощность солнечной электростанции, где  $0 \leq P_{ном}^{СЭС} \leq P_{\max}^{СЭС}$ ,  $P_{\max}^{Акк_i}$  – максимально передаваемая мощность аккумулятора, где  $0 \leq P_{ном}^{Акк.} \leq P_{\max}^{Акк.}$ .

В качестве математической модели для выбора источника энергии для нормализации расходов потребителя мы воспользовались системой нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ) с возможностью ее преобразования в систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Расход электроэнергии за сутки нормируется произведением данных входного вектора производимой передаваемой электроэнергии и матрицы цен. Ежечасное усредненное значение мощности использованной электроэнергии совпадает с расчетным значением за этот же час. При энергии система имеет следующий вид.

$$\begin{cases} c_{11} \cdot P_{СИС} + c_{12} \cdot P_{ВЭУ} + c_{13} \cdot P_{СЭС} + c_{14} \cdot P_{Акк.} = m_1 \\ c_{21} \cdot P_{СИС} + c_{22} \cdot P_{ВЭУ} + c_{23} \cdot P_{СЭС} + c_{24} \cdot P_{Акк.} = m_2 \\ c_{31} \cdot P_{СИС} + c_{32} \cdot P_{ВЭУ} + c_{33} \cdot P_{СЭС} + c_{34} \cdot P_{Акк.} = m_3 \\ c_{41} \cdot P_{СИС} + c_{42} \cdot P_{ВЭУ} + c_{43} \cdot P_{СЭС} + c_{44} \cdot P_{Акк.} = m_4 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $m_i$  – стоимость потребленной электроэнергии;

$i = 1, 2, 3, 4$ , – четыре возможных источника энергии для потребителя.

Применив метод исключения Гаусса, выполняется решение СЛАУ на каждом шаге итерации. Прямым ходом требуется свести к нулю поддиагональные элементы, а обратным ходом требуется решить уравнения с верхней точки треугольной матрицы. Первым ходом определяется последнее по номеру неизвестное значение.

Матрица цен записывается в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

В данной матрице диагональные элементы представляют цены на электроэнергию для каждого из отдельных источников, а недиагональные элементы представляют собой среднее значение цен на электроэнергию со всех источников.

Нормирование потребления электрической энергии матрицы цен приобретает диагональный вид:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $c_{11}$  – цена электроэнергии за 1 кВт-час из ЭЭС;

$c_{22}$  – цена электроэнергии за 1 кВт/час от ветровой электростанции;

$c_{33}$  – цена электроэнергии за 1 кВт/час от солнечной электростанции;

$c_{44}$  – цена электроэнергии за 1 кВт/час от аккумулирования энергии.

Понижение расходов для потребителя осуществляется решением нижеследующего уравнения:

$$M = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 C_{ij} \cdot P_j \cdot t \rightarrow \min, \quad (8)$$

где  $C$  – ценовая матрица потенциальных источников генерации электроэнергии;

$P$  – вектор потребляемой мощности состоит из  $(P_{СИС}, P_{ВЭУ}, P_{СЭС}, P_{Акк})^T$  элементы;



$$M - \text{общее потребление электроэнергии } M = \sum_{i=1}^4 m_i ;$$

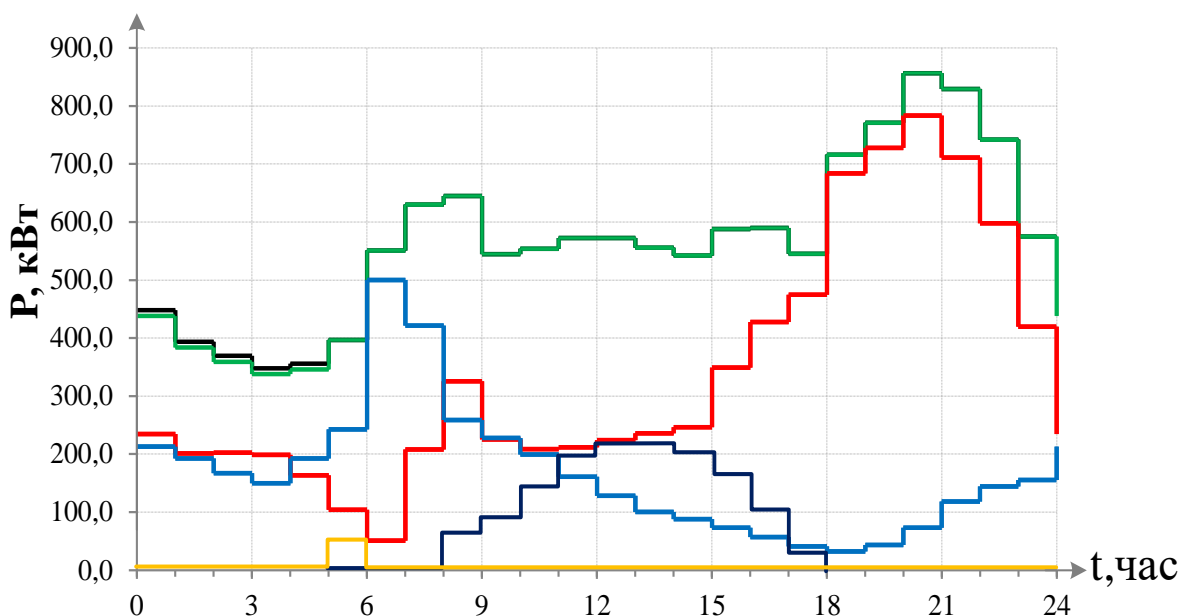
$t = 1$  ч.

При определении значений генерируемой или передаваемой мощности по входному вектору должны выполняться следующие условия:

$$\begin{aligned} 0 \leq P_{\text{ч, max}}^{\Pi} \leq P_{\text{СИС}} ; & \quad 0 \leq P_{\text{СЭС}} \leq P_{\text{max}}^{\text{СЭС}} \\ 0 \leq P_{\text{ВЭУ}} \leq P_{\text{max}}^{\text{ВЭУ}} ; & \quad 0 \leq P_{\text{Акк}} \leq P_{\text{max}}^{\text{Акк}} \end{aligned}$$

Используя настоящую математическую модель, для решения данной задачи был представлен алгоритм на соответствующей компьютерной программе на языке Microsoft Access Database.

Контрольные измерения были проведены суточным графиком использования электрической энергии в зимний период. При этом была учтена выработка электроэнергии на ВЭС и СЭС с ее возможным аккумулированием. Процесс аккумулирования электроэнергии производится при ее избытке, а при ее недостатке получают от аккумулятора и энергосистемы.

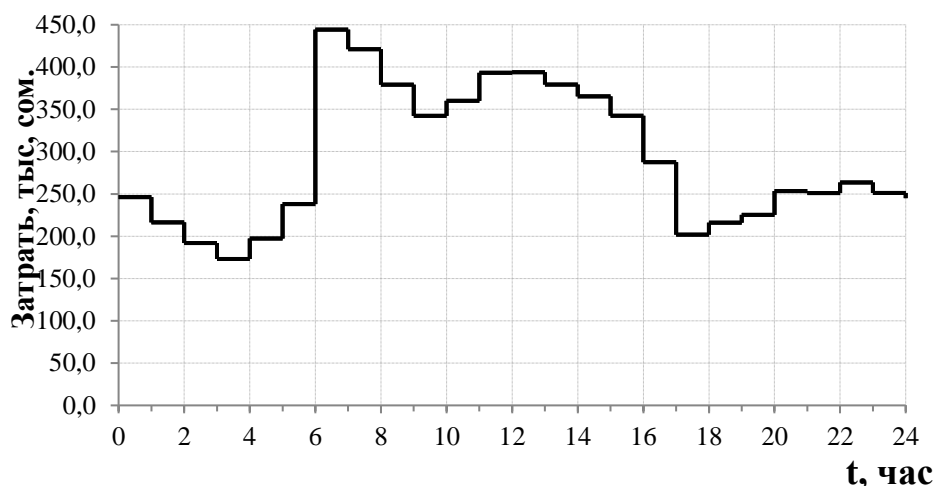


--- $\Sigma P_{\text{выр.}}$ . --- $P_{\text{наг.}}$ . --- $P_{\text{сис.}}$ . --- $P_{\text{вэу.}}$ . --- $P_{\text{сэс.}}$ . --- $P_{\text{ак.}}$

**Рисунок 11.** – График электропотребления потребителей Мургабского района

$\Sigma P_{\text{Выпр.}}$  – черная линия,  $P_{\text{нагр.}}$  – зеленая линия,  $P_{\text{сис.}}$  – красная линия,  $P_{\text{ВЭУ.}}$  – синяя линия,  $P_{\text{СЭС.}}$  – темно-синяя линия и  $P_{\text{Акк.}}$  – желтая линия

При решении проблемы нормирования потребления электроэнергии выполняется задача снижения затрат со всех источников выработки электроэнергии, приходящейся на каждый час суточного графика электропотребления, (рис. 12).



**Рисунок 12.** – Минимальные финансовые затраты потребителей в Мургабском районе

Для этой цели было реализовано программное обеспечение на основе разработанных алгоритмов. Разработан алгоритм потребителя в зависимости от условий генерации мощности внутренним источником энергии, ветровой электроустановки и солнечной электростанции.

**В четвертой главе** дано технико-экономическое обоснование использования локальной электроэнергетической системы на основе возобновляемых источников энергии для Мургабского района.

Даны технико-экономические обоснования предложенных мероприятий по оптимальному планированию электропотребления в данной электроэнергетической системе. Определены затраты на инвестиции (капиталовложения) ветроэнергетических и солнечных станций, эксплуатационные издержки на амортизацию, отчисления на текущий ремонт и потери электроэнергии.

Определен расчетный срок окупаемости предлагаемых технико-экономических мероприятий и оценивается 11-13 лет, при общих сроках эксплуатации электроэнергетических объектов 20-25 лет.

**Таблица 4.** - Расчётные параметры ВЭС и СЭС

Параметры	ВЭС	СЭС
Годовые издержки на обслуживание, сом.	180986,4	7600
Амортизационные отчисления, сом.	1930521,6	161172
Отчисления на текущий ремонт, сом.	361972,8	145200
Стоимость монтажа, сом.	410400	88000
Стоимость пуско-наладочных работ, сом.	307800	66000
Стоимость фундамента, сом.	102600	-
Стоимость заземления, сом.	102600	-
Прочие единовременные затраты, сом.	574560	2420000
Стоимость прокладки кабеля, сом.	370800	66000
Стоимость оборудования, сом.	10260000	2200000
Общая стоимость капиталовложений, сом.	161172	4840000
Годовая выработка электроэнергии, кВт/год	1187500	292600
Себестоимость электроэнергии, сом/кВт·час	0,86	1,30
Срок окупаемость, год	11,8	12,72

Из таблицы 4 следует, что солнечная станция в летнем периоде года является наиболее выгодной для электропотребителей на территории Мургабского района, поскольку себестоимость энергии является наименьшей.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

**В приложении** к диссертации содержатся государственные свидетельства о регистрации разработанных программ для ЭВМ и материалы, подтверждающие внедрение данной работы.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

1. Представлен исторический анализ и дана оценка энергетического баланса Республики Таджикистан в целом и Мургабского района в частности. Отдан приоритет возможности использования возобновляемых источников энергии в связи с тем, что электроэнергетическая система Мургабского района является локальной и должна опираться преимущественно на эти источники энергии [1-А, 7-А, 8-А, 10-А, 12-А].

2. Определены вероятностные характеристики метеорологических факторов, являющихся основой возобновляемых источников энергии, а именно: скорости ветрового потока и солнечной радиации. Функции распределения скорости ветра и солнечного излучения подчиняются достаточно сложным законам, которые зависят от нескольких коэффициентов, в большинстве случаев это бета-распределение III рода. Наряду с этим законы распределения могут быть смещенными, и все функции плотности распределения являются несимметричными [4-А, 5-А, 14-А, 16-А, 17-А].

3. Предложена математическая модель оптимального распределения электроэнергии для потребителей, а именно район Мургаб с учетом возможной генерации от возобновляемых источников энергии и накопителей [2-А, 3-А, 15-А, 6-А].

4. Предложенный метод и алгоритм оптимизации энергопотребления для минимизации финансовых расходов отдельных потребителей позволяют минимизировать финансовые затраты нескольких потребителей электроэнергии. Оптимизация основана на методе линейного программирования. Программная реализация этих алгоритмов позволила получить свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ [2-А, 6-А, 13-А].

5. Показана технико-экономическая целесообразность электропотребления в данной локальной электроэнергетической системе от возобновляемых источников энергии как доминирующих и основных источников энергии [9-А, 11-А].

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Использование результатов анализа и экспериментальных данных по оценке распределения возобновляемых ресурсов Мургабского района за каждый час на суточном интервале времени.

2. Использование разработанного алгоритма и его программного пакета при разработке и оптимизации режимов электропотребления.

3. Использование предлагаемой модели и метода при подготовке специалистов и магистров по специальности «Электрические станции» в курсах «Оптимизация электроэнергетических систем», «Энергетические сооружения и установки нетрадиционных возобновляемых источников энергии» и «Режимы работы электрооборудования нетрадиционных возобновляемых источников энергии» Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими.

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

#### *Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте РТ*

[1-А]. **Сафаров М.И.** Обзор возобновляемых источников энергии в районах Республики Таджикистан / М.И. Сафаров // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2017. -№3(39). –С.6-10.

[2-А]. **Сафаров М.И.** Оптимальное управление генерирующим потребителем с использованием базы логических правил и алгоритмов роевого интеллекта / З.В. Кобулиев, Н. Хасанзода, М.И. Сафаров, А.С. Зиёев // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. –Душанбе, 2019. -№3(47). -С. 20-31.

[3-А]. **Сафаров М.И.** Моделирование прихода солнечной инсоляции для климатических условий Республики Таджикистан / Б.Н. Шарифов, Ш.М. Султонзода, М.И. Сафаров, Р.Х. Диёрзода, Дж.Х. Каримзода // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. -№2(58). -С. 38-47.

[4-А]. **Сафаров М.И.** Энергетический потенциал ветрового потока на основе уточненного закона распределения скорости ветра / Н. Хасанзода, М.И. Сафаров, Ф.М., Рахимов, Дж.Х. Каримзода. // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. -№3(59). -С. 5-10.

### *Зарегистрированные программы для ЭВМ*

[5-А]. **Сафаров М.И.** Оптимизация режимов электропотребления генерирующего потребителя в Мургабском районе / Шарифов Н.Ш., Хасанзода Н., М.И. Сафаров Абдурахмонов А.Я., Каримзода Дж.Х., Рахимов Дж.Б., Саъдуллозода Ш.С. / Внесен в Государственный реестр информационных ресурсов Республики Таджикистан. 29.09.2022г.

### *Статьи в материалах конференций*

[6-А]. **Сафаров М.И.** Возобновляемые источники энергии в Таджикистане / А.Я. Абдурахмонов, М.И. Сафаров // Сборник материалов научно-теоретических конференций “Роль в подготовке специалистов государственного университета Куляба имени А. Рудаки”, посв. 70-летию университета (часть 1), 17-18 апреля, г. Куляб. –Куляб, 2015. -С.79-83.

[7-А]. **Сафаров М.И.** Развитие малых ГЭС в Таджикистане / М.И. Сафаров, А.М. Абдусаломов // Материалы I научно–практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Таджикская наука – ведущее звено развития общества» (часть 1), 21-22 апреля 2016г., г. Душанбе. – Душанбе, 2016. -С.63-65.

[8-А]. **Сафаров М.И.** Способы повышения эффективности использования МГЭС / М.И. Сафаров, А.М. Абдусаломов // Материалы I НПК студентов, магистрантов и аспирантов «Таджикская наука – ведущее звено развития общества» (часть 1), 21-22 апреля 2016г. - Душанбе, 2016. -С.126-129.

[9-А]. **Сафаров М.И.** Анализ потенциала возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан / М.И. Сафаров // Международная НПК «Независимость – основа развития энергетики страны», посв. Дню энергетика, 22-23 декабря 2017г. – Бохтар, 2017. –С.274-278.

[10-А]. **Сафаров М.И.** Перспективы применения комплексов альтернативной энергии ветра и солнечной в Республике Таджикистан / М.И. Сафаров, М.М. Джаборов, Ф.К. Донаев // Сборник статей XVIII Международной НПК «World science: problems and innovations», ЧАСТЬ 1, состоявшейся 28 февраля, в г. Пенза. –Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2018. -С. 92-95.

[11-А]. **Сафаров М.И.** Создание энергетических источников – основная цель достижения энергетической независимости / М.И. Сафаров // Материалы III НПК аспирантов, магистрантов и студентов “Наука – основа инновационного развития”, 26-27 апреля 2018г., ЧАСТЬ 1. – Душанбе, 2018. - С.42-44.

[12-А]. **Сафаров М.И.** Автономный инвертор напряжения в системе электроснабжения солнечной электростанции / Б.Н. Шарифов, К.Х. Гулямов, А.Х. Бабаева, М.И. Сафаров // Материалы международной научно-

практической конференции “Перспектива развития науки и образования”, Часть 1. – Душанбе, 2019, -С. 44-47.

[13-А]. **Сафаров М.И.** Энергетический потенциал ветрового потока на основе уточненного закона распределения скорости ветра / М.И. Сафаров, А.С. Зиёев, Ф. Сангаков, Н.Г. Давлатов, Дж.Х. Рашидов // Материалы международной научно – практической конференции: «Энергетика региона: состояние и перспективы развития» Часть 2. – Душанбе, 2019. -С. 256-263.

[14-А]. **Сафаров М.И.** Нечеткие модели для управления и оценки мощности ветроэнергетических установок на основе вероятностных характеристик / М.И. Сафаров, Хасанзода Н., Касобов Л.С., Зиёев А.С., / 16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». В 2 т. Т.2: материалы конференции. - Тула, 2020. –С. 378

[15-А]. **Сафаров М.И.** Анализ законов распределения мощности ветровой электростанции / М.И. Сафаров, // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей XVII Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. -С. 21-25.

[16-А]. **Сафаров М.И.** Оценки мощности ветроэнергетических установок на основе вероятностных характеристик / М.И. Сафаров, А.С. Зиёев, А. И Мирзоев, Д.Т.Вайсиддинович // Материалы международной научно – практической конференции: «Энергетика: состояние и перспективы развития» / Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. - Душанбе, 2022.- С. 201-207

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН  
ДОНИШГОҶИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН  
БА НОМИ АКАДЕМИК М.С. ОСИМӢ**

*Бо ҳуқуқи дастнавис*

**УДК 621.311.24: 621.316.1**



**САФАРОВ МАНУЧЕҲР ИСУФОВИЧ**

**ОПТИМИЗАТСИЯИ ТАВЛИДИ ТАҚСИМШУДА  
ДАР СИСТЕМАИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИИ МАҲАЛЛӢ  
БО МАНБАЪҶОИ БАҶҚАРОРШАВАНДАИ ЭНЕРГИЯ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И**

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

**Роҳбари илмӣ:**  
номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсент  
**Ҳасанзода Насрулло**

Душанбе – 2023

Диссертатсия дар кафедраи «Ҳаракатдиҳандаҳои автоматикунонидашудаи электрикӣ ва мошинҳои электрикӣ» -и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ иҷро шудааст.

**Роҳбари илмӣ:**

**Ҳасанзода Насрулло,**

номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсенти кафедраи “Неругоҳҳои электрикӣ”-и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

**Муқарризони расмӣ:**

**Русина Анастасия Георгиевна,**

доктори илмҳои техникӣ, дотсент, декани факултети Энергетикӣ Донишгоҳи давлатӣ техникии Новосибирск.

**Абдуллоев Бахтиёр Толибджонович,**

Номзади илмҳои техникӣ, мудири шуъбаи муносибатҳои байналмиллалӣ Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон, ш. Душанбе

**Муассисаи пешбар:**

Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон, н. Кӯшонӣён.

**Ҳимояи диссертатсия санаи «06» октябри соли 2023, соати 14:00** дар чаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.КOA-049 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғаи 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад.

Бо диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи расмӣ Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ: <https://web.ttu.tj> шиносӣ 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 замони имрӯза манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар электроэнергетика саҳми калон доранд, муҳити экологиро беҳтар мекунад ва имкон медиҳанд, ки истеъмолгарони алоҳидаи барқ манбаъҳои тавлиди энергияи худро дошта бошанд. Дар баробари ин алоқаи тарафайн байни манбаъҳои генератсия ва истеъмолкунандагони энергияи электрикӣ аз ҳисоби талаботи нав ба мувозинаткунии речаҳо мураккаб мешавад, ки бо баъзе пешгӯинашавандагии истеҳсоли энергия аз ҷониби манбаъҳои барқароршаванда, ҳамчунон бо зарурати пайваст намудани объектҳои иловагӣ дар намуди захиракуандаҳои энергия фаҳмида мешавад.

Баъди он ки системаи электроэнергетикии муттаҳидаи Осиёи Миёна ба системаҳои энергетикии алоҳида тақсим шуд, дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар давраи зимистон аз сабаби камбудии захираҳои аввала аз ҳиссаи захираҳои обӣ, ки ба пастшавии тавоноии истеҳсоли ва дар як вақт ба зиёдшавии талабот ба энергияи электрикӣ меорад, тавозуни энергетикӣ дар система вайрон мешавад. Аз ҳама бештар мушкилоти саҳти камчини тавоноии истеҳсолмешаванда дар системаҳои электроэнергетикии мавзӯҳои аҳолинишини дурдаст, ки дар давраи зимистон маҷрои дарё то 80 % ях мебандад, мушоҳида мешавад. Барои ҳалли мушкилии мазкур аз тарафи Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон “Доир ба барномаи азхудкунии манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва сохтмони неругоҳҳои барқии обии хурд дар давраи солҳои 2016-2020” таҳти № 795 (аз 30.12. соли 2015) қарор қабул карда шуд. Гайр аз ин, барои аз худ кардани энергияи дарёҳои хурд аз тарафи Ҳукумат барномаи дарозмуддати сохтмони неругоҳҳои барқии обии хурд коркард ва қабул гардид. Мувофиқи ин ҳуҷҷатҳо ба омӯзиши потенциалҳои манбаъҳои барқароршаванда ва дар асоси онҳо ҷорӣ намудани технологияи нав барои таъминоти барқии истеъмолкунандагони мавзӯҳои кӯҳистони дурдасти аҳолинишини ҷумҳурӣ диққати махсус дода шуд. Дар замони ҳозира ин барномаҳо қисман амалӣ шуда, барномаи нав дар марҳилаи омӯзиш қарор дорад.

Ба сифати объекти ояндаи таҳқиқот дар қори мазкур системаи электроэнергетикии маҳаллии ноҳияи Мурғоб, ки дар Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшони (ВМКБ) Тоҷикистон ҷойгир аст, интихоб карда шудааст.

Фарқи асосии речаҳои системаи мазкур чунин аст, ки дар давраи зимистон дар он норасоии энергия ва дар тобистон захираи энергия, яъне зиёдтании энергия ҷой дорад. Ноҳияи Мурғоб аз 20 мавзеи аҳолинишин иборат аст, ки онҳо аз ҳамдигар дар масофаи 15-20 км дур ҷойгир шуда, ба системаи марказонидашудаи таъминоти барқии ВМКБ пайваст нестанд. Масофа аз маркази маъмурии вилоят то маркази ноҳия 320 км аст. Ба ин мақсад сохтани хатҳои ҳавоии интиқоли барқии 35 – 10/0,4 кВ бо назардошти зиёд шудани нарх дар маводи сохтмонӣ барои ноҳия ва вилоят аз ҷиҳати техникӣ ва иқтисодӣ мувофиқи мақсад нест. Бо назардошти ҳолати ба вучудодада яке аз роҳҳои

ҳалли баланд бардоштани самаранокии система электротаяминкунии ноҳияҳои дурдасти кӯҳистон имкони истифодаи маҷмӯавии электроэнергетикии маҳаллӣ буда метавонад.

Мушкилоти таъминоти энергияи ноҳия мумкин аст бо воситаи МБЭ, мисли энергияи офтоб ва бод, ки дар ноҳия иқтисодии калон ҷойгир аст, ҳал шавад. Барои ноҳияи Мурғоб ояндадортарин истифодаи яқҷояи манбаъҳои барқароршавандаи энергия буда, мушаххасан НББ ва НБОф бо мақсади ҳамвортар намудани авҷҳои қуллавӣ ва ислоҳ дар истеҳсоли энергия аст.

Тавсифи стохастикии ворид шудани манбаъҳои барқароршавандаи аввалияро ба назар гирифта, барои речаҳои оптималии истифодаи яқҷояи ҳамаи маҷмӯъҳо, дар таркиби системаҳои электроэнергетикии маҳаллӣ мушкилоти интиҳоби усул пайдо мешавад. Усулҳои коркардмешавандаи ҳал сценарияи бадтарини истеҳсоли барқароршаванда ва истифодаи борро бо муҳайёкунии тавоноҳои оптималӣ бояд ба назар гирад. Ба тӯфайли эътимодияти усулҳои интиҳобшуда системаи коркардшуда метавонад борро дар рӯзҳои бо истеҳсоли кам аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва зуд-зуд тағйирёбии бор таъмин кунад.

Ҳалли мушкилоти мазкур масъалаи мубрам буда, бо оптималикунии равандҳои табдил, тақсимот, танзим дар чунин системаҳои электроэнергетикӣ алоқаманд аст.

**Дарачаи коркарди мавзӯ.** Дар таҳқиқи илмӣ вобаста ба банақшагири ва истифодабарии манбаъҳои барқароршавандаи энергия олимони хориҷӣ ва ватанӣ: Н.И. Воропай, В.З. Манусов, Е.В. Соломин, Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов, С.Н. Удалов, А.А., Бубенчиков, З. Ш. Юлдашев, А.Я. Абдурахмонов, Ф.О. Исмоилов ва дигарон саҳми калон гузоштаанд.

Масъалаҳои оптимизатсияи система дар асоси МБЭ дар қорҳои олимони хориҷӣ ва ватанӣ: В.П. Харитонов, П.П. Безруких, В.В. Елистратов, В.И. Виссарионов, О.С. Поппеля, Б.В. Лукутин, В.З. Манусов, С.Г. Обухов, К. Роре, S. Eriksson, А.Қ. Қирғизов, Х.С. Саидзода ва дигарон дарҷ гардидааст.

Новобаста аз саҳми муҳими таҳқиқотчиёни хориҷӣ ва ватанӣ дар мушкилоти истифодаи маҷмӯавии МБЭ, аз як тараф ва ба мубрамияти ҷойдоштаи талабот ба оптималикунии система дар асоси МБЭ бо оптималикунии банақшагирии “истеъмолгарони барқ” речаи тавлид ва истеъмол, аз тарафи дигар имрӯз усули банақшагирии оптималии истеъмоли барқ сохта нашудааст, ки меъёрҳои техникӣ ва иқтисодиро қонеъ карда бошад.

**Мақсади қор:** қоркарди модели математикӣ барои оптималикунии истифодаи барқ дар системаҳои электроэнергетикии маҳаллӣ.

**Объекти таҳқиқот** – системаи электроэнергетикии маҳаллӣ бо бартари микдории манбаъҳои барқароршавандаи энергия.

**Мавзӯи (предмет) таҳқиқот** – банақшагирии речаҳои оптималии истифодаи барқ аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия.

**Нуқтаи назари қор** – қоркарди моделҳо ва усулҳои оптималикунии речаҳои истифодаи барқ дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия.

## **Барои расидан ба мақсадҳо масъалаҳои зерин гузошта ва ҳал карда шудаанд:**

1. Баҳо додани истифодаи захираҳои манбаъҳои барқароршавандаи энергия барои системаҳои электроэнергетикии маҳаллӣ.

2. Муайян кардани тавсифҳои эҳтимолии қонунҳои тақсимои сели бод ва радиатсияи офтоб.

3. Кор карда баромадани усули банақшагирӣ ва оптималикунии речаҳои истифодаи барқ дар системаҳои электроэнергетикии маҳаллӣ.

4. Баҳо додани самараи техникӣ–иқтисодии чорабиниҳои пешниҳодшуда.

**Усулҳои таҳқиқот:** усулҳои оптималикунӣ дар асоси барномасозии ҳатӣ ва қоидаи маҳсулноқӣ; усулҳои таҳлил ва тавозункунии речаҳои барқароршудаи системаи электроэнергетикӣ, инчунин усулҳои назарияи эҳтимолият ва оморҳои математикӣ.

### **Навовариҳои илмии кор:**

1. Тавсифҳои эҳтимолӣ ва қонунҳои тақсимои омилҳои метеорологӣ барои манбаъҳои истеҳсоли дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия муайян карда шудааст.

2. Модели математикӣ барои речаҳои истифодаи барқ бо назардошти манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва захиракунонда дар намуди системаҳои муодилаҳои ғайриҳаттии алгебравӣ коркард шудааст.

3. Алгоритми банақшагирии оптималии истифодаи барқ дар асоси барномасозии ҳатӣ ва қоидаи маҳсулноқӣ барои кам намудани хароҷоти молиявии истеъмолунандагон коркард шудааст.

### **Аҳамияти амалӣ ва татбиқи кор:**

1. Модели математикии тақсимои оптималии захираҳои энергетикӣ барои истеъмолгарони ноҳияи Мурғоб ба ҳар як соат дар фосилаи вақти шабонарӯз бо назардошти энергияи дастгоҳи бодӣ, неругоҳи барқи офтобии фотоэлектрикӣ ва имкони захиракунии он пешниҳод шудааст.

2. Алгоритм ва усули татбиқи барномавии оптималии речаҳои истифодаи барқи истеъмолгарони он ки барнома бо шаходатномаи қайди давлатӣ барои МЭҲ тасдиқ ёфтааст, коркард шудааст.

3. Моделҳо ва усулҳои пешниҳодшуда барои оmodасозии мутахассисон ва магистрҳо аз рӯйи ихтисоси “Неругоҳҳои барқӣ” дар омӯзиши фанҳои “Оптималикунии системаҳои электроэнергетикӣ”, “Иншооти энергетикӣ ва дастгоҳҳои манбаъҳои барқароршавандаи ғайрианъанавии энергия” ва “Речаҳои кории таҷҳизоти барқии манбаъҳои барқароршавандаи ғайрианъанавии энергия” дар Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ истифода мешавад.

### **Мазмуни ба ҳимоя пешниҳод шаванда:**

1. Баҳои имконпазирии энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки имкони қаблан муайянкунии истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергияро барои системаи электроэнергетикии маҳаллӣ медиҳад.

2. Қонунҳои муайяншудаи тақсимои эҳтимолияти сели бод ва радиатсияи офтоб.

3. Усул ва алгоритми банақшагирии оптималии истифодаи барқ барои таркиби муайяни манбаъҳои энергия имкон медиҳад, ки хароҷоти молиявӣ ва маводии истифодаи барқ паст шавад.

4. Баҳои воқеии самаранокии иқтисодии истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия.

**Саҳми шахсии муаллиф дар кори диссертатсионӣ** аз муқаррароти умумии ҳадаф ва вазифаҳои таҳқиқот, гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ барои муайян кардани нишондиҳандаҳои асосии дастгоҳҳои бодии энергетикӣ ва неругоҳи барқи офтобии фотоэлектрикӣ, иштирок дар коркард, тайёр намудани мавод ба чоп, инчунин тартиб додани хулосаҳои асосии муаллиф, яққоя бо роҳбари илмӣ иборат аст.

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

1. Коркарди асосҳои (муносибатҳои) илмӣ омузиши хосиятҳо ва принципҳои умумии кор, усулҳои ҳисоб, алгоритму программаҳои интиҳоб ва оптимизатсияи параметрҳо, нишондиҳандаҳои сифат ва речаҳои кори системаҳои энергетикӣ, мучтамаъҳо, таҷҳизотҳои энергетикӣ, ки дар асоси сузишвории органикӣ, алтернативӣ ва умуман навъҳои барқароршавандаи энергия кор мекунанд, инчунин таҷҳизоти асосӣ ва ёрирасони онҳо;

2. Моделсозии математикӣ, тадқиқоти ададӣ ва ҳақиқии равандҳои физикию-химиявӣ ва корӣ, ки дар системаҳо ва таҷҳизотҳои энергетикӣ дар асоси сӯзишвории органикӣ, алтернативӣ ва навъҳои барқароршавандаи энергия, дар таҷҳизоти асосӣ ва ёрирасони онҳо ва дар даври умумии технологии истеҳсоли энергияи электрикӣ ва гармӣ, ба амал меоянд;

11. Таҳлили назариявӣ, тадқиқоти таҷрибавӣ, моделсозии физикӣ-математикӣ, тарҳрезии нерӯгоҳҳо, нерӯгоҳҳо ва комплексҳои энергетикӣ, ки дар асоси табдил додани навъҳои барқароршавандаи энергия (энергияи ҷараёни об, энергияи офтоб, энергияи бод, энергияи биомасса, энергияи гармии замин ва дигар намудҳои энергияи барқароршаванда) бо мақсади омӯختан ва оптимизатсия кардани параметрҳо, речаҳои кори онҳо, сарфаи сӯзишвории истихроҷшаванда ва ҳалли мушкилоти экологӣ ва иҷтимоӣ-иқтисодӣ;

12. Омӯзиши таъсири қарорҳои техникӣ, ки ҳангоми бунёд ва истифодаи системаҳои энергетикӣ, комплексҳо ва иншоотҳо ба нишондиҳандаҳои молиявию иқтисодӣ ва сармоягузори онҳо, иқтисодиёти минтақавӣ ва муҳити зист қабул карда мешаванд.

**Дарачаи эътимоднокии мазмунӣ илмӣ, натиҷаҳои ба даст омада ва хулосаҳо** бо истифодаи бо салоҳияти назарияи системаҳои электроэнергетикӣ, асосҳои назариявии электротехника, усулҳои эҳтимолиятӣ – оморӣ, усулҳои

коркарди ретроспективӣ, ҳамчунон дараҷаи хуби дурустии маълумоти метеорологӣ тасдиқ мешавад.

**Санчиш ва тасдиқ намудани кор.** Мазмуни асосии кори диссертатсионӣ дар конференсияҳои байналмилалӣ ва семинарҳои илмӣ маъруза ва муҳокима шудааст:

- Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии “Истиқлолият-асоси рушди энергетикаи ватанӣ”, Институти энергетикаи Тоҷикистон, шаҳри Бохтар (2017); Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии “Олимони ҷаҳон: мушкилот ва инноватсия” (Пенза, 2018); Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ “Рушди ояндаи илм ва маориф” (Душанбе, 2019); Конференсияи байналмилалии илмӣ амалии “Энергетикаи минтақа: ҳолат ва рушди оянда” (Душанбе, 2019); Конференсияи XVI байналмилалӣ оид ба масъалаҳои истихроҷи маъдан, сохтмон ва энергетика «Проблемаҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва экологии саноати кӯҳӣ, сохтмон ва энергетика» (Тула, 2020); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии “Энергетика: ҳолат ва рушди оянда” (Душанбе, 2020); Конференсияи XVII умумируссиягии илмӣ-техникӣ “Илм ва Маърифат” (Пенза, 2022).

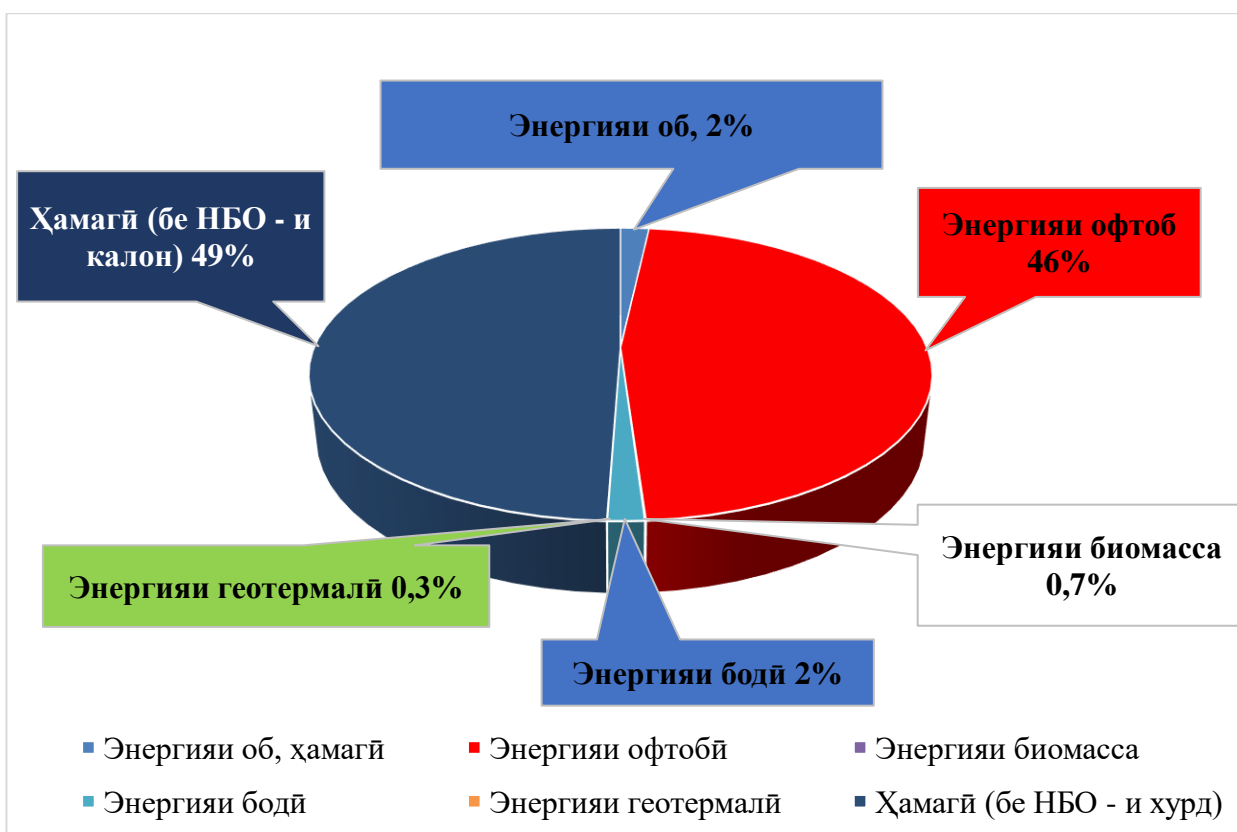
**Нашрияҳо.** Аз натиҷаҳои кори диссертатсионӣ 16 кори ҷопӣ, аз ҷумла 4 кор дар нашрияҳои тақризии аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон барои наشري натиҷаҳои таҳқиқоти диссертатсионӣ тавсияшуда ба нашр расонида шудааст. Шаҳодатнома аз қайди давлатии захираҳои иттилоотӣ гирифта шуда, инчунин 11 кор дар нашрияҳои гуногун ҷоп шудааст.

**Сохтор ва ҳаҷми кор.** Кори диссертатсионӣ аз муқаддима, чор боб, хулоса, номгӯи ибораҳои кӯтоҳшуда, номгӯи адабиёт иборат аз 135 номгӯи ва 4 замима иборат аст. Ҳаҷми умумии кор аз 138 саҳифа иборат буда, 21 ҷадвал ва 46 расмро дар бар мегирад.

## МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

**Дар муқаддима** аҳамияти мавзӯ, мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот асоснок карда шуда, наоварии илмӣ ва аҳамияти амалии кор оварда шуда, мазмуни асосии илмии ба ҳимоя пешниҳодшуда нишон дода шудааст.

**Дар боби якум** ҳолат ва рушди истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар системаи электроэнергетикаи маҳаллӣ дида шудааст. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон миқдори кофии ҳамаи намуди манбаъҳои барқароршавандаи энергия мавҷуд аст (нигаред ба расми 1). Инчунин таҳлили ҳолат ва тамоюли рушди энергетикаи бодӣ ва офтобӣ дар ҷаҳон ва дар Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шудааст.



**Расми 1.** – Захираи манбаъҳои барқароршавандаи ғайрианъанавии энергияи Ҷумҳурии Тоҷикистон / [млн. т.с.ш. (МВт) дар сол].

Натиҷаҳои таҳлили ҳолати муосир ва истифодаи МБЭ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар давраи истиқлолият гузаронида шудааст.

Натиҷаҳои таҳлили қонунҳо ва ҳуҷҷатҳои меъёрии давлатҳои аъзои ИДМ ва таҷрибаи ҷаҳонӣ аз ташкили иерархияи системаҳои электроэнергетикӣ, аз ҷумла шароити эҷоди системаҳои электроэнергетикии маҳаллӣ оварда шудааст (ниг. ба ҷадвалҳои 1 ва 2).

**Ҷадвали 1.** – Мафҳумҳои асосии СЭЭ дар мамлакатҳои ИДМ

Мафҳум/ мамлакат	Тоҷикистон	Белоруссия	Қазоқистон	Ўзбекистон	Қирғизистон	Туркменистон	Арменистон	Молдавия	Озарбойҷон
Системаи энергетикӣ муттаҳида	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Системаҳои электроэнергетикии ҳудудӣ	-	-	+	+	-	+	+	+	+
Шабакаи барқии милли	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Системаи электроэнергетикии ноҳиявӣ	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Системаи электроэнергетикии маҳаллӣ	+	-	-	-	-	+	-	-	-

**Чадвали 2.** – Мафхумҳои асосии СЭЭ дар мамлакатҳои хориҷ (ғайр аз ИДМ)

Мафхум/ мамлакат	ИМА	Иттиҳоди Атлантик	Олмон	Туркия	Чин	Ҳиндустон	Франса
Системаи энергетикӣ муттаҳида	+	+	+	+	+	+	+
Системаҳои электроэнергетикӣ ҳудудӣ	-	+	-	-	-	-	-
Шабакҳои барқии милли	-	-	-	+	+	+	+
Системаи электроэнергетикӣ ноҳиявӣ	+	-	+	-	-	-	-
Системаи электроэнергетикӣ маҳаллӣ	+	+	+	+	+	+	-

**Боби дуюм** ба коркарди омории тарҷеъ (ретроспективӣ) додани як қатор омилҳои муваққатии метеорологӣ, махсусан, суръати сели бод ва радиатсияи офтоб барои муайянкунии тавсифҳои эҳтимолии онҳо ва қонунҳои тақсимот бахшида шудааст.

Барои муайян кардани қонунҳои тақсимот барномаи “Таҳлили омории мушоҳидаҳои фосилавии ченкунии якҷарафаи бузургҳои тафсири истифода шудааст. Тафсири 4.4.1.105». Қисми феҳристи қонунҳои стандартӣ тақсимот, ки дар барнома истифода гардидааст, дар чадвали 3 нишон дода шудааст. Дар он идентификаторҳои тақсимот, синонимҳои идентификаторҳо, номи тақсимот дода шудааст.

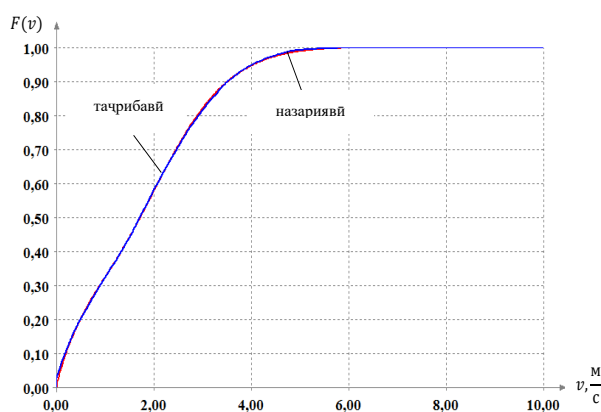
**Чадвали 3.** – Қонунҳои тақсимоти дар барнома ворид кардашуда

Идентификатор	Синоним	Номи тақсимот
D9	NORM	Муътадил
D14	VEI	Вейбулла
D19	GAMMA	Гамма
D20	BETA_I	Бета I тарз
D21	BETA_II	Бета II тарз
D22	BETA_III	Бета III тарз

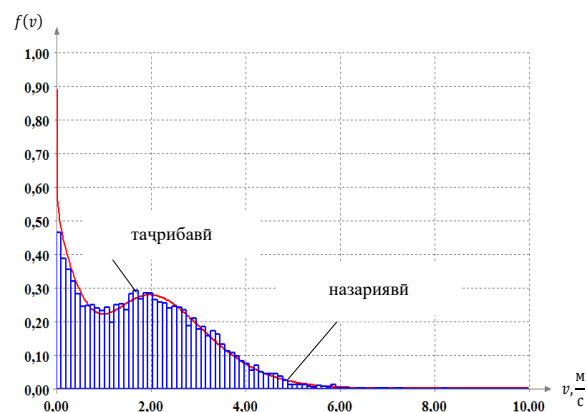
Барномаи таҳлили омории мушоҳидаҳои фосилавии ченкунии якҷарафаи бузургҳои ногаҳониро истифода бурда, қонунҳои тақсимотро барои суръати бод ва нури афканишоти офтоб меёбем. Маълумот доир ба суръати бод барои соли 2021 аз бойгонии обу ҳаво санҷии ноҳияи Мурғоб гирифта шудааст. Суръати бод ҳамчун қимати миёна дар фосилаи соат навишта шуда аст.

Дар натиҷаи интиҳоби кор (функсия) тақсимот маълум шуд, ки аз ҳама наздик омехтаи ду тарзи бета – тақсимот тарзи III бо зичии:  $\{0,45 \times \text{Be-III}(0,944; 6,091; 1,766; 10; 0)\}$ ,  $\{0,55 \times \text{Be-III}(7,435; 7,291; 3,124; 10; 0)\}$  аст (рас. 2 – 3).

Дар ин ҷо {параметри омехтаи бета – тақсимоти тарзи III (параметри шакл  $\alpha$ ; параметри шакл  $\beta$ ; параметри шакл  $\delta$ ; параметри миқийс; параметри ғечиш)} – функсияи зичии тақсимот.



**Расми 2.** – Функцияи таҷрибавӣ ва назариявӣ тақсими суръати бод барои соли 2021 дар ноҳияи Мурғоб.



**Расми 3.** – Зичии таҷрибавӣ ва амалии тақсими суръати бод барои соли 2021 дар ноҳияи Мурғоб.

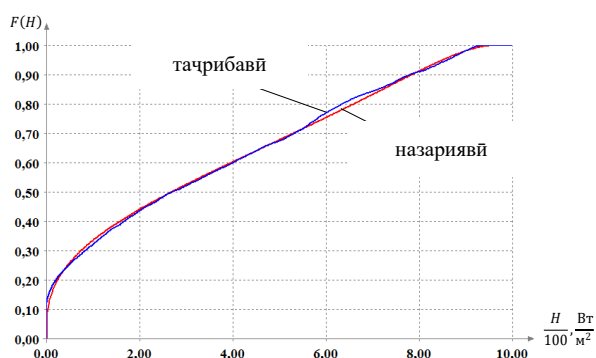
Айнан чунин тақсимои бодро ҳар моҳи соли 2021 дар ноҳияи Мурғоб гирифта шудааст.

Шуоъафканиҳои офтобӣ, ки дар сатҳи Замин гирифта мешавад, ба лаппишҳои ҳаррӯза, фаслӣ ва солони гирифтӣ буда, пас барои ба даст овардани баҳои кофии дақиқи имконпазири дарозмуддат ва тақсимои ба даст овардани мушоҳидаи бисёрсола (шояд на кам аз 20 сол) зарур аст. Аммо дар бисёри ҷойҳо дар мамлакатҳои тараққиқунанда воситаҳои барои ҷенкуниҳои дақиқи бетанаффуси радиатсияи офтобӣ мавҷуд нестанд ва барои ҳамин ҳам истифодаи усулҳои эмпирикӣ зарур аст, ки ба нишондиҳандаҳои ба осонӣ ҷеншавандаи метеорологӣ, ба монанди ҳарорат, намии нисбӣ, миқдори боришот, абрнокӣ ва давомнокии он, равшаниҳои дурахшони офтобӣ асос ёфтаанд.

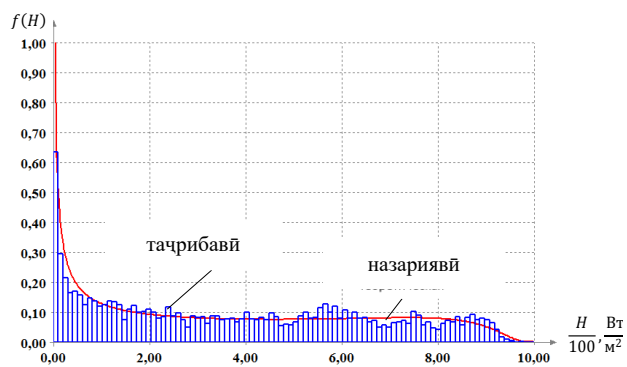
Таҳлилҳои омории тасвирӣ, инчунин таҳлили мантиқии омории барои гирифтани натиҷаҳои дилхоҳ истифода шуда буд. Барои он ки тақсимои эҳтимолии аз ҳама наздик барои моҳҳои гуногуни сол ёфта шавад интихоби эҳтимолияти нодуруст истифода шуд. Таҳлил бо маълумоти соати нурафканиҳои офтоб барои дар соли 2021 гирифташуда гузаронида шудааст, ки ба дарки ҳалли асоснокии проблемаҳои муайяншуда маълумоти амиқ гирифт.

Барои таҳлил маълумоти миёна барои ҳар як соат дар фосилаи вақти маҳаллӣ аз 8:00 то 16:00 гирифта шудааст, зеро дар вақти шабона офтоб ба уфуқ мебарояд ва равшанӣ надорад. Дар натиҷаи интихоби кор (функсия)-и тақсимои маълум шуд, ки аз ҳама наздик тарзи бета – тақсимои тарзи III аст, ки (рас. 4 – 5) параметрҳои он баробар: ба  $\alpha = 0,354$ ,  $\beta = 7,035$ ,  $\delta = 0,045$ ,  $q = 10$  аст.





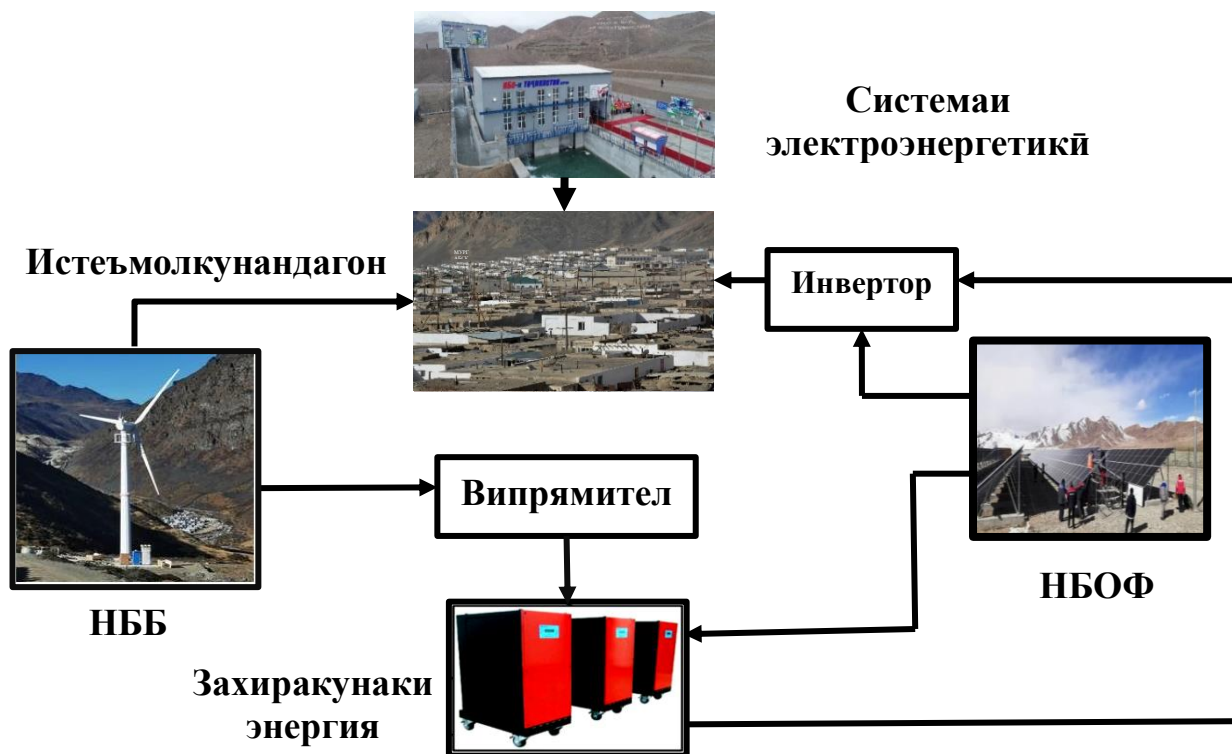
**Расми 4.** – Функцияи таҷрибавӣ ва амалии зичии сели нурҳои офтоб барои соли 2021 дар ноҳияи Мурғоб



**Расми 5.** – Зичии тақсимоти таҷрибавӣ ва амалии зичии нурҳои офтоб барои соли 2021 дар ноҳияи Мурғоб

Айнан чунон тақсимот барои ҳар моҳи соли 2021 дар ноҳияи Мурғоб гирифта шудааст.

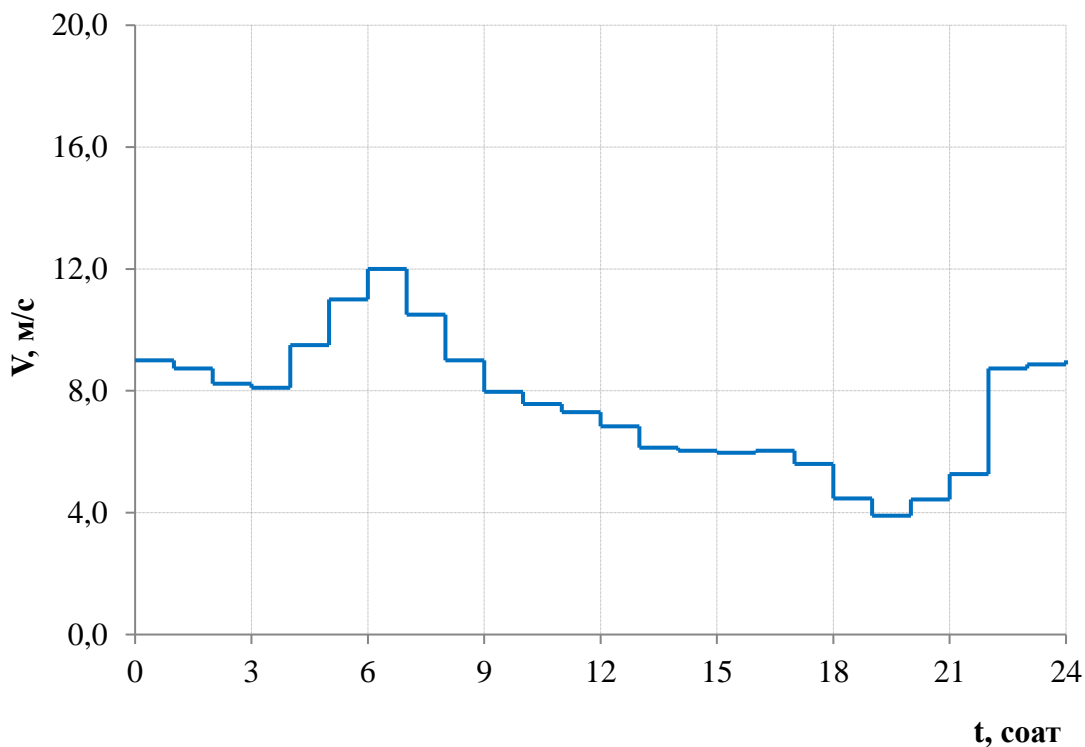
**Боби сеюм** ба истифодаи оптималии манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар ноҳияи Мурғоб бахшида шудааст. Манбаи асосӣ дар ин ҳол истифодаи захираҳои бодӣ ва офтобии худ, ки дар минтақаи мазкур хеле калон аст, мебошад. Мақсади таҳқиқот дар қарорди усули математикии оптималии тавозун ва истифодаи барқ бо иштироки истеъмолкунанда ва манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар намуди захираҳои бод ва нурафкании офтоб дар системаҳои маҳаллии дорой сели энергияи дутарафа бо назардошти нишондиҳандаҳои гуногуни нарх мебошад. Системаи интихоби пешқадами манбаъҳои тавлиди таъминкунандаи хароҷоти минималии маводӣ - молиявии истифодаи барқ пешниҳод гардидааст.



**Расми 6.** – Сохтори пешниҳодшудаи системаи электроэнергетикии маҳаллии ноҳияи Мурғоб.

*Энергетикаи бодӣ.* Иқлими бодгузар барои қитъаҳои ҳудуди Мурғоб метавонад фарқ кунад. Дар қори мазкур бойғонии боду ҳавои ноҳияи Мурғоб ҳамчун асоси қиматҳои оморӣ суръати бод барои якҷанд моҳи соли 2021 истифода шудааст.

Маълумоти метеорологии суръати бод дар ноҳияи Мурғоб исботи онро дорад, ки сохтмони нуругоҳи барқи бодӣ бо тавоноии то 500 кВт мувофиқи мақсад мебошад (расми 7).



**Расми 7. – Ҷадвали шабонарӯзии суръати бод.**

Тавоноӣ дар баромади НББ аз суръати рости сели бод вобаста аст, ки аз вақт, аз боду ҳавои маҳал ва сатҳи замин бо шиддат тағйир меёбад. Вобастагии байни суръати боди тавассути масоҳати ишғол кардаи дастгоҳ  $A$  ( $m^2$ ) гузаранда ва тавоноӣ бо муқоилаи зерин ифода меёбад:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A V^3, \quad (1)$$

дар ин ҷо:

$\rho$  – зичии сели бод ( $kg/m^3$ ), ки аз ҳарорат ва фишори ҳаво вобаста аст;

$A$  – масоҳати ишғолкардаи ҷарҳҳо;  $V$  – суръати бод;

$C_p$  – коэффитсенти самаранокии НББ.

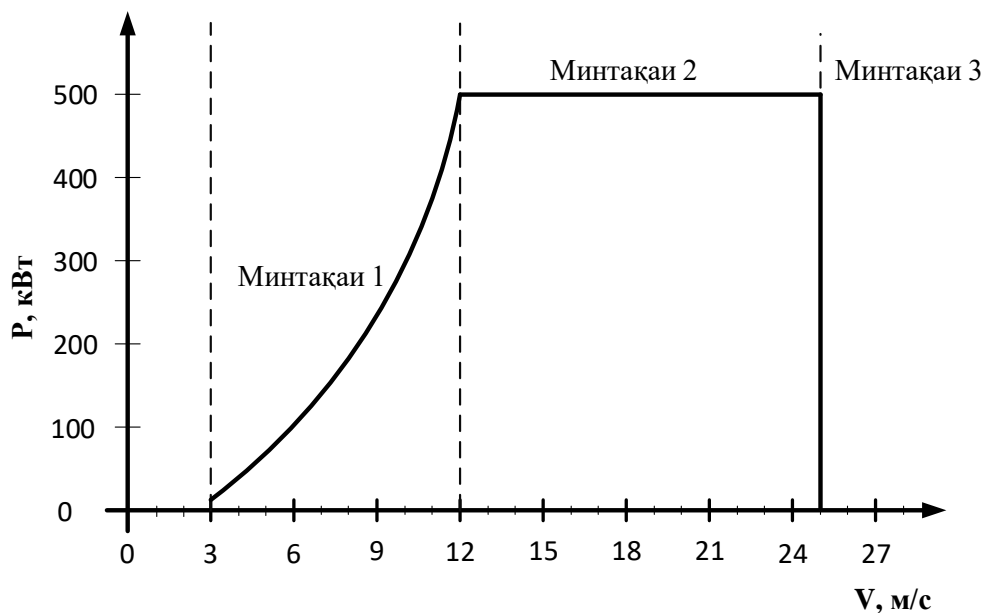
Ҳамвории ишғолкарда баробар аст:

$$A = \pi R^2, \quad (2)$$

дар ин ҷо

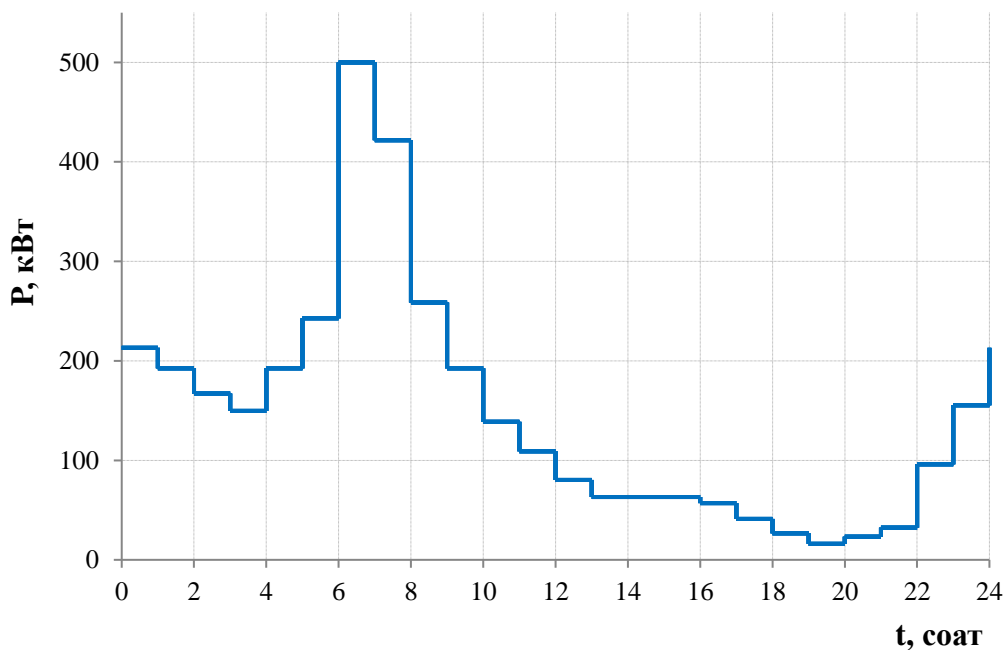
$R$  – радиуси чархи бодӣ, м.

Баъди муайян кардани суръати бод онро тавассути тавсифи тавоноии НББ бояд ба тавоноии электрикӣ табдил дод, ки дар расми 8 нишон дода шудааст.



**Расми 8.** – Тавсифи тавоноии неруғоҳи барқи бодӣ.

Чӣ хеле ки дида мешавад, истехсоли тавоноӣ аз нишони суръати бод ханогоми 3 м/с будан сар мешавад ва мавқеи саршавӣ дар раванди истехсол мебошад. Дар диапазони суръат аз 3 м/с то 12 м/с будан истехсоли тавоноӣ номиналӣ аст. Сар карда аз 12 м/с то 25 м/с, тавоноӣ дар сатҳи номиналӣ нигоҳ дошта мешавад. Баландтар аз нишонаи охирӣ бо мақсади таъмини беҳатарӣ барои хомӯш кардани дастгоҳ фармон ба қор мебарояд. Қимати тавоноии табдилдошудаи НББ ва НБОф дар расми 9 нишон дода шудааст.



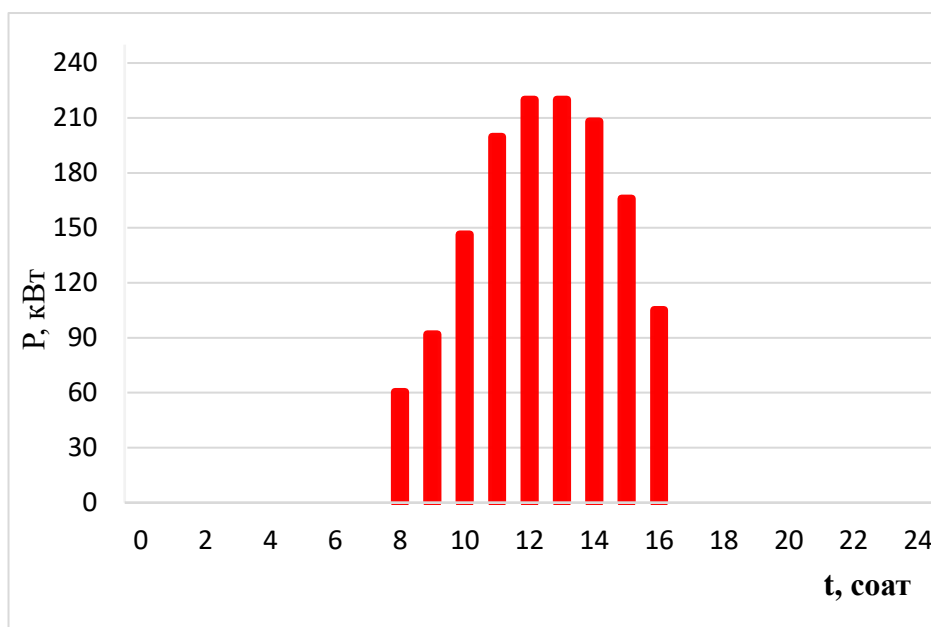
**Расми 9.** – Ҷадвали шабонарӯзии тавоноии истехсолии НББ

*Энергетикаи офтобӣ.* Манбаи умумии энергия барои ҳар як ҳудуд, аз ҷумла барои Ҷумҳурии Тоҷикистон Офтоб маҳсуб меёбад. Радиатсияи офтоб ҳамчун манбаи тамоми намудҳои энергияи барқароршаванда элементи базавии иқлим ҳисобида мешавад.

Ҷойгиршавии ҷуғрофӣ ва шароити табиӣ–иқлимии Тоҷикистон имкон медиҳад, ки дар ҳудуди Осиёи Марказӣ дар истифодаи энергияи офтоб яке аз мамлакатҳои ояндадор ҳисоб шавад.

Бо баҳодиҳии коршиносони маҳаллӣ потенциали офтоб дар Тоҷикистон тахминан 25 млрд кВт-с/сол арзёбӣ мешавад, ки метавонист 10-20 % талаботи миллиро бо энергия таъмин кунад. Қимати суммавии радиатсияи офтоб дар вақти осмони соф 700-800 Вт/м<sup>2</sup> ё ин ки 7,500-8,000 МДж/м<sup>2</sup>–ро ташкил медиҳад.

Дар ҳудуди ноҳияи Мурғоб аз ҳама бештар истифодаи дастгоҳҳои офтобӣ мувофиқи мақсад аст. Коршиносони маҳаллӣ чунин мешуморанд, ки равшаннокии рости радиатсияи офтоб аз 10,3 кВт-с/м<sup>2</sup> (июн-июл) то 5,9 кВт-с/м<sup>2</sup> (декабр-январ) баҳо дода мешавад.



**Расми 10.** – Ҷадвали шабонарӯзии тавоноии истеҳсолии НБОф.

Аз расм дида мешавад, ки тавоноии бештаринро аз ҳисоби энергияи офтоб аз соати 8 то 16 ба даст овардан мумкин аст. Ин тахминан ба давомнокии сарбории электрикӣ дар давоми рӯзи корӣ мувофиқат мекунад.

**Моделҳои математикии тавозуни энергетикӣ истеъмолкунанда.** Барои системаи дилхоҳи электроэнергетикӣ тавозуни ҳатмии тавоноии ғайбӣ байни манбаҳои тавлидкунанда ва истифодакунандагони энергияи электрикӣ мавҷуд аст. Ба ин тавоноӣ инчунин суммаи талафоти тавоноии ғайбӣ дар шабакаҳои барқӣ, ки аз сарфи технологияи энергия ва интиқоли он алоқаманд аст, ҳам кардан зарур аст. Муодилаи тавозуни тавоноиро барои системаҳои дидашуда дар намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$P_{CIC} + P_{HBB} + P_{HBO\phi} \pm P_{Акк.} = P_{И} + \sum \Delta P, \quad (3)$$

дар ин чо:

$P_{CIC}$  – тавоноие, ки метавон аз манбаъи беруна гирифт;

$P_{HBB}$  – тавоноии ҳаддӣ аз НББ;

$P_{HBO\phi}$  – тавоноии ҳаддӣ аз НБОф;

$P_{Акк.}$  – тавоноии захиракунанда, батареяҳои аккумуляторӣ;

$P_{И}$  – тавоноии истифодаи барқ;

$\sum \Delta P$  – талафоти суммавии тавоноии фаъол дар шабака.

Дар фосилаи вақти шабонарӯз тавозуни энергияро дар намуди интегралӣ метавон чунин навишт:

$$\int_0^{24} P_{CIC}(t) dt + \int_0^{24} P_{HBB}(t) dt + \int_0^{24} P_{HBO\phi}(t) dt \pm \int_0^{24} P_{Акк.}(t) dt = \int_0^{24} P_{И}(t) dt + \int_0^{24} \sum \Delta P(t) dt \quad (4)$$

Дар нуқтаи назари сели тавоноии дутарафаи энергия имкони гирифтани энергияи электрикӣ дар вобастагиҳои гуногун аз ҳамаи манбаъҳои имконпазири истеҳсоли системаи энергетикӣ, НББ, НБОф ва захиракунанда кушода мешавад. Нархи ин намудҳои энергия гуногун аст. Самаранокии қарорҳои қабулшаванда бо таносуби оптималии ба даст овардани он аз тамоми намудҳои нишондодаи манбаъҳои энергия ҳангоми нархҳои гуногун барои ҳар як соати ҷадвали борбасти шабонарӯзӣ муайян карда мешавад. Масъала муфидтаркунонӣ ва ба дараҷае пешгӯинашаванда доир ба истеҳсоли тавоноии НББ ва НБОф, ҳамчунон доир ба маҳдудиятҳои додшуда ба имконияти аккумулятсияи энергия аз ҷониби захиракунанда ба шумор меравад.

Ба сифати намунаи ибтидоӣ речаҳои истифодаи барқи ноҳияи Мурғобро мебинем. Маълумоти ибтидоии зеринро мегирем:

$P_{И_i}$  – тавоноии истеъмолии истеъмолкунандагони Мурғоб;  $P_{CIC}$  – тавоноии интиқоли аз системаи энергетикӣ;  $P_{\max}^{HBB_i}$  – тавоноии истеҳсолии максималии имконпазири НББ, дар ин чо  $0 \leq P_{ном}^{HBB} \leq P_{\max}^{HBB}$ ;  $P_{\max}^{HBO\phi_i}$  – тавоноии истеҳсолии максималии имконпазири НБОф, дар ин чо  $0 \leq P_{ном}^{HBO\phi} \leq P_{\max}^{HBO\phi}$ ;  $P_{\max}^{Акк.i}$  – тавоноии максималии интиқолии аккумулятор, дар ин чо  $0 \leq P_{ном}^{Акк.} \leq P_{\max}^{Акк.}$ .

Моделҳои математикии интиқоби манбаъҳои имконпазири энергия барои мусоидкунии сарфҳои истеъмолкунанда барои энергияи электрикӣ метавонад, ки бо системаи муодилаҳои алгебравии ғайрихаттӣ (СМАҒ), ки дар ҳар қадами раванди итератсионӣ метавонад, ки хаттӣ кунонида шавад ва худ системаи муодилаҳои хаттии алгебравӣ мебошад (СМХА).

Барои оптималикунии сарфи энергияи электрикӣ дар давоми шабонарӯз интиқоби қимат аз вектори даромади истеҳсол ё ин ки интиқоли энергияи электрикӣ иҷро шуда, ба матритсаи нарх зарб мешавад. Дар ин сурат ба ҳар

соати чадвали шабонарӯзии истифодаи барқ тавоноӣ миёна карда мешавад ва ҳамин тариқ миқдори қимати тавоноӣ дар соат бо қимати тавоноӣ бо қимати энергияи истеъмолишуда дар ҳамин соат мувофиқ меояд. Системаи муодилаҳои асосӣ дар поён оварда шудааст:

$$\begin{cases} c_{11} \cdot P_{СИС} + c_{12} \cdot P_{НББ} + c_{13} \cdot P_{НБОф} + c_{14} \cdot P_{Акк.} = m_{i,1} \\ c_{21} \cdot P_{СИС} + c_{22} \cdot P_{НББ} + c_{23} \cdot P_{НБОф} + c_{24} \cdot P_{Акк.} = m_{i,2} \\ c_{31} \cdot P_{СИС} + c_{32} \cdot P_{НББ} + c_{33} \cdot P_{НБОф} + c_{34} \cdot P_{Акк.} = m_{i,3} \\ c_{41} \cdot P_{СИС} + c_{42} \cdot P_{НББ} + c_{43} \cdot P_{НБОф} + c_{44} \cdot P_{Акк.} = m_{i,4} \end{cases}, \quad (5)$$

дар ин ҷо:

$m_i$  – арзиши истеъмоли энергияи электрикӣ;

$i = 1, 2, 3, 4$ , – чор имкони манбаи энергия барои истеъмолишуда.

Ҳалли системаҳои муодилаи хаттии алгебравӣ дар ҳар қадами такроршавӣ танҳо бо усули Гаусс муайян карда мешавад. Роҳи рост ба сифр баробаркунии унсурҳои таҳти диагональ ва роҳи баръакс ба ҳалли муодила бо матритсаи секунҷаи боло иборат аст. Аввал охири бо рақами номуайян ёфта мешавад.

Матритсаи нарх намуди матритсаи зеринро мегирад:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Дар ин сурат элементҳои диагональ нархро барои энергияи электрикӣ ба ҳар кадом манбаҳои алоҳидаи истеҳсолкунанда ва элементҳои гайридиагональ нархи миёнаи энергияро аз ҳамаи манбаҳо ифода менамояд.

Оптималикунии истифодаи барқ дар ин ҳолат ба намуди матритсаи нарх диагональ дида мешавад:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

дар ин ҷо:

$c_{11}$  – нархи энергияи электрикӣ барои 1 кВт·с аз системаи энергетикӣ;

$c_{22}$  – нархи энергияи электрикӣ барои 1 кВт·с аз НББ;

$c_{33}$  – нархи энергияи электрикӣ барои 1 кВт·с аз НБОф;

$c_{44}$  – нархи энергияи электрикӣ барои 1 кВт·с аз захиракунандаи энергия.

Сарфи минималии истеъмол бо ҳалли системаи муодилаи зерин ба даст меояд:

$$M = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 C_{ij} \cdot P_j \cdot t \rightarrow \min, \quad (8)$$

дар ин ҷо:

$C$  – матритсаи нархи манбаъҳои истеҳсолии имконпазир;

$P$  – вектори истифодаи барқи иборат аз  $(P_{СИС}, P_{НББ}, P_{НБОф}, P_{Акк})^T$

элементҳо;

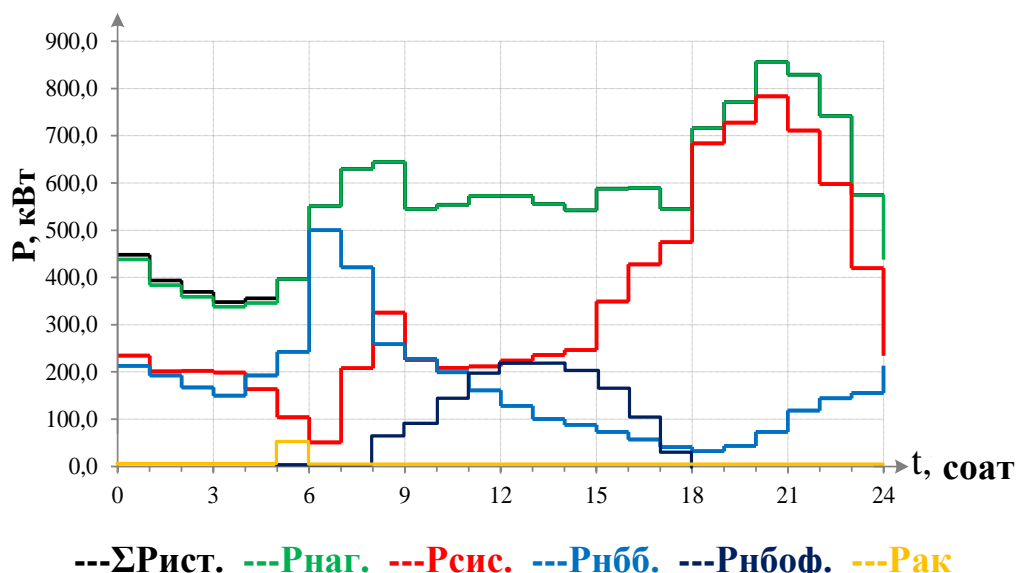
$M$  – сарфи суммавӣ ба энергияи электрикӣ  $M = \sum_{i=1}^4 m_i$ ;  $t=1$  соат.

Дар вақти интихоби қимати истеҳсолӣ ё интиқоли энергияи электрикӣ аз вектори баромад ҳатман маҳдудияти зерин иҷро карда мешавад:

$$\begin{aligned} 0 \leq P_{c, \max}^I &\leq P_{СИС}; & 0 \leq P_{НБОф} &\leq P_{\max}^{НБОф} \\ 0 \leq P_{НББ} &\leq P_{\max}^{НББ}; & 0 \leq P_{Акк} &\leq P_{\max}^{Акк} \end{aligned}$$

Дар асоси модели математикии пешниҳодшуда алгоритми ҳалли масъалаҳои гузошташуда коркард ва дар асоси он амалисозии барнома дар забони Microsoft Access Database иҷро шудааст.

Ба сифати санчиши ҳисоб чадвали бори шабонарӯзии яке аз рӯзҳои давраи зимистон бо назардошти имкони истеҳсоли НББ, НБОф ва захиракунии энергия интихоб шудааст. Захиракунии энергияро зарур аст, ки дар вақти зиёдании энергия иҷро кард; ҳангоми камчинии энергия аз НББ ва НБОф гирифтани аз ҷамъкунанда ва системаи энергетикӣ; дар ҳамаи давраҳо афзалият ба тавлиди НББ ва НБОф дода мешавад.

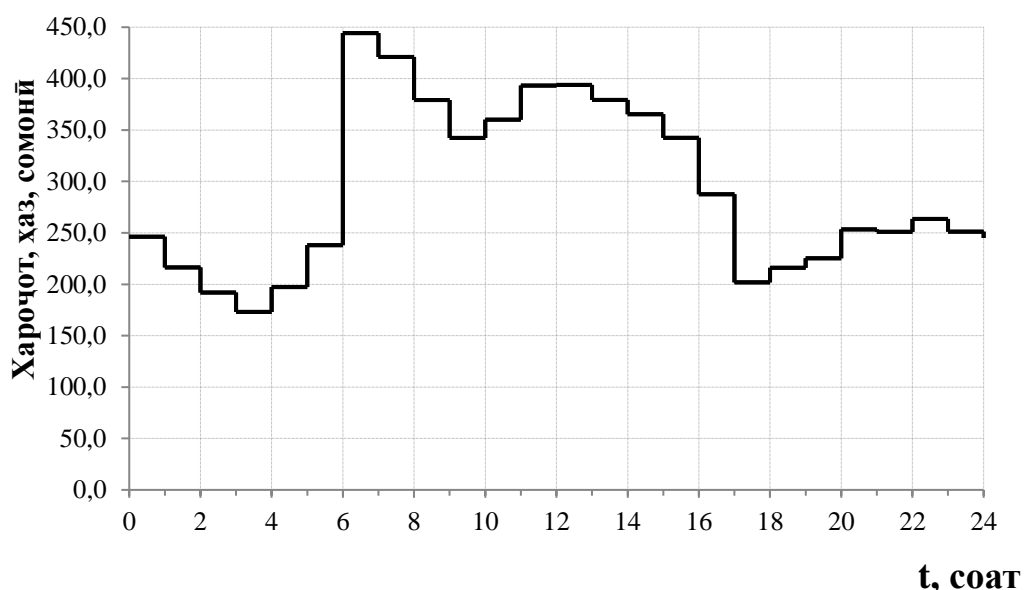


**Расми 11.** – Чадвали истифодаи барқи истеъмолкунандагони ноҳияи Мурғоб

$\sum P_{Ист.}$  – хати сиёҳ,  $P_{сарб.}$  – хати сабз,  $P_{сис.}$  – хати сурх,

$P_{НББ.}$  – хати кабуд,  $P_{НБОф.}$  – хати сиёҳкабуд ва  $P_{Акк.}$  – хати зард.

Бо ёрии ҳалли масъалаҳои оптималикунӣ хароҷоти молиявӣ аз ҳамаи манбаъҳои истеҳсолкунанда ба ҳар соати чадвали шабонарӯз ва дар умум ба вақти шабонарӯз минималӣ мешавад. Чадвали хароҷоти молиявии минималии шабонарӯз дар расми 12 нишон дода шудааст.



**Расми 12.** – Хароҷоти молиявии минималии истеъмолкунанда дар ноҳияи Мурғоб

Барои ин мақсад дар асоси алгоритмҳои коркардшуда таъмини барномавӣ амалӣ карда шудааст. Вобаста аз шароити истеҳсоли тавоноии манбаъҳои дохилии энергия НББ ва НБОф алгоритми истеъмокунда коркард шудааст.

**Дар боби чорум** асосҳои техникӣ–иқтисодии истифодаи системаҳои электроэнергетикӣ дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар ноҳияи Мурғоб нишон дода шудааст.

Асосноккунии техникӣ–иқтисодии чорабиниҳои пешниҳодшуда доир ба нақшагирии оптималии истифодаи барқ дар системаи электроэнергетикии мазкур нишон дода шудааст. Хароҷот ба сармоягузорию неругоҳҳои бодӣ ва офтобӣ, хароҷоти истифодабарӣ, маблағҷудокунӣ ба таъмир ва талафоти энергияи электрикӣ муайян карда шудааст.

Муҳлати хароҷотбарории чорабиниҳои техникӣ – иқтисодӣ муайян карда шудааст, ки ҳангоми муҳлати умумии истифодаи иншооти электроэнергетикӣ ба 20-25 сол баробар будан, он 11-13 сол арзёбӣ мешавад.

**Чадвали 4.** - Параметрҳои ҳисобии НББ ва НБОф

Параметрҳо	НББ	НБОф
Хароҷоти солона ба хизматрасонӣ, сомонӣ	180986,4	7600
Маблағи пардохти истеъмолий, сомонӣ	1930521,6	161172
Маблағҷудокунӣ ба таъмири қорӣ, сомонӣ	361972,8	145200
Нархи насбгарӣ, сомонӣ	410400	88000
Нархи қорҳои насбу - қорандозӣ, сомонӣ	307800	66000
Нархи таҳкурсии, сомонӣ	102600	-
Нархи заминвасла, сомонӣ	102600	-
Хароҷоти якдафъинаи дигар, сомонӣ	574560	2420000
Нархи гузоштани кабел, сомонӣ	370800	66000



Давоми ҷадвалӣ 4		
Нархи таҷҳизот, сомонӣ	10260000	2200000
Нархи умумии сармоягузорӣ, сомонӣ	161172	4840000
Истеҳсоли солонаи энергияи электрикӣ, кВт/сол	1187500	292600
Арзиши аслии энергияи электрикӣ, сом/кВт·соат	0,86	1,30
Муҳлати бароварди харҷ, сол	11,8	12,72

Аз ҷадвали 4 дида мешавад, ки дар давраи тобистони сол барои истифодабарандагони барқ дар худуди ноҳияи Мурғоб неругоҳи офтобӣ аз ҳама муфид мебошад, зеро ки арзиши аслии энергия камтарин аст.

**Дар хулоса** натиҷаҳои асосии кор дарҷ гардидааст.

**Дар замима** ба диссертатсия шаҳодатнома аз қайди давлатии барномаи коркардшуда барои МЭҶ ва маводи тасдиқкунандаи дар амал татбиқ кардани кори мазкур оварда шудааст.

## НАТИҶАҲОИ АСОСИИ КОРИ ДИССЕРТАТСИОНӢ

1. Таҳлили таърихии пешниҳод ва баҳои тавозуни энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон ва ноҳияи Мурғоб дода шудааст. Бартариии имкони истифодаи манбаҳои барқароршавандаи энергия бо сабаби он, ки системаи электроэнергетикӣ ноҳияи Мурғоб маҳдуд аст, бояд асосан ба ин манбаҳои энергия таъя намояд [1-М, 7-М, 8-М, 10-М, 12-М].

2. Тавсифҳои эҳтимолии омилҳои метеорологӣ, ки асоси манбаҳои барқароршавандаи энергия, баҳусус суръати сели бод ва радиатсияи офтоб мебошанд, муайян карда шудааст. Функсияи тақсимои суръати бод ва афканишоти офтоб тобеи қонунҳои бисёр мураккаб буда, аз якҷанд коэффитсентҳо, дар бисёр ҳолатҳо ин бета – тақсимои тарзи III вобаста аст. Дар қатори қонуни тақсимои метавонад омехта бошад ва ҳамаи функсияи зичии тақсимои ғайрисимметрӣ аст. [4-М, 5-М, 14-М, 16-М, 17-М].

3. Модели математикӣ тақсимои оптималии энергияи электрикӣ барои истеъмолкунандагон, баҳусус ноҳияи Мурғоб бо назардошти тавлид аз манбаҳои барқароршавандаи энергия ва захиракунанда пешниҳод шудааст [2-М, 3-М, 15-М, 6-М].

4. Усул ва алгоритми пешниҳодшудаи оптималикунии истифодаи энергия барои минималикунии сарфҳои молиявии истеъмолкунандагони алоҳида имкон медиҳад, ки хароҷоти молиявии якҷанд истеъмокунандагони энергияи электрикӣ минималӣ карда шавад. Оптималикунӣ бо усули барномасозии хаттӣ асос ёфтааст. Амалисозии барномавии ин алгоритмҳо имкон дод, ки шаҳодатномаи қайди давлатии барнома барои МЭҶ гирифта шавад [2-М, 6-М, 13-М].

5. Мақсаднокии техникӣ–иқтисодии истифодаи барқ дар системаи электроэнергетикӣ маҳаллӣ аз манбаҳои барқароршавандаи энергия ҳамчун манбаҳои асосӣ ва бартаридоштаи энергия нишон дода шудааст. [9-М, 11-М].

## ТАВСИЯҲО БАРОИ ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҲО

1. Истифодаи натиҷаҳои таҳлилӣ ва маълумоти таҷрибавӣ барои тақсимои захираҳои барқароршаванда дар ноҳияи Мурғоб барои ҳар соат дар фосилаи вақт.

2. Истифодаи алгоритм ва барномаи таҳияшуда барои оптимизатсияи речаҳои истифодаи барқи истеъмолкунандагон.

3. Моделҳо ва усулҳои пешниҳодшуда барои оmodасозии мутахассисон ва магистрҳо аз рӯи ихтисоси “Неругоҳҳои барқӣ” дар омӯзиши фанҳои “Оптималикунии системаҳои электроэнергетикӣ”, “Иншооти энергетикӣ ва дастгоҳҳои манбаъҳои барқароршавандаи ғайрианъанавии энергия” ва “Речаҳои кории таҷҳизоти барқии манбаъҳои барқароршавандаи ғайрианъанавии энергия” дар Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ истифода мешавад.

## ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМӢ АЗ РӢИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ

*Наирияхо дар маҷаллаҳои илмие, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон эътироф намудааст:*

[1-М]. Сафаров, М.И. Обзор возобновляемых источников энергии в районах Республики Таджикистан / М.И. Сафаров // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2017. -№3(39). –С.6-10.

[2-М]. Сафаров, М.И. Оптимальное управление генерирующим потребителем с использованием базы логических правил и алгоритмов роевого интеллекта / З.В. Кобулиев, Н. Хасанзода, М.И. Сафаров, А.С. Зиёев // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. –Душанбе, 2019. - №3(47). -С. 20-31.

[3-М]. Сафаров, М.И. Моделирование прихода солнечной инсоляции для климатических условий Республики Таджикистан / Б.Н. Шарифов, Ш.М. Султонзода, М.И. Сафаров, Р.Х. Диёрзода, Дж.Х. Каримзода // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. -№2(58). -С. 38-47.

[4-М]. Сафаров, М.И. Энергетический потенциал ветрового потока на основе уточненного закона распределения скорости ветра / Н. Хасанзода, М.И. Сафаров, Ф.М., Рахимов, Дж.Х. Каримзода. // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. -№3(59). -С. 5-10.

### *Барномаи барои МЭҲ ба қайд гирифташуда*

[5-М]. Сафаров, М.И. Оптимизация режимов электропотребления генерирующего потребителя в Мургабском районе / Шарифов Н.Ш., Хасанзода Н., М.И. Сафаров Абдурахмонов А.Я., Каримзода Ҷ.Ҳ., Рахимов Ҷ.Б., Саъдуллозода Ш.С. / Внесен в Государственный реестр информационных ресурсов Республики Таджикистан. 29.09.2022г.

### *Мақолаҳо дар маводи конференсия*

[6-М]. Сафаров, М.И. Возобновляемые источники энергии в Таджикистане / А.Я. Абдурахмонов, М.И. Сафаров // Сборник материалов научно-теоретической конференции “Роль в подготовке специалистов государственного университета Куляба имени А. Рудаки”, посв. 70-летию университета (часть 1), 17-18 апреля, г. Куляб. –Куляб, 2015. -С.79-83.

[7-М]. **Сафаров, М.И.** Развитие малых ГЭС в Таджикистане / М.И. Сафаров, А.М. Абдусаломов // Материалы I научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Таджикская наука – ведущее звено развития общества» (часть 1), 21-22 апреля 2016г., г. Душанбе. – Душанбе, 2016. -С.63-65.

[8-М]. **Сафаров, М.И.** Способы повышения эффективности использования МГЭС / М.И. Сафаров, А.М. Абдусаломов // Материалы I НПК студентов, магистрантов и аспирантов «Таджикская наука – ведущее звено развития общества» (часть 1), 21-22 апреля 2016г. - Душанбе, 2016. -С.126-129.

[9-М]. **Сафаров, М.И.** Анализ потенциала возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан / М.И. Сафаров // Международная НПК «Независимость – основа развития энергетики страны», посв. Дню Энергетиков, 22-23 декабря 2017г. – Бохтар, 2017. –С.274-278.

[10-М]. **Сафаров, М.И.** Перспективы применения комплексов альтернативной энергии ветра и солнечной в Республике Таджикистан / М.И. Сафаров, М.М. Джаборов, Ф.К. Донаев // Сборник статей XVIII Международной НПК «World science: problems and innovations», ЧАСТЬ 1, состоявшейся 28 февраля, в г. Пенза. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2018. -С. 92-95.

[11-М]. **Сафаров, М.И.** Создание энергетических источников – основная цель достижения энергетической независимости / М.И. Сафаров // Материалы III НПК аспирантов, магистрантов и студентов “Наука – основа инновационного развития”, 26-27 апреля 2018г., ЧАСТЬ 1. – Душанбе, 2018. -С.42-44.

[12-М]. **Сафаров, М.И.** Автономный инвертор напряжения в системе электроснабжения солнечной электростанции / Б.Н. Шарифов, К.Х. Гулямов, А.Х. Бабаева, М.И. Сафаров // Материалы международной научно-практической конференции “Перспектива развития науки и образования”, Часть 1. – Душанбе, 2019, -С. 44-47.

[13-М]. **Сафаров, М.И.** Энергетический потенциал ветрового потока на основе уточненного закона распределения скорости ветра / М.И. Сафаров, А.С. Зиёев, Ф. Сангаков, Н.Г. Давлатов, Дж.Х. Рашидов // Материалы международной научно – практической конференции: «Энергетика региона: состояние и перспективы развития» Часть 2. – Душанбе, 2019. -С. 256-263.

[14-М]. **Сафаров, М.И.** Нечеткие модели для управления и оценки мощности ветроэнергетических установок на основе вероятностных характеристик / М.И. Сафаров, Хасанзода Н., Касобов Л.С., Зиёев А.С., / 16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». В 2 т. Т.2: материалы конференции. - Тула, 2020. –С. 378

[15-М]. **Сафаров, М.И.** Анализ законов распределения мощности ветровой электростанции / М.И. Сафаров, // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей XVII Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. -С. 21-25.

[16-М]. **Сафаров, М.И.** Оценки мощности ветроэнергетических установок на основе вероятностных характеристик / М.И. Сафаров, А.С. Зиёев, А. И Мирзоев, Д.Т.Вайсиддинович // Материалы международной научно – практической конференции: «Энергетика: состояние и перспективы развития» / Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. - Душанбе, 2022.- С. 201-207

## АННОТАТСИЯ

ба диссертатсияи Сафаров Манучеҳр Исуфович дар мавзӯи «**Оптимизатсияи тавлиди тақсимшуда дар системаи электроэнергетикии маҳаллӣ бо манбаъҳои барқароршавандаи энергия**», ки барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.14.01 – Системаҳо ва мучтамаъҳои энергетикӣ пешниҳод шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** системаи электроэнергетикии маҳаллӣ, қонунҳои тақсимот, истеъмоли энергия, оптималикунӣ, моделсозии математикӣ, системаи муодилаҳои алгебравии ғайрихаттӣ, дастгоҳҳои энергетикӣ бодӣ, неругоҳи барқи офтобии фотоэлектрикӣ, захирақунанда, бор.

**Мубрамияти мавзӯи диссертатсия:** Кор ба ҳалли мушкилоти ҷӣ назариявӣ ва ҷӣ амалии баланд бардоштани самараноки ва истифодаи энергияи электрикӣ оптималӣ дар системаи электроэнергетикии маҳаллӣ, аз он ҷумла дар ҳудуди ноҳияҳои дурдасти Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида шудааст.

**Мақсади кори диссертатсионӣ:** коркарди модели математикӣ барои оптималикунии истифодаи барқ дар системаҳои электроэнергетикии маҳаллӣ.

**Усулҳои таҳқиқот:** усулҳои оптималикунӣ дар асоси барномасозии хаттӣ ва қоидаҳои маҳсулноки; усулҳои таҳлил ва тавозункунии речаҳои барқароршудаи системаи электроэнергетикӣ, инчунин усулҳои назарияи эҳтимолият ва оморҳои математикӣ.

**Навоариҳои илмӣ кор:** Тавсифҳои эҳтимоли ва қонунҳои тақсимои омилҳои метеорологӣ барои манбаъҳои истеҳсоли дар асоси манбаъҳои барқароршавандаи энергия муайян карда шудааст; Модели математикӣ нав барои речаҳои истифодаи барқ бо назардошти манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва захирақунанда дар намуди системаҳои муодилаҳои ғайрихаттӣ алгебрави коркард шудааст; Алгоритми банақшагирии оптималии истеъмоли барқ дар асоси барномасозии хаттӣ ва қоидаи маҳсулот барои кам намудани хароҷоти молиявӣ истеъмолунандагон коркард шудааст.

**Аҳамияти амалӣ ва татбиқи кор:** Модели математикӣ тақсимои оптималии захираҳои энергетикӣ барои истеъмолгарони ноҳияи Мурғоб ба ҳар як соат дар фосилаи вақти шабонарӯз бо назардошти энергияи дастгоҳи бодӣ, неругоҳи барқи офтобии фотоэлектрикӣ ва имкони захирақунии он пешниҳод шудааст.

Алгоритм ва усули татбиқи барномавии оптималии речаҳои истифодаи барқи истеъмолқунандагоне, ки барнома бо шаходатномаи қайди давлатӣ барои МЭҶ тасдиқ ёфтааст, коркард карда шудааст.

Маводи кори диссертатсионӣ дар раванди таълим дар кафедраи “Неругоҳҳои электрикӣ”-и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ татбиқ карда шудааст (санади татбиқ аз 24.05. соли 2023).

**Соҳтор ва ҳаҷми кор.** Кори диссертатсионӣ аз муқаддима, чор боб, хулоса, номгӯи ибораҳои кӯтоҳшуда, адабиёт иборат аз 135 номгӯи ва 4 замима иборат аст. Ҳаҷми умумии кор аз 158 саҳифа иборат буда, 21 ҷадвал ва 44 расмро дар бар мегирад.

## АННОТАЦИЯ

на диссертацию Сафарова Манучехра Исуфовича на тему «**Оптимизация распределенной генерации в локальной электроэнергетической системе с возобновляемыми источниками энергии**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 –  
Электроэнергетические системы и комплексы

**Ключевые слова:** локальная электроэнергетическая система, законы распределения, энергопотребление, оптимизация, математическое моделирование, системы нелинейных алгебраических уравнений, ветровая энергетическая установка, солнечная фотоэлектрическая станция, накопитель, нагрузка.

**Актуальность темы диссертации:** Работа посвящена решению как теоретических, так и практических проблем повышения эффективности и оптимального электропотребления в локальной электроэнергетической системе, в частности на территории отдалённых районов Республики Таджикистан.

**Цель диссертационной работы:** разработка математической модели для оптимизации электропотребления в локальных электроэнергетических системах.

**Методы исследования:** методы оптимизации на основе линейного программирования и продукционных правил; методы анализа и балансирования установившихся режимов электроэнергетических систем, а также методы теории вероятностей и математической статистики.

**Научная новизна работы заключается в следующем:** Определены вероятностные характеристики и законы распределения основных метеорологических факторов для источников генерации на основе возобновляемых источников энергии; **Разработана** новая математическая модель для режимов электропотребления с учетом возобновляемых источников энергии и накопителя в виде системы нелинейных алгебраических уравнений; **Разработан** алгоритм оптимального планирования электропотребления на основе линейного программирования и правил продукций для минимизации финансовых расходов потребителей.

**Практическая значимость и реализация работы.** Предложена математическая модель оптимального распределения энергетических ресурсов для потребителей Мургабского района за каждый час на суточном интервале времени с учетом энергии ветроустановок, солнечной фотоэлектрической станции и возможности ее аккумуляции.

Разработан алгоритм и его программная реализация метода оптимизации режимов электропотребления потребителя, что подтверждено свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. (акт внедрения от 24.05.2023 г).

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего в себя 135 наименований, и 4 приложений. Общий объем работы составляет 158 страниц, включая 21 таблицу и 44 рисунка.

## ANNOTATION

for the dissertation of Safarov Manuchehr Isufovich on the topic: "**Optimization of distributed generation in a local electric power system with renewable energy sources**", submitted for a Ph.D. degree in specialty 05.14.01 – Electric power systems and complexes

**Keywords:** local electric power system, distribution laws, energy consumption, optimization, mathematical modeling, systems of nonlinear algebraic equations, wind power plant, solar photovoltaic plant, storage, load.

**Relevance of the topic of the dissertation:** The work is devoted to solving both theoretical and practical problems of increasing efficiency and optimal power consumption in the local electric power system, in particular, in the territory of the defeated district of the Republic of Tajikistan.

**The purpose of the dissertation** is to develop a mathematical model for optimizing power consumption in local electric power systems.

**Research methods:** optimization methods based on linear programming and production rules; methods of analysis and balancing of steady-state modes of electric power systems, as well as methods of probability theory and mathematical statistics.

**The scientific novelty of the work is as follows:** The probabilistic characteristics and distribution laws of the main meteorological factors for generation sources based on renewable energy sources are determined; A new mathematical model for power consumption modes taking into account renewable energy sources and a storage device in the form of a system of nonlinear algebraic equations is developed; An algorithm for optimal planning of power consumption based on linear programming and production rules to minimize financial expenses of consumers.

**Practical significance and implementation of the work:**

A mathematical model of the optimal distribution of energy resources for consumers of Murgab district for each hour in a daily time interval is proposed, taking into account the energy of wind turbines, solar photovoltaic power plants and the possibility of its accumulation.

The algorithm and its software implementation of the method of optimization of consumer power consumption modes have been developed, which is confirmed by the certificate of state registration of computer programs.

The materials of the dissertation work were introduced into the educational process at the Department of "Electric Stations" of the Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi. (act of implementation dated 05/24/2023).

**Structure and scope of work.** The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of abbreviations, a list of references, including 135 titles and 4 appendices. The total volume of the work is 158 pages, including 21 tables and 44 figures.\_\_\_\_

Подписано к печати 25.08.2023 г.  
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.  
Тираж 100 экз.

---

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

Ба чоп 25.08.2023 с. имзо шуд.  
Андозаи 60×84 1/16. Қоғазӣ офсетӣ  
Адади нашр 100 нусха

---

Нашриёти ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ  
ш. Душанбе, 734042, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10а