

**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**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

Научный руководитель:

кандидат технических наук, и. о. доцента

Хасанзода Насрулло

Душанбе – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВИЭ В ЛОКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	12
1.1. Состояние и тенденции развития ветроэнергетики в мире и в РТ.....	12
1.2. Состояние и тенденции развития солнечной энергетики в мире и в РТ.....	24
1.3. Современное состояние и использование ВИЭ в РТ в период независимости.....	40
1.3.1. Тенденция развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан.....	48
1.4. Анализ локальной электроэнергетической системы на основе ВИЭ.....	49
1.4.1. Мировой опыт организации иерархии электроэнергетической системы	53
Выводы	58
ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА И СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ.....	59
2.1. Статистические методы и модели распределений случайной величины.....	59
2.2. Расчёт распределения скорости ветра	68
2.3. Расчёт распределения солнечной радиации.....	73
2.4. Анализ законов распределения мощности ветровой и солнечной энергетики.....	77
Выводы.....	89
ГЛАВА 3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ.....	90
3.1. Энергетический баланс и условия оптимальных режимов энергосистемы.....	90
3.2. Математическая модель энергетического баланса потребителя.....	101
3.3. Алгоритм и программная реализация предложенного метода оптимизации.....	106
Выводы.....	110

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	111
4.1. Минимизация финансовых расходов электропотребителей Мургабского района	111
4.2. Расчет себестоимости электроэнергии от источника ветровой электростанции.....	112
4.3. Расчет себестоимости электроэнергии от источника солнечной фотоэлектрической электростанции.....	116
Выводы.....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	143
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	144

ВВЕДЕНИЕ

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 населенных 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 свидетельствуют 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 надежности, эффективности, безопасности и социальной обеспеченности населения, проживающего в труднодоступных и удаленных населенных 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 техническим 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 по планированию и применению 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. Харитонова, 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. Юлдашев, 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 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 фотоэлектрической 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, 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, научных семинарах и технических совещаниях:

- Международной научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», Энергетический институт, г. Бохтар 2017. 23 декабря 2017 года;

- Международной научно-практической конференции «World science: problems and innovations», МЦНС «Наука и просвещение» г. Пенза 2018 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 2019, 28 ноября 2019г.

- Международной научно-практической конференции: «Энергетика региона: состояние и перспективы развития», Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе 2019, 21 декабря 2019 года.

- 16-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Издательство ТулГУ 2020, 20 ноября 2020 года.

- Республиканской научно-практической конференции: «Энергетика: состояние и перспективы развития» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, Душанбе, 2020, 21 декабря, 2020 года.

- Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей XVII Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. -С. 21-25.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 16 печатных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях,

рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а также 11 работ в прочих научных изданиях.

Получено свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса.

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

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВИЭ В ЛОКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

1.1. Состояние и тенденции развития ветроэнергетики в мире и в РФ

С древних времен энергия ветра использовалась моряками для плавания на лодках по рекам и озерам, а затем для судов в море. Начиная с ранней зарегистрированной истории, она использовалась многими культурами и цивилизациями.

Ветряные и водяные мельницы были единственными производителями энергии более 1200 лет, предшествовавших промышленной революции XVIII века. Они существовали в древности в Египте, Персии, Месопотамии и Китае. В VII веке до нашей эры король Вавилона Хаммурапи осуществил план орошения плодородных равнин рек Евфрат и Тигр с использованием машин с вертикальной осью. В III веке до нашей эры Герой Александрии в Египте построил 4-х лопастную машину с горизонтальной осью для питания музыкального органа сжатым воздухом.

Преобразование энергии ветра многократно переосмысливалось в истории человечества и претерпевает новый процесс реинжиниринга как ведущая механическая форма возобновляемой энергии.

Слово «ветряная мельница» относится к ветряной машине, которая измельчает или размалывает зерно, такое как пшеница, и превращает его в муку для приготовления хлеба. Это была наиболее распространенная функция в дополнение к многочисленным другим применениям, таким как: измельчение специй, распиловка пиломатериалов, вентиляция шахт, производство чугуна и меди, производство порошкового оружия, извлечение масла из масличных семян, орехов и зерен, превращение старых ветошей в бумагу, измельчение цветных порошков в красители, производство табака и перекачки воды в Европе в эпоху доиндустриальной революции.

С 1350 года в Голландии ветряные мельницы используются для осушения болот или мелких озер и превращения их в продуктивные сельскохозяйственные

угодья. Они были связаны с архимедовым винтом, египетской норией или персидским водяным колесом; все они – ранние концепции насосов, которые могли поднять воду на высоту до 5 метров [1].

Ветряные турбины были заменены паровыми двигателями и двигателями внутреннего сгорания, работающими на ископаемом топливе от угля до нефти и природного газа, а также ядерной энергии. В настоящее время ветряные машины в основном используются в производстве электроэнергии. Так что терминология «ветрогенераторы» становится более подходящим обозначением.

Ветроэнергетика превратилась из импульсных или тяговых управляемых тяжелых систем в легкие аэродинамические системы. Последнее не является современной концепцией: оно было известно древним морякам и использовалось для разработки ветряных мельниц.

Ветряные машины. По сравнению с современными машинами, работающими на ископаемом топливе, ветряные машины зависят от ветра как топлива. К сожалению, ветер как источник энергии прерывистый, ненадежный, неустойчивый и непредсказуемый. В некоторых местах на Земле он даже не дует, что требует использования животных или человеческих сил в качестве источника энергии. И все же преимущество ветра как источника энергии состоит в том, что он не только возобновляем, но и бесконечен по величине, берущий начало в солнечной энергии, которая заточена в атмосфере Земли.

Древние ветряные мельницы. Самые ранние конструкции мельниц с крыльями были разработаны на Ближнем Востоке во времена исламской цивилизации и распространялись вдоль побережья Средиземного моря и в Персии около 500 – 900 гг. нашей эры. Некоторые ранние пережитки ветряных мельниц все еще существуют на участке Сейстана в Иране. Это были мельницы с вертикальной осью, крылья или паруса которых вращались параллельно земле.

Технология ветряных мельниц была частично перенесена в Средневековую Европу возвращающимися крестоносцами в XII веке. Здесь она формировалась как высокие горизонтально осевые конструкции, на которых паруса поворачивались под прямым углом к земле.

Мельницы с вертикальной осью имеют преимущества простой конструкции. Они состоят из 6-ти или более лопастей, которые установлены вертикально на горизонтальных рычагах, прикрепленных к вертикальному валу, расположенному в центре. Сама конструкция устанавливалась на башню или на открытом пространстве. Паруса устанавливаются в фиксированном положении, наклонном к направлению ветра. Таким образом, их работа не зависит от направления, с которого дует ветер.

Недостатком конструкции с вертикальной осью является то, что только одна или две лопасти будут улавливать ветер в любой момент времени. Затем часть лопастей, улавливающая ветер, должна расходовать свою энергию на перемещение других лопастей, которые не улавливают ветер. Таким образом, мельницы с вертикальной осью считаются менее эффективными, чем мельницы с горизонтальной осью, в которых сила обдува равномерно распределяется на все лопасти.

Мельницы в исламской культуре. Около 200 – 100 лет до нашей эры ветряные мельницы с плетеными тростниковыми парусами использовались в ближневосточном регионе для измельчения зерна. Первое задокументированное изобретение настоящей ветряной мельницы произошло в 644 году нашей эры во время правления второго исламского халифа, Омара ибн Ал Хаттаба.

Следующий письменный отчет принадлежит двум исламским географам. В нем рассказывается о ветряных мельницах, построенных в песчаной и ветреной провинции Сейстан в современном Иране около 947 года. Первое применение было связано с дрейфующими песчаными дюнами, которые могли похоронить целые деревни и города [2].

Исламский географ Али Ал Массуди пишет о Сейстане: «Ветер крутит мельницы, которые качают воду из колодцев для орошения садов. На Земле нет места, где люди могли бы использовать ветер больше, чем здесь».

Другой исламский ученый Ал-Казвини в 1283 году описывает, как жители Сейстана использовали ветер, чтобы измельчать свою пшеницу, а также контролировать дрейфующий песок и качать воду. С этой точки зрения, Сейстана

можно считать местом рождения восточной вертикальной ветряной мельницы в исламские времена.

Сирийский космограф Ал Дамаски (Дамаск) в 1300 году подробно описывает такие горизонтальные мельницы. Они были установлены в высоких местах на вершине холмов, минаретах (высокая башня при мечети) или башнях в замке. Они были построены как двухэтажные сооружения. Механизм, который крутился и размалывал, был в верхнем этаже. В нижней части находилась мельница, которая вращалась под действием ветра. Колесо вращало один из двух жерновов в верхней части. В стенах первого этажа существовали четыре прорези, внешняя часть которых шире внутренней. Это служило воздуховодами, через которые дул ветер со всех сторон. Канальный ветер заставлял вращаться барабан с 6 – 12 лопастями, покрытыми тканью. Барабан заставлял вращаться жернова для того, чтобы молотить пшеницу [3,4].

Примерно в то же время в Афганистане использовались другие вертикальные ветряные мельницы. Они были вызваны распространенным там северным ветром. Ряд створок контролировал ветер на входе.

Изначально используемые в Персии и Афганистане ветряные мельницы распространились по всему исламскому миру и на Дальнем Востоке, перемалывая зерно и перекачивая воду. Они были приспособлены для измельчения сахарного тростника, для производства патоки и добычи сахара в Египте. Спустя столетия в восточной Индии и на Карибах западные индейцы наняли египетских заводчиков, чтобы основать там первые сахарные плантации.

Средневековые ветряные мельницы. Торговцы впервые распространили концепцию ветряной мельницы в Европе через исламскую культуру, основанную в Марокко, в то время Андалусией или Португалией и Испанией. Другой маршрут пролегал через торговые пути через Россию и Скандинавию. Третий путь связан с возвращением крестоносцев в Европу с Ближнего Востока. Четвертый путь – через Исламскую в Италию.

Ученый Мабийон в 1105 году нашей эры пишет, что монастырю во Франции было разрешено строить водяные и ветряные мельницы. Ветряные мельницы, по его словам, стали обычным явлением в Италии в XII веке.

Первая ветряная мельница, построенная в Англии, была в Бери-Сент-Эдмундс в 1191 году. Она была построена вопреки тогдашней власти, а затем уничтожена аббатом. К XIV веку британские монархи наблюдали победы и поражения своих сражающихся армий с безопасного расстояния на вершинах ветряных мельниц, разбросанных по холмам [5].

В XII – XV веках строительство ветряных мельниц распространилось по всей Центральной Европе вплоть до Скандинавии, достигнув Финляндии в 1400 году. Ветряные мельницы стали основными движущими силами по всей Европе для измельчения зерна, перекачки воды, изготовления бумаги, отжима масла из масличных семян и распиловки древесины.

Голландская дренажная мельница была разработана в Голландии для поддержания земель, отвоеванных у моря, болот или мелких озер. Во Франции христианские монахи ввели такую ветряную мельницу для осушения озер своего региона. Также в то время добывался торф, который был необходимым топливом для развивающихся городов. В результате добычи к 1300-м годам образовались мелкие озера, которые со временем увеличивались в размерах и требовали систематического осушения. Первые голландские болотные мельницы были запущены в 1400 году. К 1600 году их было уже 2 тысячи, чтобы осушить 2 миллиона акров земли в Голландии.

Эгейские и средиземноморские ветряные мельницы. Ветряные мельницы Крита, Эгейских островов, а также Португалии и Испании были башенного типа. Мельница, которая поддерживалась поворачивающейся опорой для того, чтобы поймать ветер, никогда не наблюдалась в Эгейском море. Кливера или треугольные паруса обычно использовались на Пиренейском полуострове и в Средиземном море. Их сходство с парусными кораблями заметно. Критские ветряные мельницы были аэродинамическими и конструктивно оказали воздействие на современные гоночные яхты. Они

управляли 6-12 треугольными тканевыми парусами, которые были подняты или опущены путём закатывания паруса или путем наматывания их вокруг опоры паруса. Они были расположены в центре мельницы.

Американские ветряные мельницы. Многолезвийная модель появилась в Европе в XVII веке. Лейпольд Джейкоб из Лейпцига в 1724 году в книге «Журнал гидравлического искусства» или на немецком языке: «Schauplatz der Wasser Kunste» представил 8-лопастную саморегулирующуюся ветротурбину, которая приводила в действие поршневой водяной насос простого действия, используя коленчатый вал рулевой тяги. В оригинальной конструкции каждое лезвие было способно поворачиваться вокруг своей оси, поддерживаемой пружинной системой, которая постепенно растягивается в условиях сильного ветра, в результате чего ротор вращается в шторме не быстрее, чем при умеренном ветре, избегая разрушительной ситуации для турбины [6].

Самая распространенная ветряная мельница в Америке была построена в XIX веке как вертикальная стальная конструкция, увенчанная вращающимся многолопастным или импульсным колесом. Его вращательное движение преобразуется в линейное движение, которое качает воду, которая потом хранилась в резервуарах для орошения и питья крупного рогатого скота.

Стандартизация привела к распространению американских ветряных мельниц, начиная со слегка измененных версий на американском Западе и заканчивая во всем мире [7].

Дизайн Halladay, представленный в 1854 году, превратился в проекты Aermotor и Dempster, которые до сих пор работают в разных частях света. В период с 1850 по 1970 годы в США было установлено около 6 миллионов небольших турбин мощностью одна лошадиная сила, в основном для перекачки воды для нужд крупного рогатого скота и фермерских хозяйств. Более крупные ветряные мельницы диаметром до 18 м снабжали водой паровые котлы локомотивов западных железных дорог [8, 9].

Ветроэнергетическая установка. В 1888 году в Кливленде, штат Огайо, была установлена первая крупная ветроэнергетическая установка для выработки

электроэнергии (ветряная турбина с малой скоростью вращения и мощностью 12 кВт), в то время как шли последние этапы Первой мировой войны, использование ВЭУ мощностью 25 кВт по всей Дании было широко распространено [10]. Дальнейшее развитие ветрогенераторов в США было вдохновлено проектированием воздушных винтов и крыльев моноплана, в то время как последующие усилия в Дании, Франции, Германии и Великобритании (в период между 1935 и 1970 годами) показали, что крупномасштабные установки могут работать. Европейские разработки продолжились после Второй мировой войны. В Дании трехлопастной вихревой ротор ВЭУ мощностью 200 кВт успешно работал до начала 1960-х годов, в то время как в Германии была разработана серия усовершенствованных конструкций с горизонтальной осью, причем обе вышеупомянутые концепции диктовали будущее горизонтальное осевых ВЭУ и подходы к их проектированию [11].

Одна из важнейших вех в истории ветроэнергетики совпадает с участием правительства США в исследованиях и разработках в области ветроэнергетики после нефтяного кризиса 1973 года. Затем, в период между 1973 и 1986 годами, коммерческий рынок ВЭУ развивался от бытового и сельскохозяйственного (1 – 25 кВт) до применений ветряных электростанций, связанных между собой (50 – 600 кВт). В этом контексте первая крупномасштабная вспышка проникновения энергии ветра была обнаружена в Калифорнии, где из-за стимулов (таких как федеральные инвестиционные и энергетические кредиты), предоставляемых правительством США между 1981 и 1990 гг., в результате было установлено более 16 000 машин мощностью от 20 до 350 кВт (всего 1,7 ГВт). В северной Европе, с 80-х по 90-е годы, количество установок для ветряных электростанций неуклонно росло, поскольку более высокая стоимость электроэнергии и отличные ресурсы ветра привели к созданию небольшого, но стабильного рынка. После 1990 года большая часть активности рынка переместилась в Европу [6].

Доля производства электроэнергии в США от ветра в 1990 году составляла менее 1%. В 2018 году доля выработки электроэнергии в США от ветра составляла почти 7%. Стимулы в Европе привели к значительному расширению

использования энергии ветра. Китай инвестирует значительные средства в ветроэнергетику и в настоящее время обладает крупнейшими в мире мощностями по производству энергии ветра [12, 13].

Современное состояние ветроэнергетики

Установленная мощность ветровых энергетических установок (ВЭУ) во всем мире в 2021 году достигла 597 ГВт. Общая мощность, введенная в эксплуатацию в 2021 году, составила 50,1 ГВт. От Всемирной ассоциации ветроэнергетики (WWEA) известно, что 2021 год — это второй год роста новых установок, но более медленными темпами — 9,1% (50,1 ГВт) после увеличения на 10,8% (52, 5 ГВт). в 2020 году. Таким образом, общая установленная мощность ветрогенераторов может покрыть почти 6% мирового спроса на электроэнергию [14, 15].

В 2021 год характеризовался в основном новой динамикой, согласно анализу WWEA в европейских странах наблюдалось в этот период замедление развития рынка ветроэнергетики, тогда как в Китае, Бразилии, Индии и ряде других азиатских стран наблюдалось увеличение темпа ввода новых мощностей и развитие рынка. Увеличение темпа развития также наблюдалось в ряде африканских стран.

Согласно [15] в настоящее время крупнейшим рынком ветроэнергетики считается китайский рынок, так как он является первой страной, имеющей установленную мощность ВЭУ свыше 200 ГВт, и по последним данным на ближайшее время данная позиция сохраняется за ним.

В отличие от китайского рынка второй по величине рынок США по итогам двух последних лет был введен в эксплуатацию 6,7 ГВт (2020 г.) и 7,6 ГВт (2021 г.) соответственно, что не оправдывает те амбициозные цели поставленной перед соответствующими структурами США. Намечается, что в ближайшем будущем рынок ветроэнергетики США твердо займет второе место после Китая по суммарной установленной мощности свыше 100 ГВт.

Далее приведены десять лидирующих рынков ветроэнергетики в мире, где темпы роста ввода новых мощностей были значительными (см. табл. 1.1) [15].

Таблица 1.1. – Общая установленная мощность и прирост ветроэнергетики к концу 2021 г., ГВт

Страна	2020 год	Прирост в 2021	2021 год
Китай	195,7	21,2	216,9
США	88,8	7,6	96,4
Германия	56,2	3,1	59,3
Индия	32,9	2,1	35
Испания	23,0	0,5	23,5
Великобритания	17,8	2,9	20,7
Франция	13,8	1,5	15,3
Бразилия	12,8	1,7	14,5
Канада	12,2	0,6	12,8
Остальные страны	93,2	8,9	102,1
Итого	546,4	50,1	596,5

Согласно отчёту на 2021 год, составленному Глобальным Советом по Ветроэнергетике (Global Wind Energy Council, GWEC), новые установки на наземном ветровом рынке достигли 46,8 ГВт, а мировой оффшорный рынок установил 4,5 ГВт, в результате чего доля на мировом рынке теперь составляет восемь процентов [16].

Китайский рынок на суше установил 21,2 ГВт в 2021 году и является ведущим рынком с 2008 года. Китай с суммарными установками в 217 ГВт на конец 2021 года является первым рынком, который превысил 200 ГВт общей установленной мощности, достигнув цели в 200 ГВт. В рамках продолжающейся реформы энергетического рынка правительство Китая объявило о введении аукционов в 2021 году.

Вторым по величине рынком в 2021 году были США с 7,6 ГВт новых наземных установок и общим количеством наземных установок 96 ГВт. Будущий спрос будет связан с растущей конкурентоспособностью ветровой энергии на суше. Новые бизнес-модели и новые финансовые модели разрабатываются на рынке США и, скорее всего, будут способствовать увеличению объемов новых установок [16].

За исключением двух крупнейших рынков, Китая и США, рыночные механизмы, такие как аукционы, тендеры и зеленые сертификаты, были основными движущими силами новых установок в 2021 году: для наземного рынка 16 ГВт новых установок или 35 процентов новых установок происходят из рыночных механизмов. Этот уровень можно ожидать и в будущем, так как в 2021 году было продано 15 ГВт мощности ветровой энергии на суше.

Продолжающиеся усилия по повышению эффективности и снижению затрат означают, что ветроэнергетика сможет реагировать на меняющиеся рыночные условия в будущем.

Поскольку Китай ожидает проведение аукционов в течение 2022 года, доля установок, основанных на рыночных механизмах, вырастет после 2023 года, то есть, когда в Китае будет установлен первый объем на основе аукционов.

Можно с уверенностью заявить, что аукционы и тендеры могут стать важным решением для распределения мощностей, тем не менее применение на практике зависит от многих факторов, таких как выбор механизма поддержки, распределения, рыночные условия и структуры энергетического рынка (т.е. его интеграция, механизм ценообразования и пр.)

Оффшорный рынок Китая установил 1,8 ГВт в 2021 году, впервые взяв на себя инициативу, а затем Великобритания (1,3 ГВт). Во всем мире доля морских установок продолжает расти и достигла восьми процентов для новых установок и четырех процентов от общего количества установок в 2021 году.

Состояние и перспективы использования ветровой энергетики в Республике Таджикистан

Учитывая климатические и географические условия Таджикистана, можно заметить, что по территории республики потенциал ветровых ресурсов является неравномерным, со среднегодовой скоростью 4,1 – 4,8 м/с на 10 м. высоте в отдельно взятых местностях. Основные районы имеют несколько меньшую среднегодовую скорость ветра: 2,0-3,7 м/с (см. на рис. 1.1.).

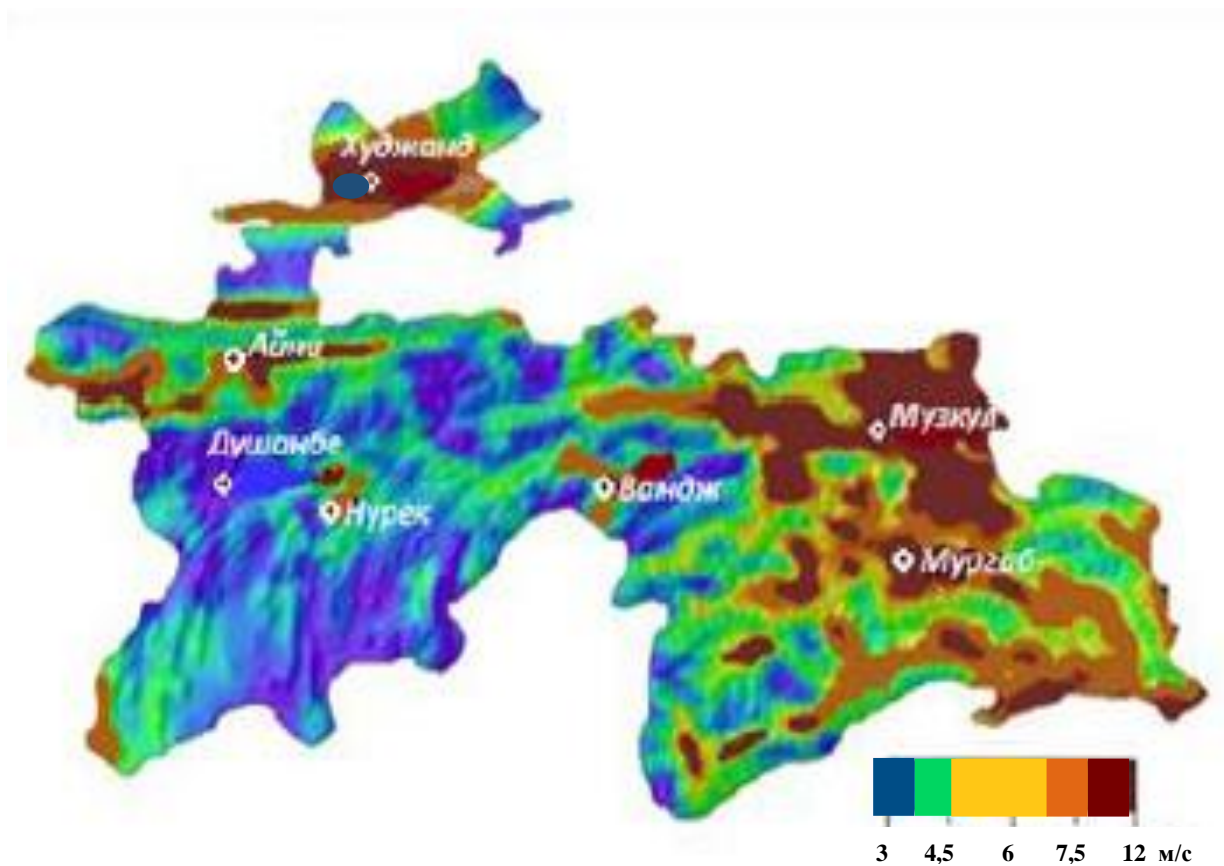


Рисунок 1.1. – Атлас ветра Республики Таджикистан

(синий цвет 3м/с, зелёный цвет 4,5 м/с, желтый цвет 6м/с, оранжевый цвет 7,5м/с и красный цвет 12 м/с)

В связи с ограниченностью доступа к метеоданным о розе ветров по территории республики его потенциал по имеющим данным приблизительный.

С учетом заселенности республики технический целесообразный потенциал ветровых ресурсов можно оценить из условия возможности размещения установок и их целесообразности. По разным подсчетам технически возможным считается около 7% от общей территории РТ. Сегодня ветроэнергетика

экономически выгодна в Республике Таджикистан также, как и солнечная, но они не могут конкурировать с существующей гидроэнергетикой. Поэтому ветроэнергетика сегодня может быть востребована в первую очередь в социально-бытовой сфере. В условиях горной местности Таджикистана использование солнечной и ветровой энергии имеет социально – экономический характер [17-20].

Анализы показывают, что Республика Таджикистан (РТ) имеет определенный ветроэнергетический потенциал. В качестве примера можно привести данные результатов измерений некоторых метеостанций, а среднегодовая скорость ветра следующая. [21].

- метеостанция города Худжанд - 4,6 м/с;
- метеостанция Ховалингского района - 4,3 м/с;
- метеостанция Файзабадского района - 4,1 м/с;
- метеостанция Сангворского района - 2,7 м/с;
- метеостанция Бустонабадского района - 4,7 м/с;
- метеостанция Мургабского района - 6,5 м/с.

Принимая это во внимание, получаем, что ресурсы энергии ветра в Республике Таджикистан можно рассчитать по следующим величинам: [млн. кВт/час в год]. (см. рис. 1.2) [31, 20].

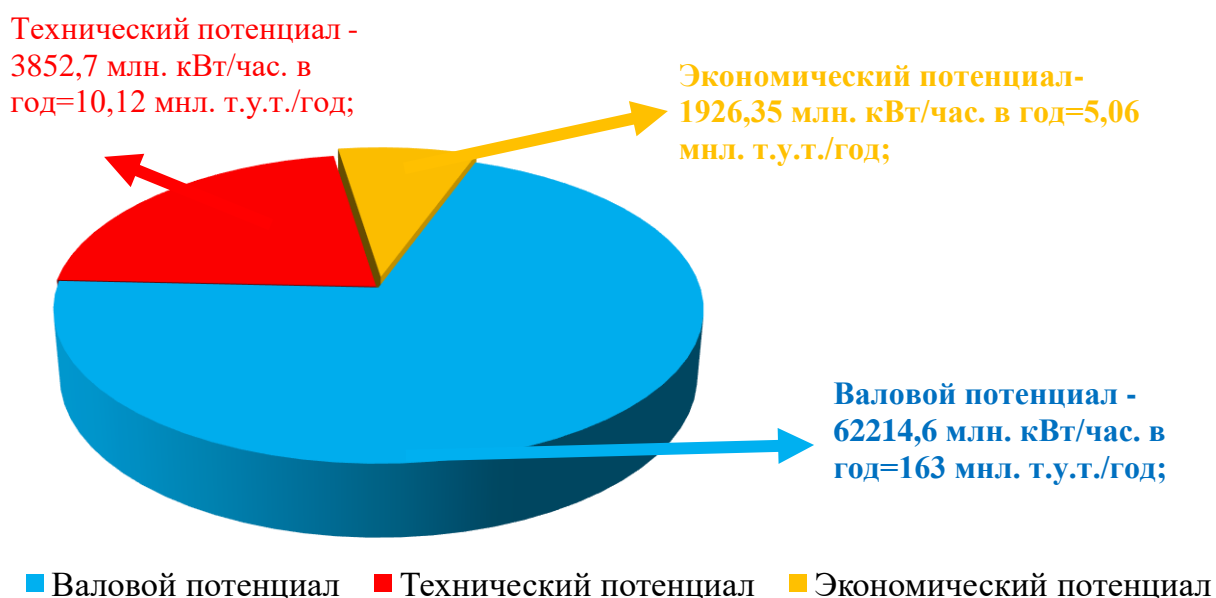


Рисунок 1.2. – Ресурсы энергии ветра в Республике Таджикистан

1.2. Состояние и тенденции развития солнечной энергетики в мире и в РФ

Потребность человечества в энергии постоянно растет. Прогнозируется, что к середине нашего столетия мировой спрос на энергоносители как минимум удвоится. Проблемы, связанные с огромным ростом потребности в энергии и экологической обстановкой, могут быть решены благодаря возросшему развитию технологий, основанных на возобновляемых источниках, в том числе солнечной энергии.

Годовой потенциал солнечной энергии Земли составляет 23 000 ТВт/год. Мировое потребление энергии за последние 100 лет возросло до 1600 ТВт/год.

Почти все формы энергии, используемые в производстве электроэнергии, имеют солнечное происхождение. Нефть, уголь, природный газ и древесина первоначально были получены с помощью фотосинтеза. Ветер и волны возникают из-за разницы температур. На протяжении всей истории каждая новая прикладная энергетическая форма вносила свой вклад в развитие общества.

Использование очень чистой солнечной энергии не является новым открытием ученых наших дней. Она использовалась в самых разных областях на протяжении многих веков. Поэтому история преобразования солнечной энергии длинна и разнообразна [23].

Древние века. Солнце играет жизненно важную роль в жизни на Земле. Это было признано и прославлено всеми культурами уже в древние времена. Люди тех дней восхищались Солнцем и даже часто олицетворяли его и поклонялись ему как божеству.

Учитывая огромное изобилие и полезность солнечной энергии, она постепенно перешла от метафизического подхода к более практическому применению.

Средние века. Раннее средневековье (V – X века), так называемые «темные века», было периодом в Европе после распада Западной Римской империи. Это была эпоха интеллектуального и экономического мрака, когда правили суеверия и неграмотность. Ученых было немного, а разум и логика были оттеснены на

веру фанатиком и религией. Этот период времени не подходил для технологического прогресса [24].

Европа с XII по XIV века стала более открытой для технического прогресса. Но прогресс был либо основан на давно установившихся методах, происходящих из римской и византийской культур, либо был адаптирован из восточных цивилизаций, таких как исламский мир, Китай или Индия. В то время зачастую революционный аспект заключался не в самом изобретательстве, а в его технологической утонченности и применении к местным условиям. В течение этого периода европейские люди продолжали удовлетворять свои энергетические потребности почти исключительно с использованием возобновляемых источников энергии.

В эпоху Возрождения (XIV – XVII века) в средневековой Европе количество новых изобретений и инноваций было радикально увеличено. Этот период можно считать мостом между темным средневековьем и современной историей.

Из практики известно, что одним из первых в мире солнечных коллекторов считается пластинчатый коллектор, предложенный швейцарским учёным Горацием-Бенедиктом де Соссюр в 1767 году под названием «горячий ящик», представляющий из себя прямоугольную деревянную коробку, утеплённую черной пробкой и покрытую стеклом. Внутри коробки разместили небольшую, но похожую на основную стеклянную коробку. Работа коллектора была такова, что при попадании на него солнечных лучей внутренняя коробка становилась водой. Хот-бокс стал прототипом солнечных тепловых коллекторов, которые используются до сих пор [25, 26].

В последующие десятилетия изобретение Соссюра было еще более усовершенствовано. Значительный вклад в это дело внесли Джон Фредерик Уильям Гершель (1792 – 1871 годы) и Сэмюэль Пьерпонт Лэнгли (1834 – 1906 годы).

От эпохи промышленной революции до наших дней. Во время промышленной революции (начавшейся в Великобритании в XVIII веке)

аграрная и ремесленная отрасли были изменены промышленностью и машиностроением.

Промышленная революция характеризовалась технологической особенностью. Технологические достижения, связанные с растущим применением науки в промышленности, были связаны:

- с расширенным использованием железа и стали;
- с новыми источниками энергии, включая как топливо (уголь, электричество, нефть), так и движущую силу (пар и двигатель внутреннего сгорания);

В этот век также сообщалось о многочисленных промышленных достижениях и инновациях, связанных с солнечной энергией. Здесь можно упомянуть только некоторые конкретные.

Солнечный коллектор В. Адамса оказался более эффективным, чем все ранее построенные варианты. Изготовленная им печь имела 8 симметрично расположенных посеребренных стеклянных зеркал, образующих восьмиугольный отражатель. Солнечный свет был сконцентрирован зеркалами в стеклянной деревянной коробке, в которую был помещен горшок с едой для варки [27].

Коробку нужно было повернуть вручную, чтобы она была повернута к солнечным лучам. Как оказалось, температура в коробке могла превышать 200 С°. Это была первая солнечная печь массового производства, очень популярная как в Индии, так и в Соединенных Штатах Америки.

В этот век были разработаны концентраторы солнечных лучей для солнечных печей, способных плавить железо, медь и другие металлы. Они были сделаны из полированного железа, стеклянных линз или зеркал.

Исследования Мончота были спровоцированы его убежденностью в том, что нет достаточных ресурсов, необходимых для чрезвычайно растущей промышленности, и только преобразование солнечной энергии может решить этот кризис. Разработки Мончота были продолжены его помощником Абелем Пифром (1852-1928годы) [28]. Его солнечные коллекторы были

параболическими отражателями из очень маленьких зеркал. Их форма была немного похожа на усеченные конусы Мончота. Его самый известный солнечный паровой двигатель был построен в 1882 году. Он использовал вогнутое зеркало диаметром 3,5 м, в центре которого был цилиндрический паровой котел. Генерируемый пар приводил в действие небольшой вертикальный двигатель мощностью около 300 Вт, который приводил в действие печатный станок.

Джон Эрикссон (1803 – 1889 годы), шведско-американский изобретатель, также посвятил себя разработке полезной энергии от солнца. В 1873 году он изобрел двигатель типа вытеснителя (так называемый двигатель Стирлинга), который работал на солнечных лучах, собираемых параболическим отражателем. Этим двигателем он продемонстрировал, что мощность может быть произведена только солнечной энергией, без вмешательства пара [29].

Начало использования солнечных коллекторов продолжилось в начале 20 века, где можно отметить наиболее важные из них:

А. Г. Энеас в 1901 г. установил фокусирующий коллектор диаметром 10 м, питающий водяные насосы в Калифорнии. Устройство состояло из превосходной конструкции в форме зонтика с 1788 зеркалами. Вода внутри котла, помещенного в коллектор, нагревалась, а образующийся пар воздействовал на обычный смесительный двигатель и центробежный насос [30].

Фрэнк Шуман, американский пионер в области солнечной энергетики, построил первую в мире солнечную тепловую установку в 1912 году для насосной станции в Миади, Египет. Несколько параболических цилиндров длиной 62 метра используются в системе для фокусировки солнечного света на поглощающую трубку. Баллоны занимали общую площадь более 1200 м².

Солнечный двигатель мощностью 37-45 кВт может непрерывно развиваться в течение 9 часов. Это позволяет более 20 тыс. литров воды течь из Нила в минуту на соседние сельскохозяйственные поля [25, 31].

С середины прошлого века по настоящее время было предложено и изготовлено множество типов коллекторных конструкций, предназначенных для

фокусировки солнечных лучей. Использовались две основные солнечные технологии: с центральным и распределенным приемниками. Центральные приемные системы основаны на гелиостатах (двухосевые следящие зеркала), чтобы сфокусировать солнечный свет на одном монтируемом на башне приемнике. Технология распределенного приемника применяет различные подходы, такие как параболические тарелки или желоба, линзы Френеля и так далее.

Первый коммерческий рынок солнечных электростанций в мире под названием Planta Solar 10 был создан в 2004 году недалеко от Севильи, Испания. Солнечный свет улавливается 624 большими подвижными зеркалами (называемыми гелиостатами), установленными на вершине 115-метрового здания, где солнечный ресивер, паровая турбина и генератор могут вырабатывать 11 МВт электроэнергии (достаточно для 5500 домов). Крупнейшая в мире солнечная электростанция впервые была введена в эксплуатацию 13 февраля 2014 года в Иванпа-Драй-Лейк (Калифорния, США). Система выработки солнечной энергии Иванпа равна 377 МВт (достаточно для питания 140 000 домов). здесь более 300 000 управляемых программным обеспечением зеркал отслеживают солнце в двух измерениях и отражают солнечный свет на горшки на вершине трех 140-метровых зданий [25].

Другая в настоящее время очень распространенная область применения концентрации солнца – это вода и отопление дома. Они стали широко использоваться в 1940-х годах, когда они начали заменять отопительные системы, основанные в основном на угольных котлах. Но этот подход к отоплению был довольно старый. Первыми такими водонагревателями были практически окрашенные в черный цвет емкости, наполненные водой. Их основным недостатком было то, что для нагревания потребовалось много времени, и они быстро остыли, когда солнце не светило, поскольку они не были изолированы или не имели другой системы удержания тепла.

Уиллоби Смит (1828 – 1891 годы), английский инженер-электрик, впервые наблюдал и сообщил в 1873 году о светочувствительности селена: под воздействием солнечного света его проводимость увеличилась [32].

Два британских ученых, Уильям Гриллс Адамс (1836 – 1915 годы) и его ученик Ричард Эванс Дэй, доказали, что свет, сияющий на селеновых стержнях, производит поток электричества.

Американский изобретатель Чарльз Фритц (1850 – 1903 годы) признан создателем первой работающей фотоэлектрической батареи [33]. В 1883 году он поместил селен между железной пластиной и полупрозрачным золотым верхним слоем. Хотя эти устройства имели очень низкую эффективность (менее 1%), они были отправной точкой одной из наиболее динамично развивающихся в настоящее время областей машиностроения.

Чарльз Фритц был также пионером использования солнечных батарей. Но практическое широкое применение фотоэлектрических устройств пришлось ждать до 1950-х годов.

Американский инженер Рассел Шумейкер Ол (1898-1987годы) запатентовал современный солнечный элемент с полупроводниковым переходом в 1946 году. Он также является исследователем барьера p-n (так называемого "перехода p-n") [34].

В 1954 году, экспериментируя с недавно открытыми кремниевыми транзисторами, три американских ученых, работающих в лаборатории Белл, Дэрил Чапин (1906 – 1995 годы), Кэлвин Фуллер (1902 – 1994 годы) и Джеральд Пирсон (1905 – 1987 годы) разработали солнечный элемент, который мог преобразовать достаточно солнечной энергии в электричество, чтобы запустить любое обычное электрооборудование. Они предложили ячейку на основе диффузионного кремниевого P-N-соединения с эффективностью 6%. Журнал «Нью-Йорк таймс» восхвалял это открытие «как начало новой эры, ведущей в конечном итоге к осуществлению одной из самых заветных мечтаний человечества – использованию практически безграничной энергии солнца» [35].

Эффективность преобразования солнечных элементов начала медленно увеличиваться до 11% в 1958 году и до 14% в 1960 году, но их цена была непомерно высокой (около 1000 долларов США за 1 Вт).

Из-за высокой стоимости и низкой эффективности в начале фотоэлектрической эры солнечные элементы использовались только в незначительных областях применения. Их первые важные применения были в освоении космоса. Авангард I, запущенный в США в 1958 году, был первым в мире спутником на солнечной энергии [36]. Космический аппарат диаметром 165 мм и массой 1,47 кг, состоящий из алюминиевой сферы, имел 6 солнечных элементов общей площадью более 100 см², которые производили всего несколько десятков мВт, и питал один из двух своих передатчиков.

С тех пор большие солнечные батареи, напоминающие крылья, являются типичной особенностью спутников. На практике солнечные элементы были пригодны для этого применения, поскольку их небольшая эффективность и высокая стоимость были сбалансированы их высоким отношением мощности к весу, что является очень важной проблемой в аэрокосмической промышленности.

Успех солнечного элемента в аэрокосмическом фотоэлектричестве радикально изменил общее видение их применения и на Земле. Сначала они нашли применение в удаленных территориях, где не было возможности подключения к электросети общего пользования. После солнечные элементы использовались для снабжения морских навигационных рупоров и огней, радиорелейных станций и других телекоммуникационных устройств. Шаг за шагом, начиная с середины 1980-х годов, фотогальваника становится основным источником электрической энергии для удаленных приёмников.

Значительный прорыв в этой области в 1970-х годах был возбужден очень быстро растущей полупроводниковой промышленностью. По мере развития технологии цена на солнечные элементы падала вместе с ценой на интегральные схемы [37].

Солнце является не только центром нашей Солнечной системы, но и величайшим источником энергии в ней. Земля получает от Солнца больше энергии за час, чем вся мировая энергия за год.

Люди используют этот свободный и чистый источник энергии уже тысячи лет. В основном, есть три солнечных технологии, имеющие очень долгую историю: пассивная солнечная, солнечная тепловая и концентрированная солнечная. Все они интенсивно используются и в наши дни. В последние десятилетия была разработана новая фотоэлектрическая технология, которая обеспечивает прямое преобразование электричества из солнечной энергии. Постоянные инновации в этой области привели к повышению эффективности, уменьшению размеров и затрат, что делает его более распространенным во всем человеческом обществе.

Современное состояние солнечной энергетики

С развитием техники и технологии, а также разработки инновационных подходов эффективность и выходная мощность солнечных коллекторов существенно улучшились. Значение эффективности кремниевых солнечных элементов все более близко приближается к максимально достижимому пределу в 29,4%, так называемому пределу Оже. Если до недавнего времени эффективность солнечных панелей в лабораторных условиях составили 22%, то сегодня с развитием технологии производства клеточных конструкций могут быть реализованы в промышленном масштабе. В настоящее время некоторые исследователи заявляют о более высоких результатах выше 26% эффективности в лабораторных условиях. За последние годы концепция изучения и разработки солнечных панелей также потерпела изменение, т.е., кроме решения задач повышения эффективности и снижения затрат, также рассматриваются вопросы общей стоимости цепочки создания панелей до получаемого конечного киловатт – часа электроэнергии. Специальные инновации в области солнечной энергетики улучшают выработку электроэнергии, эффективность, качество, надежность производства и производительность системы [38].

В 2021 году компания Star взяла небольшой перерыв от огромных темпов роста, наблюдавшихся в предыдущие годы. Несмотря на незначительный рост (всего 4%) рынка солнечной энергии по итогам 2021 года суммарная мощность введенных в эксплуатацию солнечных панелей была больше всех остальных генерирующих видов вместе взятых. Солнечная энергия также добавила больше мощности, чем все возобновляемые источники энергии, включая большие гидроэлектростанции, и в два раза больше, чем энергия ветра. Станция солнечной батареи для дома показана на рис. 1.3.



Рисунок 1.3. – Солнечная батарея для дома

Относительно доля солнечной энергии достигла 36% всех новых добавленных мощностей в 2021 году по сравнению с 38% годом ранее. Несмотря на впечатляющий результат на первый взгляд «застой» в росте солнечной энергии и ветра в 2021 году означал, что возобновляемые мощности внесли лишь 63% в общее увеличение мощности. Если посмотреть на долю общих

установленных мощностей по производству электроэнергии, доля возобновляемых источников энергии в 2021 году составила 33%, а по выходной мощности – 26%. Все солнечные фотоэлектрические электростанции вместе производили только 2,2% мирового производства электроэнергии. Это показывает, что несмотря на недавнюю доминирующую роль солнечной энергии в ежегодном увеличении производства электроэнергии существует огромный неиспользованный потенциал как для солнечной энергии, так и для ее возобновляемых источников.

Причиной предпочтения солнечной энергии перед другими технологиями была, среди прочего, ее крутая кривая снижения затрат, которая продолжает уменьшаться. Сегодня стоимость генерации для солнечной энергии значительно ниже, чем для новых атомных и угольных электростанций, но обычно также ниже газовой, а в диапазоне ветра в зависимости от региона даже ниже. В 2021 году тендеры и соглашения о покупке электроэнергии показали несколько случаев подачи заявок, премий и контрактов с ценами на солнечную энергию в диапазоне 2 цента США за 1 кВт·ч. Такие уровни цен были достигнуты в разных регионах мира. Самая низкая цена на солнечную энергию в 2021 году была зафиксирована в 1,38 индийских рупий (1,86 центов США) за 1 кВт·ч в Индии; хотя это был повышающийся тариф со специальной бизнес-моделью для правительственных зданий на крыше [39, 40].

В мире цена солнечной энергии в развивающихся странах другая, то есть она выше, чем в странах со стабильными условиями. Однако при поддержке международных кредиторов, таких как институты финансового развития, риски проектов в развивающихся странах могут быть значительно снижены. Например, в Египте солнечная электростанция мощностью 200 МВт от египетской компании по передаче электроэнергии получила лучшие предложения от международных застройщиков в диапазоне 2 цента США – по 2,8 цента США за 1 кВт·ч. [11]. Этот солнечный проект поддерживается Европейским банком реконструкции и развития (ЕБРР). Масштабная солнечная программа Группы Всемирного банка, которая, вероятно, является самым крупным солнечным

проектом такого рода, поддерживает развертывание солнечной энергии в африканских странах, Эфиопии, Мадагаскаре, Сенегале и Замбии, и в своих последних тендерах привело к награждению низким 4 цента США за 1 кВт·ч. [16]. В рамках программы GET FIT Замбии между министерством энергетики страны и Германским банком развития (KfW) было выделено 120 МВт солнечной мощности по цене 3,99 цента США за 1 кВт·ч: новый рекорд для стран Африки к югу от Сахары.

В то время как низкочастотное финансирование является ключевым фактором для разработчиков, выбирающих солнечную энергию, другой важной частью уравнения затрат являются усовершенствования технологий, которые продолжают (рис. 1.4.).

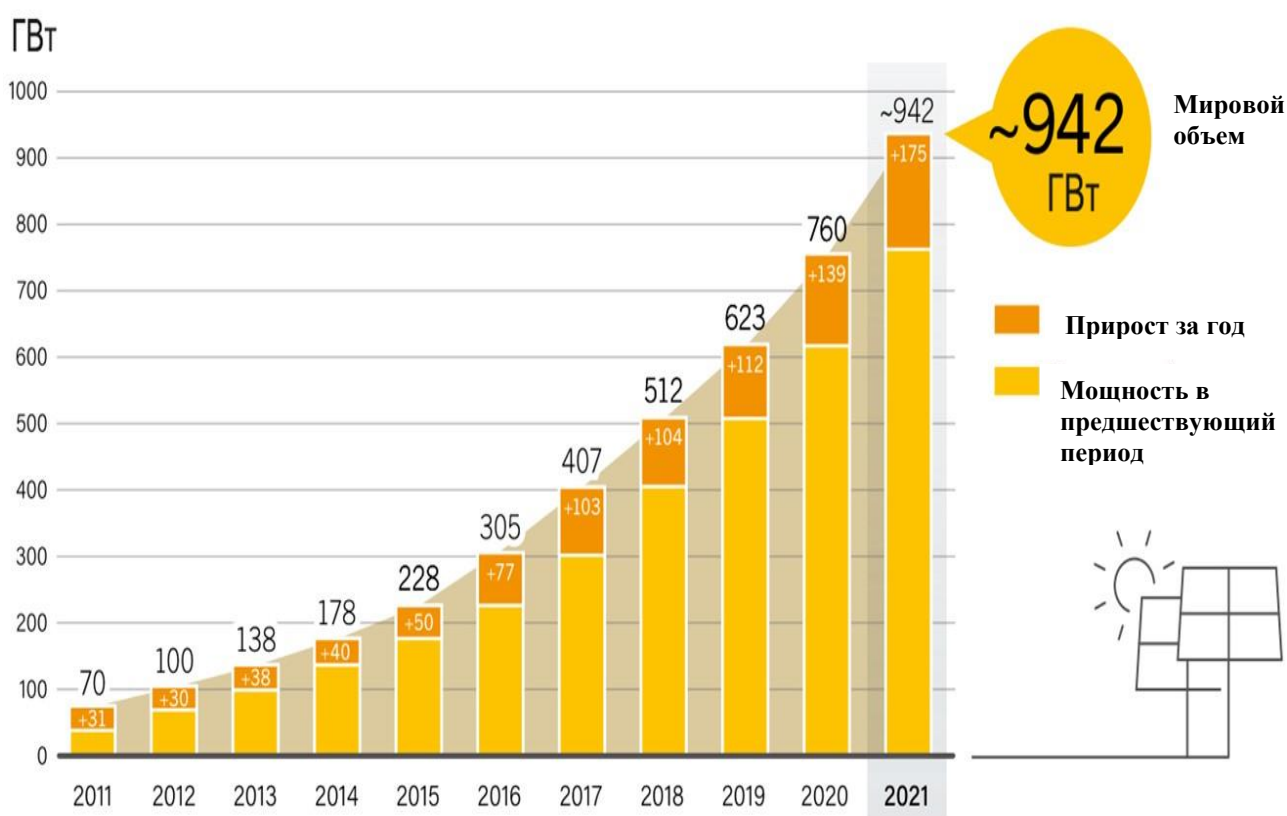


Рисунок 1.4. – Динамика роста общей установленной мощности солнечных станций

В 2021 году было установлено в общей сложности 175 ГВт солнечной мощности, впервые превысив уровень 100 ГВт за один год.

Последний анализ Levelized Cost of Energy (LCOE) – версия 12.0, выпущенная в ноябре 2021 года американским инвестиционным банком Lazard, показывает, что стоимость солнечной батареи в коммунальном масштабе улучшилась по сравнению с предыдущей версией на 14%. Солнечные энергосистемы общего назначения снова дешевле, чем новые обычные источники электроэнергии – ядерные и угольные, а также газовые турбины комбинированного цикла [41, 42].

Низкая стоимость генерации не может стать основным критерием для оценки способствующая росту, здесь также необходимо учитывать правильные политические рамки и перспективные проекты для развития рынка в целом.

Администрация Китая, крупнейшего в мире рынка солнечной энергии за последние годы, в середине 2021 года отказалась от своей щедрой схемы льготного тарифного стимулирования, чтобы приспособиться к эпохе паритета энергосистемы, изучая инструменты для более эффективного управления ростом и поколение ближе к тому, где спрос. При 44,4 ГВт рынок Китая сократился на 16% по сравнению с рекордными 52,8 ГВт в 2018 году. В то время как другие ведущие солнечные рынки также стагнировали (США) или сократились (Индия, Япония) по различным причинам, многие новые и развивающиеся рынки более чем компенсировали слабость группы 1 уровня. В 2021 году в 11 странах было установлено более 1 ГВт солнечной энергии, что на два больше по сравнению с девятью солнечными рынками в 2021 году.

Европа является одним из новых регионов солнечного роста. Достигнув обязательные для Евросоюза национальные цели на 2020 год, континент прибавил 11,3 ГВт в 2021 году, что на 21% больше по сравнению с 9,3 ГВт, установленными годом ранее [43].

В то время как несколько развивающихся рынков продемонстрировали впечатляющий рост в 2021 году Австралия, вероятно, была солнечной падающей звездой прошлого года. Страна и континент ускорили темпы звездного роста, добавив 5,3 ГВт, что почти на 300% больше по сравнению с 1,3 ГВт в 2020 году – и ожидается, что этот высокий спрос сохранится.

Состояние и перспективы использования солнечной энергии в Республике Таджикистан

В связи с отсутствием широкого использования солнечного потенциала в РТ в настоящее время невозможно достаточно точно оценить роль солнечной энергетики в решении проблемы дефицита генерируемой мощности. По оценке научных исследований, годовой потенциал солнечной энергии оценивается в 25 млрд. кВт·ч. Огромная доля потенциала не эксплуатируется, тем не менее, Таджикистан рассматривает варианты использования части из своих солнечных ресурсов для нагрева воды [18, 21, 22, 44].

Оценивая значение суммарной солнечной инсоляции, которое при благоприятной погоде достигает 800-900 Вт/м² или 8,500-9,000 МДж/м², можно заметить, что данные значения в горных местностях намного превышают, особенно можно отметить восточную часть ГБАО, где использование гидравлических ресурсов из-за особенности климата в зимний период ограничивается.

Стоит также отметить, что в горных местностях из-за рельефа наблюдается существенное сокращение продолжительности солнечной инсоляции в течение года [18,45].

В связи с тем, что Республика Таджикистан расположена в районе «мирового пояса» между 38 и 40 градусами северной широты, количество солнечных дней в году составляет от 269 до 316 дней, продолжительность солнечного сияния составляет 2094-3172 часа.

Здесь в качестве примера и с целью сравнения приводим результаты измерений различных метеостанций, расположенных на территории Республики Таджикистан:

- метеостанция «Дехавз» - 2097 часов (расположена у реки Зеравшан на высоте 2500 метров над уровнем моря);
- метеостанция "Ледник Федченко" - 2217 часов - на высоте 4169 м над уровнем моря;

- метеостанция "Панч" - 3029 часов расположена на юге Республики Таджикистан;

- метеостанция "Каракуль" - 3166 часов, расположена в ГБАО.

По утверждению специалистов в течение 10 месяцев можно покрыть 60 – 80% годовой потребности потребителей. Если произвести пересчёт на условное топливо, то это составляет около 400 тысяч тонн условного топлива, что эквивалентно 460 млн. м³ газа или 528 тысяч тонн мазута [18].

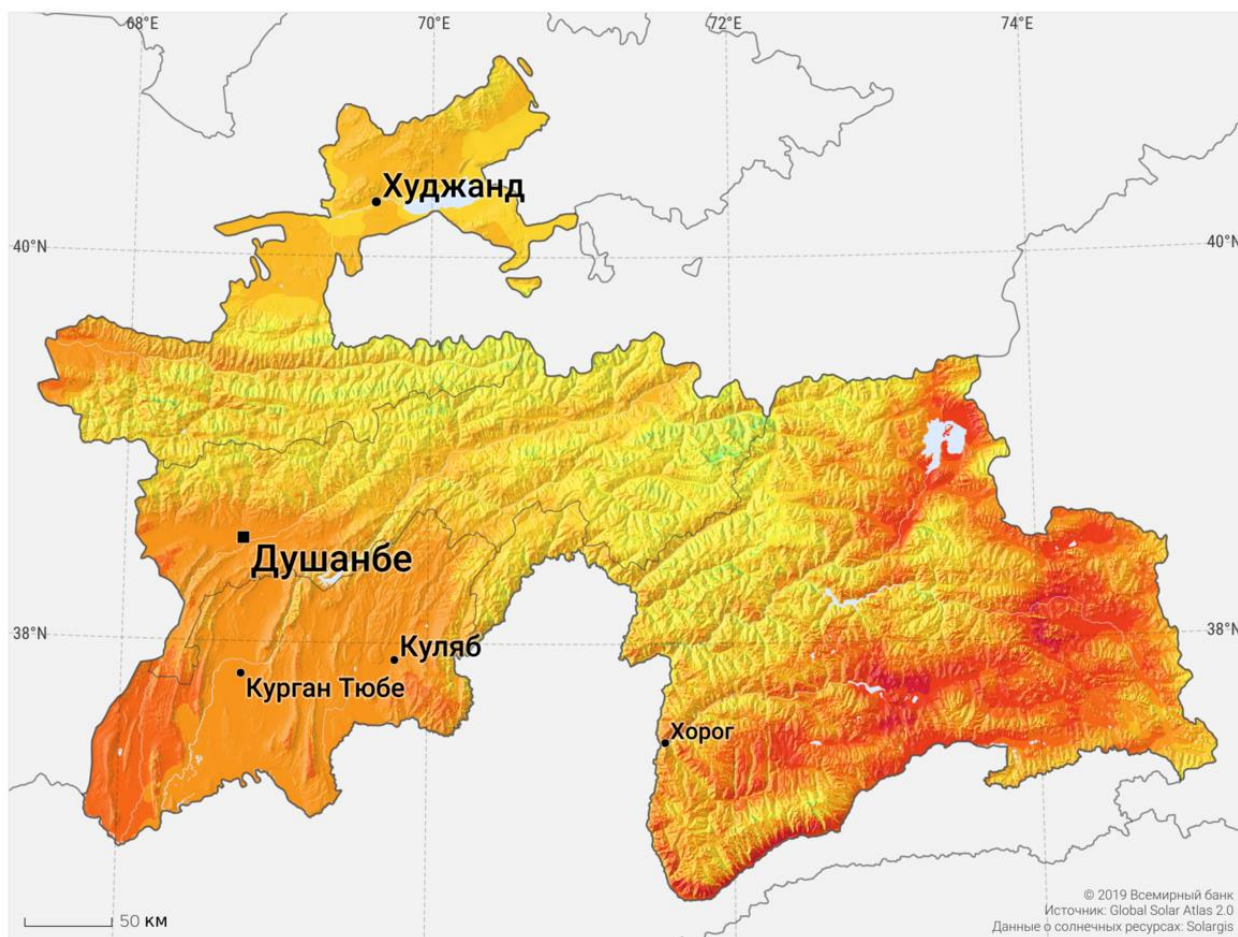
В таблице 1.2 приведена информация общей солнечной инсоляции в городах и районах Республики Таджикистан в разбивке по месяцам [18].

Таблица 1.2. – Суммарная месячная солнечная инсоляция в городах и основных населенных пунктах Таджикистана

Населённые пункты	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
город Душанбе	98	132	173	220	290	331	335	298	249	173	115	81
город Худжанд	98	127	174	239	290	332	335	295	249	169	105	75
город Бохтар	98	121	169	220	310	333	327	295	248	169	115	78
город Куляб	101	131	173	239	295	339	327	237	237	173	117	81
город Турсунзаде	98	13	173	239	295	332	335	345	249	173	117	83
район Ёрона	98	13	173	239	295	332	335	245	049	173	118	85
район Шаартуза	98	13	169	239	295	332	335	265	249	173	118	84
город Нурек	98	131	169	239	295	332	335	275	249	173	118	84
город Канибадам	98	132	169	238	295	332	335	298	249	173	118	85
город Истаравшан	98	132	169	238	295	331	335	298	249	173	118	84
город Пенджикент	98	131	169	220	290	331	335	395	248	173	117	82
город Хорог	114	146	201	241	316	355	345	310	264	178	119	91
Район Дангара	98	131	169	239	290	331	335	298	249	175	117	82
район Лахш	114	146	187	268	316	355	345	310	263	177	119	81
район Мугаба	101	135	174	245	113	335	335	295	248	169	105	70
район Гарм	98	125	173	241	290	332	327	298	247	173	117	82
район Спитамен	98	131	169	254	313	335	336	295	248	169	105	69
город Исфара	98	125	173	239	295	331	335	298	249	174	116	85

По результатам научных исследований интенсивность прямой солнечной радиации на территории Республики Таджикистан составляет 10,3 кВт/м² летом и 5,9 кВт/м² зимой.

В узких долинах и на крутых склонах число часов солнечного сияния снижается. Весной по сравнению с горизонтальной поверхностью северные склоны крутизной 10° и 30° получают радиацию на 10-15 и 15-20% меньше соответственно (рис. 1.5.) [46].



Средняя долгосрочная суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, период 1999-2021г
 Суммарные дневные значения: 3.2 3.6 4.0 4.4 4.8 5.2
 Суммарные годовые значения: 1168 1314 1461 1607 1753 1899 кВт·ч/м²

Рисунок 1.5. – Информация о солнечной радиации на территории Республики Таджикистан

В летние дни суммарное значение, приходящее на поверхность, почти равно со значением суммарной прямой радиации. Теоретически солнечное облучение горизонтальной площадки в ясный день на средней широте Таджикистана (39° с.ш.) имеет значения, показанные в таблице 1.3 [18].

Таблица 1.3. – Теоретические параметры солнечной радиации в регионах Республики Таджикистан.

	Месяцы											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
МДж/м ² . суто.	14	16	21	26	28	29	27	26	20	16	13	12
Вт/м ² . ср. суто.	151	175	232	290	313	325	302	290	221	175	140	128

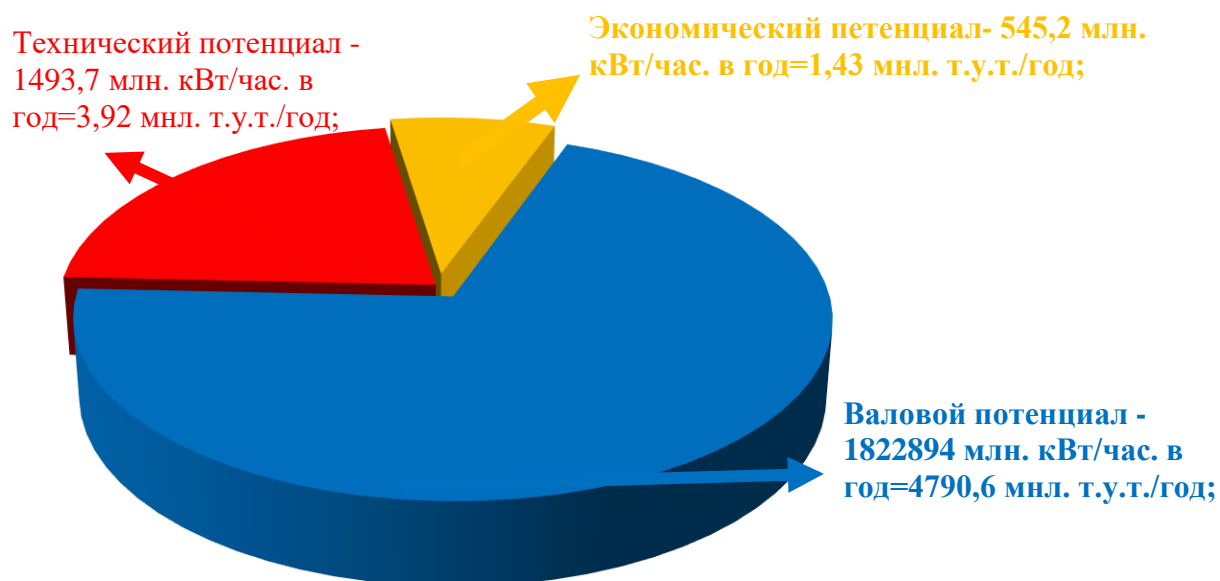
Усреднённые данные по наблюдению гидрометеостанций на территории РТ приведены в таблице 1.4. [18].

Таблица 1.4. – Усреднённые показатели солнечной радиации по РТ

	Месяцы											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Миним.	85	119	158	214	280	331	327	295	237	169	105	70
Сред.	92	126	165	230	285	335	333	299	249	172	115	81
Максим.	97	138	188	321	305	351	341	306	259	173	115	87

По причине малой изученности солнечной энергии в Таджикистане оценить реальный экономический потенциал проблематично. Это связано прежде всего из-за сложности рельефа, солнечная энергетика не может конкурировать с гидроэнергетикой. Тем не менее его роль и значение в решении проблемы социально-бытового характера могут стать привлекательными для РТ. Большим преимуществом солнечной энергии для этого сектора является отсутствие необходимости развития линий электропередач, быстрота освоения и нацеленность на индивидуальных потребителей. Сегодня в Таджикистане, в первую очередь, востребован потенциал солнечной энергии именно осенне - зимнего периода, так как выработка на ГЭС снижается, и из-за этого происходят частые перебои в энергоснабжении вплоть до отключения потребителей [47-49].

По всем этим данным ресурсы солнечной энергии в Таджикистане можно оценить следующими величинами: рис. 1.6.



■ Валовой потенциал ■ Технический потенциал ■ Экономический потенциал

Рисунок 1.6. – Ресурсы энергии ветра в Республике Таджикистан

1.3. Современное состояние и использование ВИЭ в РТ в период независимости

Имея достаточно хороший потенциал и востребованность к дешёвой электроэнергии в труднодоступных районах республики, задача освоения ВИЭ для достижения повсеместной энергетической независимости является ключевой в энергетической отрасли РТ [17].

В Таджикистане имеется достаточное количество всех видов возобновляемых источников энергии. Наиболее изученной из них и давно применяемой является гидроэнергия (см. таблица №1.5 и рис. 1.7).

Таблица 1.5. – Ресурсы НВИЭ Республики Таджикистан [млн. т.у.т. (МВт) в год]

Ресурсы	Валовой потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Гидроэнергия, общая	180 (60168)	108,01 (32475)	108,01 (32475)
Солнечная энергия	4791 (21058)	21 (6814)	1,50 (546,1)
Энергия биомассы	4,31 (1615,15)	4,31 (1615,15)	1,13 (809)
Энергия ветра	164 (62258)	10,13 (3852,8)	5,05 (1926,41)
Геотермальная энергия	0,046	0,046	0,046
Общее (без крупных ГЭС)	5020595 (1907823)	38,635 (13774)	27955 (10092)

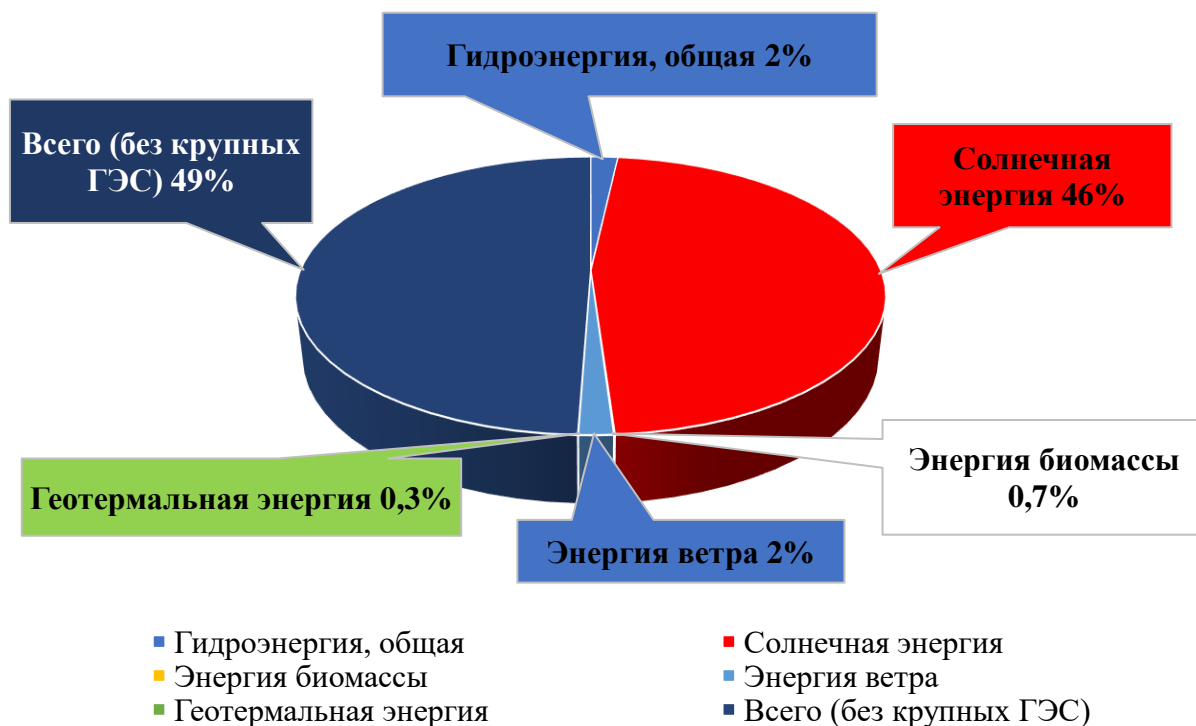


Рисунок 1.7. – Ресурсы НВИЭ Республики Таджикистан [млн. т.у.т. (МВт) в год]

Состояние и перспективы использования гидроэнергетики. Основатель мира и национального единства – Лидер нации, Президент Республики Таджикистан, уважаемый Эмомали Рахмон к Маджлиси Оли Республики Таджикистан отмечает, что достижение энергетической независимости играет ключевую роль в развитии отраслей народного хозяйства [50].

По абсолютным запасам гидроэнергии Таджикистан в мире занимает восьмое место после Китая, России, США, Бразилии, Заира, Индии и Канады, первое место - по удельным запасам на единицу территории, третье - по удельным запасам на душу населения, а также третье по потенциальному экспорту. По всем показателям Таджикистан занимает первое место в Центральной Азии, а после России он на втором месте в СНГ. Таджикистан с небольшой территорией и численностью населения обладает 4% от общемирового гидроэнергетического потенциала. Гидроэнергетический потенциал Таджикистана оценивается в 527,06 млрд. кВт·ч в год, а технический доступный

и экономический целесообразный потенциал составляет 317 млрд кВт·ч в год, из которых пока реализованы лишь 5 % [51-53].

Большой гидроэнергетический потенциал Таджикистана обусловлен природными условиями, так как 93% его территории составляют горы, и большим количеством рек. Реки практически равномерно распределены по территории страны, а их общее число составляет 947 штук [54, 55].

Гидроэнергетический потенциал Таджикистана показан на рис. 1.8.



Рисунок. 1.8 – Карта гидроэнергетического потенциала Республики Таджикистан в период независимости

Потенциальные ресурсы рек Республики Таджикистан представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6. – Потенциальные ресурсы гидроэнергетических ресурсов Таджикистана

Наименование бассейнов рек	Средняя мощность в год, тысяч кВт	Средняя энергия в год, миллиард кВт·ч	Доля в общем объеме, в процентах
Река Пяндж	14031	122,91	23,1
река Гунт	2261	19.81	3.74

Продолжения таблица 1.6.			
река Бартанг	2970	26,00	4,94
река Ванч	1192	10,35	1,97
река Язгулем	846	7,41	1,40
река Кызыл-Су	1087	9,53	1,79
река Вахш	22671	251,15	48,01
река Кофарниган	4249	37,22	7,01
река озера Кара-Куль	102	0,91	0,18
река Сурхан-Дарья	629	5,51	1,04
река Заравшан	3875	33,94	6,39
река Сырдарья	261	2,28	0,44
Итого	54174	507,21	97,01

Анализ приведенных данных в таблице 1.6 показывает, что река Вахш имеет около половины гидроэнергетического ресурса страны, река Пяндж – почти 25 %, а все остальные реки примерно 25 %. Меньшим количеством гидроресурсов обладает бассейн реки озера Кара-Куль на Памире [56-59].

Из всех существующих рек в республике освоен потенциал реки Вахш, в котором эксплуатируются семь из девяти намеченных створов: Нурекская гидроэлектростанция (3000 МВт), Байгазинская гидроэлектростанция (600 МВт), Сангтудинская - 1 гидроэлектростанция (670 МВт) Сангтудинская – 2 гидроэлектростанция (220 МВт), Головная гидроэлектростанция (240 МВт), Перепадная гидроэлектростанция (30 МВт), Центральная гидроэлектростанция (15 МВт), [60]. В настоящее время активно ведутся строительные работы по возведению плотины Рогунской ГЭС (3600МВт), в которой введены два агрегата по временной перемычке, что обеспечивает строительную площадку электроэнергией. В общем, потенциал реки Вахш оценивается 28,6 млн. кВт при среднегодовой выработке свыше 250 млрд. кВт*час.

В настоящее время Нурекская ГЭС является самой мощной гидроэлектростанцией Таджикистана. Вырабатывает около 75% всей электроэнергии республики, что составляет 11,4 млрд киловатт-часов. Водохранилище Нурекской ГЭС с уникальной 300-метровой плотинной, имеющей полезный объем 4,5 миллиарда кубометров, позволяет регулировать сток рек каждый день, неделю и месяц. После завершения строительства

Рогунской гидроэлектрической станции возможно создание водохранилища, которое будет ежегодно регулировать сток реки Вахш [51, 60, 61]. Мощность гидроэлектростанции Таджикистана представлена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9. – Мощность ГЭС в Республике Таджикистан

Есть все основания полагать, что основным видом энергии для Республики Таджикистан является гидроэнергия. В связи с этим возникает задача разумного и комплексного использования гидроэнергетических ресурсов Таджикистана как наиболее богатого энергоресурсами среди стран региона ЦА [60, 61].

Имеется возможность на реке Пяндж строительства более крупных ГЭС не только в РТ, но и для региона ЦА. Следует отметить, что такое возможно только с решением вопроса совместного использования трансграничных вод с Афганистаном, т.к. река Пяндж является разделяющей РТ от Афганистана. Поэтому дальнейшее изучение гидроэнергетических ресурсов Республики

Таджикистан является важной и актуальной задачей, которая необходима для успешного развития производительных сил Таджикистана и всей Средней Азии.

Статус и развитие использования ветроэнергетики. По оценкам специалистов, потенциал ветровой энергетики в Республике Таджикистан достигает примерно 25-150 миллиард кВт час. в год, в целом пропорционален использованию технического потенциала гидроэнергетики Таджикистана. В таблице 1.7 приведены значения скорости ветра в различных географических точках РТ [62].

Таблица 1.7. – Скорости ветра в различных географических точках РТ.

№	Наименование	Средняя скорость ветра, м/с	
		январь	июль
01.	район Гарма	3,6	2,0
02.	район Ховалинга	4,8	4,3
03.	Перевал Анзоба	4,9	3,9
04.	Айвадж	3,7	4,0
05	город Худжанд	5,2	4,6
06	Кайраккум	5,2	3,6
07	Янтак	3,8	2,0
08	Перевал Санглоха	3,3	2,5
09	район Файзабада	6,1	4,1
10	район Мургаба	6,5	4,3
11	город Душанбе	1,7	1,3
12	Перевал Хобурабад	5,9	3,8
13	Перевал Шахристан	6,6	3,0

Источник: Сирожев Б. Развитие электроэнергетики Таджикистана, Душанбе, Ирф. 1984, 112 с.

Из таблицы 1.7. можно увидеть, что между населенными пунктами, т.е. без учета перевалов, для использования энергии ветра сравнительно перспективными могут быть Худжанд, Кайраккум, Файзабад, Мургаб, Шууробад, где возможно применение ветроэнергетических агрегатов для

выработки электроэнергии, подъёма воды, размола зерна и т.п. На горных перевалах ветроэнергетические установки могут использоваться для питания метеорологических станций. Таким образом, энергия ветра в Таджикистане имеет местное значение, т.е. его использование оправдано только в определенных географических районах.

Состояние и перспективы использования солнечной энергии.

Республика Таджикистан расположена между 36°40' и 41°05' северной широты. Континентальный климат со значительными суточными и сезонными вариациями малого количества осадков, малой облачности и продолжительностью солнечного сияния 2160-3166 часов в году и количеством солнечных дней в году от 260 до 300. Солнечная радиация считается ключевым элементом климата Республики Таджикистан как источник всех видов возобновляемых источников энергии [62].

На рисунке 1.10. представлена температурная карта солнечной радиации в Республике Таджикистан.

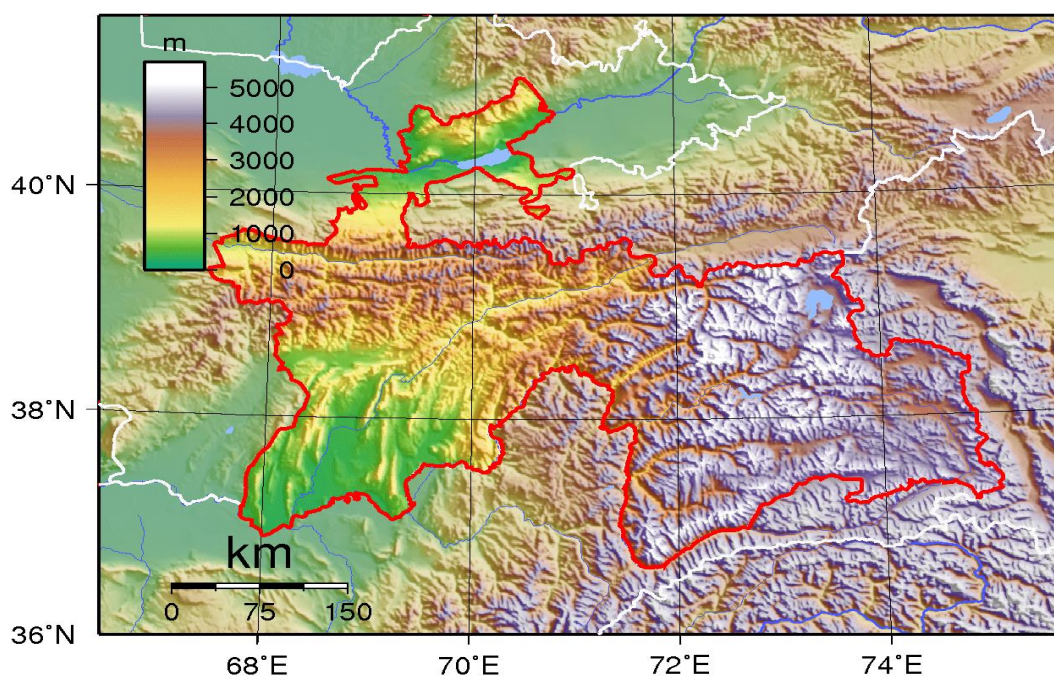


Рисунок 1.10. – Температурная карта солнечной инсоляции в РТ.

Как было отмечено выше, Республика Таджикистан имеет достаточный потенциал использования солнечной энергии в отличие от других стран ЦА [62]. В настоящее время имеются первые опыты эксплуатации солнечных

электрических станций, подключенных к централизованным электрическим сетям. В качестве примера можно привести установленные солнечные фотоэлектрические установки (СВЭУ) мощностью 30 кВт в Родильном доме №1 (бывший Роддом №3), мощностью 40 кВт в Институте гинекологии и 120 кВт в Центральной клинической больнице (Кара-Боло) в городе Душанбе.

Также имеется солнечная электростанция мощностью 220 кВт, которая эксплуатируется в условиях высокогорья Мургабского района с ноября 2020 года.

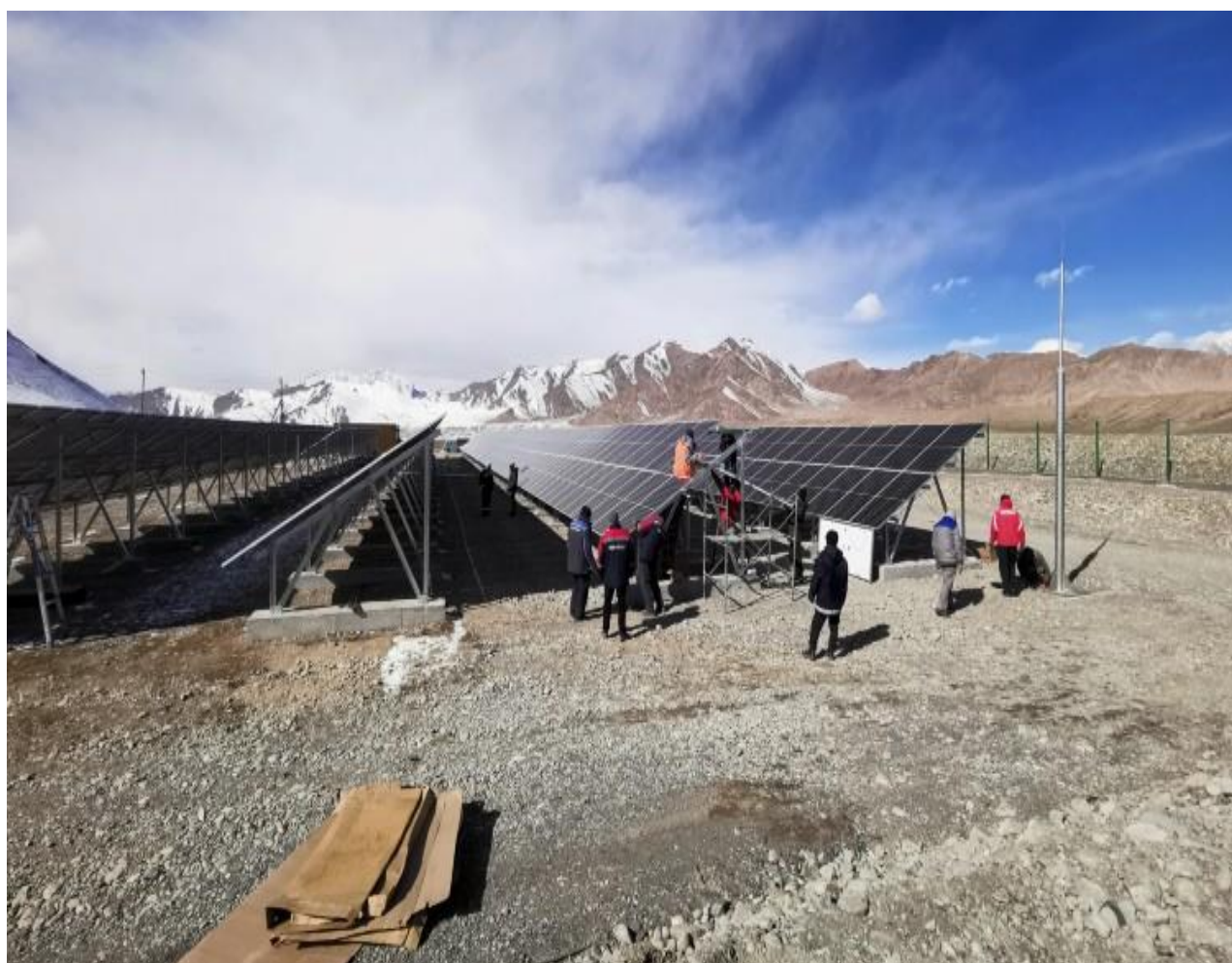


Рисунок 1.11. – Солнечная электростанция в Мургабском районе во время установки

Из вышеизложенного следует, что солнечные электростанции, похоже, находятся в стадии разработки в Республике Таджикистан. Правительство страны обязало своих чиновников проводить много работ в этом направлении.

1.3.1. Тенденция развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан

Наша страна, Таджикистан, обладает очень большими мощностями по выработке источников из возобновляемых и нетрадиционных источников энергии [18]. Причина в том, что в стране практически нет источников углеводородной энергии, нефть и газ есть, но в очень малых количествах.

В Республике Таджикистан одним из важных аспектов является доступность возобновляемых источников энергии для использования. Понятно, что не вся энергия и её запасы в стране могут быть использованы эффективно в промышленности и хозяйстве [18, 22].

В год общие гидроэнергетические ресурсы Таджикистана с учетом малых водотоков составляют 69 625 МВт. Это возможный энергетический потенциал воды. Фактически в настоящее время используется 2785 МВт/ч. Нам известно, что экономически и технически доступная энергия воды составляет 24 процента, что равно 16710 МВт. Проектирование и монтаж малых ГЭС имеет большое значение, так как многие районы страны расположены вдали от истоков полноводных рек [63, 64].

Суммарная энергетическая мощность ветроэнергетики на всей территории нашей страны с учетом разной высоты над уровнем моря составляет 29 тыс. МВт. Суммарный технический потенциал ветроэнергетики, который был реализован исходя из труднодоступности территории, составляет около 2840 МВт. Его целесообразно устанавливать в горных районах, где скорость ветра превышает 12 м/с, например, на территории Мургаба, обладающего большим потенциалом ветровых ресурсов [65].

В связи с разнообразием населения в Республике Таджикистан можно сделать вывод, что установка малых солнечных электростанций, ветряных электростанций и гидроэлектростанций с запасами энергии - это подходящий и эффективный способ обеспечения качественной электроэнергией.

1.4. Анализ локальной электроэнергетической системы на основе ВИЭ

В настоящее время в мировой практике с целью повышения энергоэффективности, а также энергоснабжения существующих и вновь создаваемых электроэнергетических систем (ЭЭС) развивается несколько направлений одновременно. Одним из таких направлений считается создание высокотехнологичных систем электроснабжения на базе концепции “Smart Grid” [66]. Например, развитие технологии управления и создания изолированных от централизованной ЭЭС систем электроснабжения с применением местных энергоисточников (в основном возобновляемых). В большинстве развитых странах данному явлению уделяют особое внимание, о чем свидетельствует на правительственном уровне принятие законов и концепций.

Как показывает анализ, в Российской Федерации для развития энергетической отрасли создано государственно – частное партнёрство в виде технологической платформы «Интеллектуальные энергетические системы РФ» (ТП ИЭС), задача которой заключается в координировании инновационной деятельности всех участников рынка ЭЭС по различным направлениям ведения хозяйства. Данная технологическая платформа в странах Европы и США принята как инструмент инновационной политики для продвижения и распространения новых высокотехнологических техники и технологии с целью снижения зависимости от ископаемых энергоносителей [67]. Российские разработчики ТП ИЭС, ориентируясь на опыт концепции “Smart Grid”, разработанной и внедряемой в США и ЕС, разработали свою концепцию, которая призвана объединить все заинтересованные стороны ЭЭ рынка, а также научные и конструкторские коллективы, предприятия, ВУЗы и др.

Концепция “Smart Grid” призвана изменить отношение к понятиям поставки электрической энергии и переводение её статуса в статус услуги, где потребитель одновременно с потреблением генерирует, накапливает и отдает излишек ЭЭ в общую сеть (при наличии последнего). Таким образом, можно заключить, что

поставщик и потребитель ЭЭ считаются независимыми и равноправными партнерами.

Концепцию технологии “Smart Grid” по физическим и функциональным показателям можно сравнивать с глобальной сетью интернет, где имеется возможность одновременного поддерживания энергетических, информационных и финансовых взаимоотношений между участниками ЭЭС.

В соответствии с международными стандартами современная сеть интернета базируется на эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС), имеющей семь уровней, которые условно можно представить в виде трех основных: физический уровень, сетевой уровень, прикладной уровень [68].

В сети интернет физический уровень понимается как среда передачи данных, сетевой уровень – среда, отвечающая за режим переноса данных (информации), а прикладной уровень считается высшим уровнем и представляет собой программное обеспечение, т.е. обеспечивающий управление процессами идентификации данных между узлами сети.

С учетом универсальности международного стандарта ЭМВОС, принимаемой в сети интернет, его также можно применить к ЭЭС, где применяется высокотехнологическая интеллектуализация систем электроснабжения с применением разнохарактерных энергоисточников, требующих мониторинга, планирования и оптимизации в зависимости от их наличия в данный момент времени. С учетом этого физический уровень для электроэнергетической сети представляет собой линии электропередач, трансформаторов и различных электрических (интеллектуальных) аппаратов, выполняющих функции передачи ЭЭ. Сетевой уровень представляет собой процесс передачи ЭЭ на различных уровнях между источником генерации и потребителем. Учитывая разнохарактерность первичных энергоисточников и графика потребления ЭЭ – прикладной уровень – обеспечивает управление, учета и контроля за распределением ЭЭ, а также определение тарифа на электроэнергию с учетом его оптимизации.

Анализ мировой практики показывает, что в большинстве развитых стран электроэнергетическая система делится на две составляющие по структуре и способу управления:

– **объединенные** – электроэнергетическая система, образованная в результате объединения нескольких отдельных энергосистем, сохранивших самостоятельное административное управление при общем оперативном (с единого диспетчерского пункта);

– **территориальные электроэнергетические системы** – это энергетические системы, находящиеся на территориях, которые определяются на государственном уровне и технологическое соединение которых с единой энергетической системой отсутствует.

Однако после увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе большинства стран мира возникла необходимость распределенного энергоснабжения потребителей. Так как с использованием местного доступного энергоисточника, который находится вблизи потребителей, значительно снижается расход на передачу электроэнергии и сокращается протяженность линии электропередач.

Основой ЭЭС, как с сетью интернет, первоначальным уровнем считается локальная электрическая сеть (ЛЭС), содержащая источник генерации, накопитель ЭЭ, физический уровень, сетевой уровень, а в современных ЛЭС - прикладной уровень, где применяется автоматизированное управление режимами.

Согласно [69] иерархия систем электроснабжения в России разделяется на федеральные, региональные, районные и локальные (см. рис. 1.12). Кроме того, в законе РФ об электроэнергетике приводятся определения основных понятий о единой энергетической системе России, электроэнергетической системе, технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, а также определения об объектах микрогенерации [69].

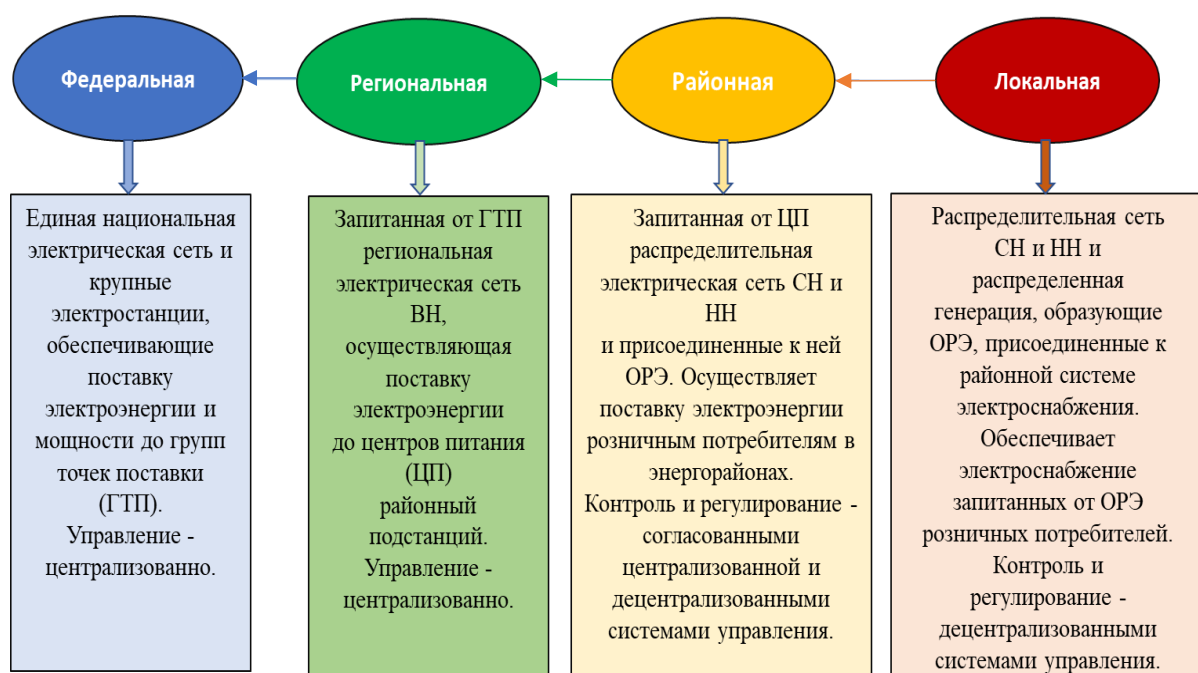


Рисунок 1.12. – Иерархия электроэнергетической системы в России

При анализе законов и нормативных документов других государств, входящих в состав СНГ, выявлено, что в большинстве республик иерархия электроэнергетической системы имеет более простую классификацию (табл. 1.8.) [70-78].

Таблица 1.8. – 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	+	-	-	-	-	+	-	-	-

1.4.1. Мировой опыт организации иерархии электроэнергетической системы

Впервые в европейских странах и в США было предложено создание активно-адаптивных сетей [79,80], в последствие начали их называть «Умные сети электроснабжения (англ. Smart Grid)». По сути, Smart Grids — это сети электроснабжения, в которых информационно-коммуникационные технологии и сети используются одновременно для сбора производства и потребления ЭЭ с целью автоматического повышения эффективности, надежности, устойчивого производства и распределения электроэнергии.

В США и Европейском Союзе были попытки стандартизации умных сетей электроснабжения: европейской [81] и американской [82].

Во многом эти подходы схожи, и из множества мнений (не только стандартов) можно сформулировать основные цели, которые преследует внедрение умных сетей:

1. Обеспечение потребителей и повышение энергетической надежности и бесперебойной работы энергосистем.
2. Повышение коэффициента полезной работы при сохранении необходимых параметров качества электрической энергии.
3. Улучшение экологической ситуации за счет увеличения использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии (экологически более чистый процесс производства электрической энергии).
4. Расширьте доступ к сети для новых пользователей с помощью источников, созданных пользователями, включая возобновляемые источники энергии с нулевым или сниженным уровнем выбросов CO₂, в качестве новых подключений к глобальной сети.

Компоненты умной сети. Анализ показывает, что в настоящее время концепция Smart Grid еще не до конца нашла своего определения, так как термин неоднократно претерпел изменение [83]. Однако в настоящее время можно разделить (и/или определить) основные её компоненты, которые имеют четкое определение (см. на рис. 1.13.)



Рисунок 1.13. – Компоненты умной сети

– Экологические проблемы и ожидаемый дефицит ископаемого топлива стимулируют развитие возобновляемых источников энергии, которые всегда считались нестабильными и поэтому требуют более сложной системы управления. Количество источников увеличивается и их нужно подключать к сети в разных точках. Генерирующие мощности более распределены, чем централизованы.

– Электрические сети состоят из радиальных линий одностороннего потока энергии. Smart Grid предполагает использование замкнутых электрических сетей, не имеющих иерархической структуры и позволяющих подключать к одной сети большое количество маломощных источников и мощных станций.

– Применение многотарифных микропроцессорных счетчиков электроэнергии (ММС ЭЭ) обеспечивает накопление информации и ее передачи

для своевременного анализа и принятия соответствующих мер по изменению режима ЭЭС или отдельно взятой его части. Дополнительно в ММС ЭЭ можно внедрять функцию запроса информации от других счетчиков для получения информации, которые в последнее время внедряются в производстве.

– Накопленные знания о законах старения электрической изоляции, тенденциях изменения химического состава масла силовых трансформаторов, известные свойства частичных разрядов в твердой, жидкой и газообразной изоляциях, а также в вакууме помогают при разработке более точных средств самодиагностики сети. К вопросу интеллектуализации локальных электрических сетей:

– В [81] приводятся аргументы за использование стека протоколов IP при передаче данных в умных сетях.

– Модернизированная релейная защита [84, 85].

Мировой опыт внедрения. Проведенные эксперименты показывают, что себестоимость производства электроэнергии значительно снизилась при внедрении и повсеместном внедрении интеллектуальных сетей. Компания Siemens опубликовала отчет о том, что Европа может сэкономить до 45 миллиардов евро в ближайшие десять лет, если обновит свои энергетические системы [86].

Первым коммерчески успешным проектом был Telegestore, созданный в Италии компанией Enel S.p.A. of Italy. Примечательно, что компания пользовалась только собственными разработанными счетчиками, собственным программным обеспечением и полностью отвечала за интеграцию решения.

США, Китай, Мексика объявили о готовности увеличивать финансирование программ по развитию умных сетей электроснабжения.

В Ирландии модернизация сетей и появление «умных счетчиков» получили сильную поддержку от потребителей, и государство продолжает инвестиции в область изучения умных сетей.

Согласно последней информации, доступной в открытых источниках, влияние внедрения интеллектуальных сетей также побудило менее развитые

страны присоединиться к «гонке интеллектуальных сетей». Согласно [87] Китай, Индия и Бразилия числятся пионерами в реализации интеллектуальных сетей для энергоснабжения.

Анализируя иерархию систем электроснабжения в зарубежных странах (таких как США, Евросоюз, Индия, Китай и др.), применяется следующая классификация структуры системы (табл.1.9.) [88].

Таблица 1.9. – 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	+	+	+	+	+	+	-

В США применяются для определения иерархии системы электроэнергетики термины «Районная ЭЭС» и «Локальная (местная) ЭЭС». Согласно законодательству США каждый штат имеет собственный законодательный акт, определяющий основные нормативы и стандарты, действующие на территории данного штата. Под районной ЭЭС подразумевается энергетическая система, которая находится в оперативном ведении штата. На территории штата также могут быть энергетические объекты федерального уровня [89].

Локальная (местная) ЭЭС представляет собой, по сути, изолированный «остров», способный при разделении от централизованной ЭЭС работать автономно в течение длительного времени, который имеет собственную генерацию. Ранее данное определение применялось к крупным объектам, таким

как военные базы. Однако после принятия закона в 2005 году получают широкое применение и поддержку со стороны правительства и промышленности.

Приведенный обзор состояния и перспективы концепции Smart Grid и внедрение новых технологий в мировой практике показывает, что несмотря на значительные достижения все еще остаются вопросы, которые требуют особого внимания. В условиях нашей республики, где в рамках Национальной стратегии достижения энергетической независимости Республики Таджикистан, происходит масштабная модернизация энергетической отрасли применения мирового опыта по созданию локальных электроэнергетических систем и представляется перспективной. В связи с чем, можно сформулировать следующие задачи для исследования: во-первых, оценить использование запаса возобновляемых источников энергии для локальной электроэнергетической системы; во-вторых, определить вероятностную характеристику законов распределения скорости ветрового потока и солнечной радиации; в-третьих, разработать методику планирования и оптимизации режимов электропотребления в локальной электроэнергетической системе; в-четвертых, оценить технико-экономическую эффективность предложенных мероприятий. Также с целью проверки адекватности разработанных методик и предлагаемых структурных решений предполагается проведение экспериментальных исследований с помощью физического и математического моделирования.

Выводы по главе 1

1. Выполнены обобщения опубликованных работ по оценке энергетического потенциала Республики Таджикистан в целом и Мургабского региона в частности.

2. Показано, что в Таджикистане имеется достаточное количество возобновляемых источников энергии. Наиболее изученной из них и давно применяемой является гидроэнергия. На территории Республики Таджикистан сосредоточены большие запасы гидроэнергии, величина которых составляет около половины гидроэнергетических запасов Центральной Азии.

3. В настоящее время в Таджикистане нет промышленного использования потенциала ветровой и солнечной энергии. Тем не менее, особенности климатического расположения данной территории достаточно благоприятны для применения ветровой и солнечной энергии. Обширное использование ветровой и солнечной энергии в Таджикистане позволило бы обеспечить четверть государственного спроса на электроэнергию.

ГЛАВА 2. ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА И СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1 Статистические методы и модели распределений случайной величины

Распределение Вейбулла. Закон распределения Вейбулла является одним из самых популярных и надежных законов распределения, используемых при анализе энергии ветра. Впервые он был предложен В. Вейбуллом для изучения напряжения и усталости в прочности материала [62]. С тех пор он широко используется в ветроэнергетике, уже более полувека, потому что этот закон точно описывает распределение ветра в любом месте.

Современные технологии позволили нам спроектировать много сложных систем, работа которых, возможно, зависит от надежности различных компонентов. Распределение Вейбулла широко использовалось в последнее время для решения таких проблем. Это применимо к проблемам надежности и жизненного тестирования, таким как время до отказа или срок службы компонента, измеренный от определенного времени до его отказа.

Функция плотности распределения вероятности Вейбулла описывается как

$$f(x) = \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k}, \quad k > 0, x > 0, c > 0, \quad (2.1)$$

где k - (безразмерная величина) и c (в м/с) – параметры формы и масштаба соответственно.

Аналогично, интегральная функция распределения Вейбулла может быть определена как

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k}. \quad (2.2)$$

Параметры формы и масштаба Вейбулла являются наиболее важными для расчета, поскольку один из них влияет на математическое ожидание скорости ветра, а другой определяет, насколько искажена кривая распределения. Более высокое значение c указывает на широкий размах распределения ветра, а

большое k означает скошенное вправо распределение, что указывает на высокую вероятность более высоких скоростей ветра.

Единственный главный недостаток распределения Вейбулла состоит в том, что он обеспечивает плохое представление распределения скорости ветра на площадке с очень низкими скоростями ветра [63, 90].

Частный случай распределения Вейбулла, известный как распределение Рэлея с параметром формы k , равным 2, часто рекомендуется и используется производителями ветряных турбин для стандартных показателей производительности [91].

Гамма-распределение. Гамма-распределение является еще одним сильным кандидатом, который широко используется для анализа скорости ветра, особенно для распределения низких скоростей ветра, а также анализа солнечной радиации. Функция плотности гамма-распределения выражается следующим образом [92,93]

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}. \quad (2.3)$$

Интегральная функция распределения выражается как [13]

$$F(x) = \frac{\gamma\left(\alpha, \frac{x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)}, \quad (2.4)$$

где α - параметр формы, β – масштабный коэффициент, а $\Gamma(\alpha)$ - гамма-функция Эйлера. Есть некоторые другие параметризации, которые обычно используются для гамма-распределения [94].

1. Параметр формы k и параметр шкалы β ;
2. Параметр формы $\alpha = k$ и параметр скорости θ , обратный параметру шкалы β ;
3. Параметр формы k и среднее значение $\mu = \frac{k}{\beta}$

Частные случаи гамма-распределения известны как экспоненциальное и хи-квадрат распределение.

Семейство бета-распределений. Семейство бета-распределения, наиболее часто используемое для моделирования неопределенности исследуемой величины относительно неизвестной вероятности некоторого события, определяется как

$$F(x) = \frac{B(g(x, \delta), \alpha, \beta)}{B(\alpha, \beta)}, \quad (2.5)$$

где $B(x, \alpha, \beta) = \int_0^x y^{\alpha-1}(1-y)^{\beta-1}dy$ – неполная бета-функция и $B(\alpha, \beta) = \int_0^1 y^{\alpha-1}(1-y)^{\beta-1}dy$ – полная бета-функция, α, β, δ – параметры, $g(x, \delta)$ – функция, задающая конкретное распределение семейств (непрерывная монотонно возрастает от 0 до 1):

- бета-распределение I-го рода, $g(x) = x, 0 \leq x \leq 1$;
- бета-распределение II-го рода, $g(x) = \frac{x}{1+x}, 0 \leq x \leq +\infty$;
- бета-распределение III-го рода, $g(x) = \frac{\delta x}{1+(\delta-1)x}, 0 \leq x \leq 1$;

В данной работе большее внимание будет уделено бета-распределению, так как получившиеся законы распределения по экспериментальным данным относятся к нему и его семейству.

Бета-распределение является очень общим типом непрерывного распределения вероятностей, которое определяется в интервале от 0 до 1. Бета-распределения основаны на гамма-функциях. Краткое описание этих двух функций приведено по порядку. [95,96]

Бета-функция – это специальная функция, обозначаемая $B(\alpha, \beta)$ и определяемая как

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}dx, \quad \alpha > 0, \beta > 0. \quad (2.6)$$

Гамма-функция

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1}e^{-t}dt \quad (2.7)$$

Связь между бета-функцией и гамма-функцией

$$B(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)}. \quad (2.8)$$

Бета-распределение I рода. Из выражения (2.6) можем получить

$$1 = \int_0^1 \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} dx}{B(\alpha, \beta)} \quad (2.9)$$

Таким образом, функция плотности вероятности бета-распределения с параметрами формы α и β выражается как

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}, \quad 0 < x < 1, \alpha > 0, \beta > 0. \quad (2.10)$$

Тогда интегральная функция распределения равна

$$F(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1} dt, \quad (2.11)$$

$$0 < t < 1, \alpha > 0, \beta > 0,$$

где параметры α и β являются положительными действительными величинами, а переменная x удовлетворяет $0 < x < 1$. Величина $B(\alpha, \beta)$ является бета-функцией. Вышеприведённое уравнение также известно, как классическое бета-распределение.

В результате получаем функцию плотности распределения [97].

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \vee x \geq 1; \\ \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}, & 0 < x < 1. \end{cases} \quad (2.12)$$

А интегральная функция распределения

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ \frac{\delta^\alpha}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1} dt, & 0 \leq x \leq 1; \\ 1, & x > 1. \end{cases} \quad (2.13)$$

Исторически работа над бета-распределениями началась еще в 1676 году, когда Исаак Ньютон написал письмо Генри Олденбергу, которое было дано

Дутка Дж. (1981). В своем письме от 24 октября 1676 года Ньютон выразил $\int_0^x y dx$ как статистический ряд. Частный случай результата был применен к оценке классического бета-распределения. Двухпараметрические классические бета-распределения относятся к знаменитой системе статистических распределений Пирсона, полученной Карлом Пирсоном в 1890-х годах в связи с его работой по эволюции. [98, 99]

Бета-распределение II рода. Бета-распределение второго рода можно получить с помощью преобразования

$$g(x) = \frac{x}{1+x}. \quad (2.14)$$

Уравнение (2.10) дает новое распределение следующим образом

$$\begin{aligned} f(x, \alpha, \beta) &= f(g(x), \alpha, \beta) \cdot |g'(x)| = \\ &= \frac{\left(\frac{x}{1+x}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{x}{1+x}\right)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} \frac{1}{(1+x)^2} = \frac{x^{\alpha-1}}{B(\alpha, \beta)(1+x)^{\alpha+\beta}}. \\ F(x) &= \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x \frac{t^{\alpha-1}}{(1+t)^{\alpha+\beta}} dt, \quad x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0. \end{aligned} \quad (2.15)$$

В результате получаем функцию плотности распределения

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0; \\ \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1 + (\delta - 1)x)^{-(\alpha+\beta)}, & x > 0. \end{cases} \quad (2.16)$$

А интегральная функция распределения

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < 0; \\ \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x \frac{t^{\alpha-1}}{(1+t)^{\alpha+\beta}} dt & x \geq 0. \end{cases} \quad (2.17)$$

Бета-распределение III рода. В статистических распределениях наблюдается большая активность в обобщении классических распределений путем добавления большего количества параметров, чтобы сделать их более гибкими при анализе эмпирических данных. Для достижения этой цели были разработаны различные методы. К таким методам относятся метод

преобразования, генераторный подход, смешение (составление) и использование специальных функций. Термин, обобщенный используемый в этой работе, имеет понятие добавления большего количества параметров к существующему распределению, чтобы дать более универсальное распределение в отличие от хорошо известных существующих обобщенных распределений [100].

Последние разработки сфокусированы на новых методах построения значимых дистрибутивов. Замечательная разработка наблюдается в обобщении классического бета-распределения. Растет интерес к применению этих распределений для анализа эмпирических данных и для многих статистических процедур. Тем не менее, их практическое применение ограничено в важных направлениях, так как они не очень хорошо вписываются в данные. Поэтому основной тенденцией является добавление большего количества параметров, чтобы сделать их более гибкими. В результате этого новое полученное распределение будет соответствовать существующим эмпирическим данным.

В отличие от бета-распределений I и II родов данное распределение зависит от трех параметров. Третий параметр δ задается с помощью

$$g(x, \delta) = \frac{\delta x}{1 + (1 - \delta)x}. \quad (2.18)$$

$$f(x, \alpha, \beta, \delta) = f(g(x, \delta), \alpha, \beta) \cdot |g'_x(x, \delta)| =$$

$$= \frac{\left(\frac{\delta x}{1 + (1 - \delta)x}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{\delta x}{1 + (1 - \delta)x}\right)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} \cdot \frac{\delta}{(1 + (1 - \delta)x)^2} =$$

$$= \frac{\delta^\alpha x^{\alpha-1} (1 - x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)(1 + (\delta - 1)x)^{\alpha+\beta}}, \quad 0 < x < 1, \alpha > 0, \beta > 0, \delta > 0$$

В результате получаем функцию плотности распределения:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \vee x \geq 1; \\ \frac{\delta^\alpha}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1 - x)^{\beta-1} (1 + (\delta - 1)x)^{-(\alpha+\beta)}, & 0 < x < 1. \end{cases} \quad (2.19)$$

А интегральная функция распределения

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ \frac{\delta^\alpha}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} (1+(\delta-1)t)^{-(\alpha+\beta)} dt, & 0 \leq x \leq 1; \\ 1, & x > 1. \end{cases} \quad (2.20)$$

Оценка параметров распределения. Критерий независимости хи-квадрат (также известный как критерий хи-квадрат Пирсона или просто хи-квадрат) является одним из наиболее полезных статистических данных для проверки гипотез, когда переменные являются номинальными, что часто происходит в клинических исследованиях. В отличие от большинства статистических данных хи-квадрат (χ^2) может предоставить информацию не только о значимости любых наблюдаемых различий, но также предоставляет подробную информацию о том, какие именно категории учитывают любые обнаруженные различия. Таким образом, объем и детализация информации, которую может предоставить, эта статистика делает ее одним из наиболее полезных инструментов в массиве доступных инструментов анализа исследователя. Как и в случае любой статистики, существуют требования для ее надлежащего использования, которые называются «допущениями» статистики. Дополнительно χ^2 является тестом значимости, и его всегда следует сочетать с соответствующим тестом на прочность [101,102].

Тест хи-квадрат – это непараметрическая статистика, также называемая тестом без распределения. Статистика критерия χ^2 Пирсона рассчитывается

$$X^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{\left(\frac{n_i}{n} - P_i(\theta)\right)^2}{P_i(\theta)}, \quad (2.21)$$

где n_i – количество наблюдений, которое попало в интервал, n – общее количество всех наблюдений, $P_i(\theta)$ – вероятность попадания наблюдения в i -й интервал.

В результате проверки по критерию хи-квадрата получим значение уровня значимости (P). Уровень значимости показывает, значим ли результат проверки или нет. В ходе проверки всех случайных величин уровень значимости был принят $P > 0,1$.

Операция смешивания. В теории вероятностей и статистике смешанное распределение — это случайная величина, которая получается из набора других случайных величин следующим образом: сначала из ряда случайным образом выбирается случайная величина в соответствии с заданной вероятностью выборки, а затем значение случайной величины выбранной переменной реализовано. Исходные случайные величины могут быть реальными случайными числами или случайными векторами (каждый из которых имеет одинаковый размер), и в этом случае смешанное распределение является многомерным распределением.

Когда каждая из истинных независимых переменных непрерывна, выходная переменная также будет непрерывной, и ее функцию плотности вероятности иногда называют плотностью смеси. Полная функция распределения (и функция плотности вероятности, если она существует) может быть выражена как сумма (то есть сумма с неотрицательными весами, равными единице) других функций распределения и функций плотности. Отдельные распределения, которые суммируются для формирования распределения смеси, называются компонентами смеси, а вероятности (или веса), связанные с каждым компонентом, называются общими весами. Количество компонентов в смешанном развертывании иногда ограничено, хотя в других случаях количество компонентов может быть неограниченным [103].

Следует различать случайную величину, функция распределения или плотность которой представляет собой набор компонентов (т.е. смешанное распределение), и случайную величину, значение которой представляет собой сумму двух или более значений. Например, любые две случайно распределенные случайные величины, каждая из которых имеет разные средние значения, также имеют определенное распределение. С другой стороны, смешанная плотность,

построенная как смесь двух нормальных распределений с разными средними значениями, будет иметь два пика при условии, что два средних значения достаточно далеки друг от друга, что указывает на то, что распределение полностью отличается от нормального распределения.

Смешанные распределения встречаются во многих контекстах в литературе и естественным образом возникают, когда статистическая совокупность содержит два или более подмножества. Они также иногда используются в качестве причины для представления аномальных распределений [103-106].

Смеси в пределах параметрического семейства. Смешанные компоненты часто не являются произвольными распределениями вероятностей, а вместо этого являются членами параметрического семейства (например, нормального распределения), которые имеют разные значения параметра или параметров. В таких случаях, если он существует, его плотность может быть записана в виде суммы

$$f(x, \alpha_1, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n w_i p(x, \alpha_i) \quad (2.22)$$

для одного параметра или

$$f(x, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \beta_1, \dots, \beta_n) = \sum_{i=1}^n w_i p(x, \alpha_i, \beta_i) \quad (2.23)$$

для двух параметров и более.

В работе будем использовать смесь двух бета-распределений III рода

$$\begin{aligned} f(x, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2) = \\ = w_1 \cdot f(x, \alpha_1, \beta_1, \delta_1) + w_2 \cdot f(x, \alpha_2, \beta_2, \delta_2). \end{aligned} \quad (2.24)$$

где w_1, w_2 – параметры смеси, $w_1 + w_2 = 1$.

Программа статистического анализа. Для определения законов распределения была использована программа «Статистический анализ интервальных наблюдений одномерных непрерывных случайных величин версия. Версия 4.4.1.105», разработанная на кафедре прикладной математики НГТУ Лемешко Б.Ю. и Постоваловым С.Н. Часть перечня стандартных законов

распределения, которые реализованы в программе, приведены в таблице 2.1. В ней даны идентификаторы распределений, синонимы идентификаторов, название распределения и число параметров, определяющих его форму (вид), за исключением параметра масштаба и сдвига [107].

Таблица 2.1. – Законы распределений, встроенных в программу

Идентификатор	Синоним	Название распределения	Число параметров
D9	NORM	Нормальное	0
D14	VEI	Вейбулла	1
D19	GAMMA	Гамма	1
D20	BETA_I	Бета I рода	2
D21	BETA_II	Бета II рода	2
D22	BETA_III	Бета III рода	3

2.2. Расчёт распределения скорости ветра

Характеристика ветрового ресурса на любом участке требует детального понимания точной доступности ветра из-за его переменной природы. Следовательно, кроме среднемесячной или годовой средней скорости ветра, другим важным фактором при анализе ветрового потенциала участка является распределение скорости ветра. Например, если два участка имеют одинаковую среднегодовую скорость ветра, неизвестно, будут ли они производить одинаковую годовую энергию. Чтобы понять изменение скорости ветра на участке, требуется функция вероятности $f(v)$, которая может точно предсказать распределение скорости ветра на любом участке [108, 109]. Скорости ветра должны быть распределены по группам с использованием интервалов определенного размера, чтобы представить функцию плотности вероятности и интегральную функцию распределения. При оптимизации конструкции ветроэнергетической системы очень важно описать изменение ветра с использованием функции плотности или любой другой статистической функции.

Многочисленные тематические исследования, представленные в литературе, включили в короткий список эмпирические распределения Вейбулла, Рэлея, гамма- и логнормального распределения, которые довольно точно описывают изменения скорости ветра в любом месте [110].

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 источника [110]. Скорость ветра была записана как среднее значение скорости ветра за часовой интервал. Объем выборки составил 8760 точек.

В результате подбора функции распределения наиболее приближенной оказалась смесь двух бета-распределений III рода (рис. 2.1 – 2.2) с плотностью:

$$\{0,45 \times \text{Бe-III}(0,944; 6,091; 1,766; 10; 0)\}, \{0,55 \times \text{Бe-III}(7,435; 7,291; 3,124; 10; 0)\},$$

где {параметр смеси бета-распределение III рода (параметр формы α ; параметр формы β ; параметр формы δ ; параметр масштаба; параметр сдвига)} – функция плотности распределения.

$$f(v) = 0,45 \cdot f_1(v) + 0,55 \cdot f_2(v). \quad (2.25)$$

В $f_1(v)$ параметры $\alpha = 0,944, \beta = 6,091, \delta = 1,766, q = 10$.

В $f_2(v)$ параметры $\alpha = 7,435, \beta = 7,291, \delta = 3,124, q = 10$.

Здесь $f_i(x)$ бета-распределение III рода с плотностью

$$f(v) = \frac{\delta^\alpha}{B(\alpha, \beta)} \left(\frac{v}{q}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{v}{q}\right)^{\beta-1} \left(1 + (\delta - 1)\frac{v}{q}\right)^{-(\alpha+\beta)}, \quad (2.26)$$

где q – параметр масштаба.

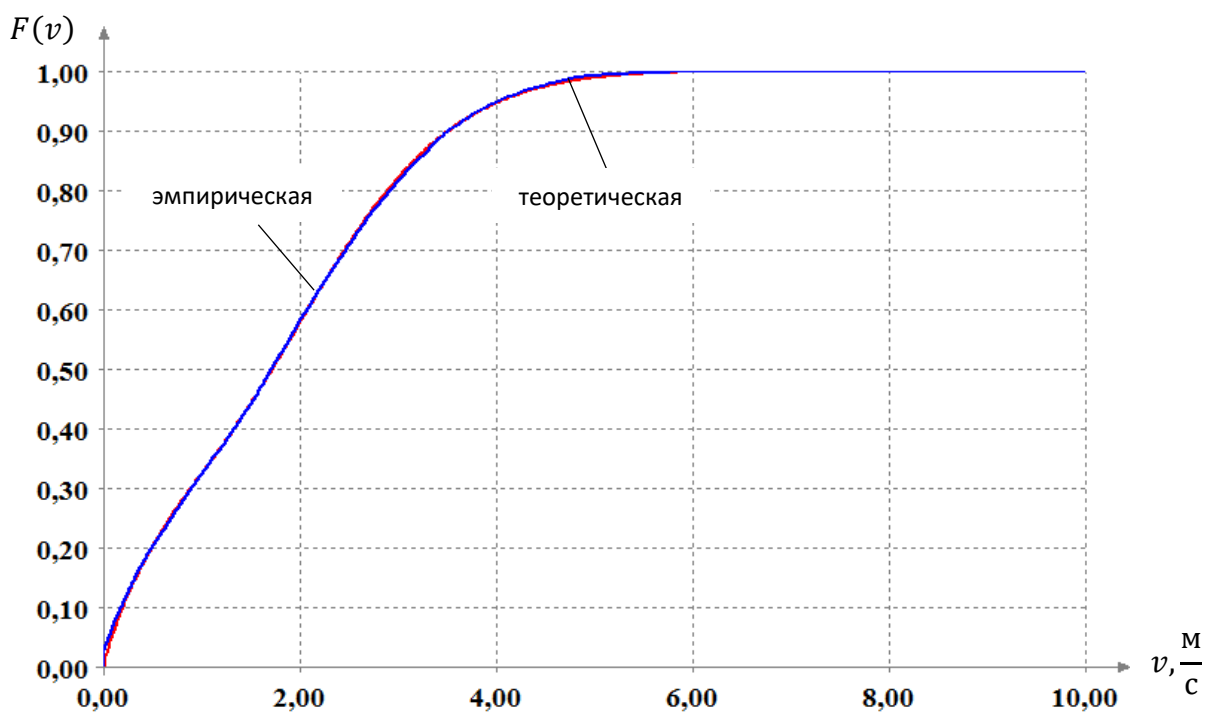


Рисунок 2.1 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения скорости ветра за 2021 год в Мургабском районе

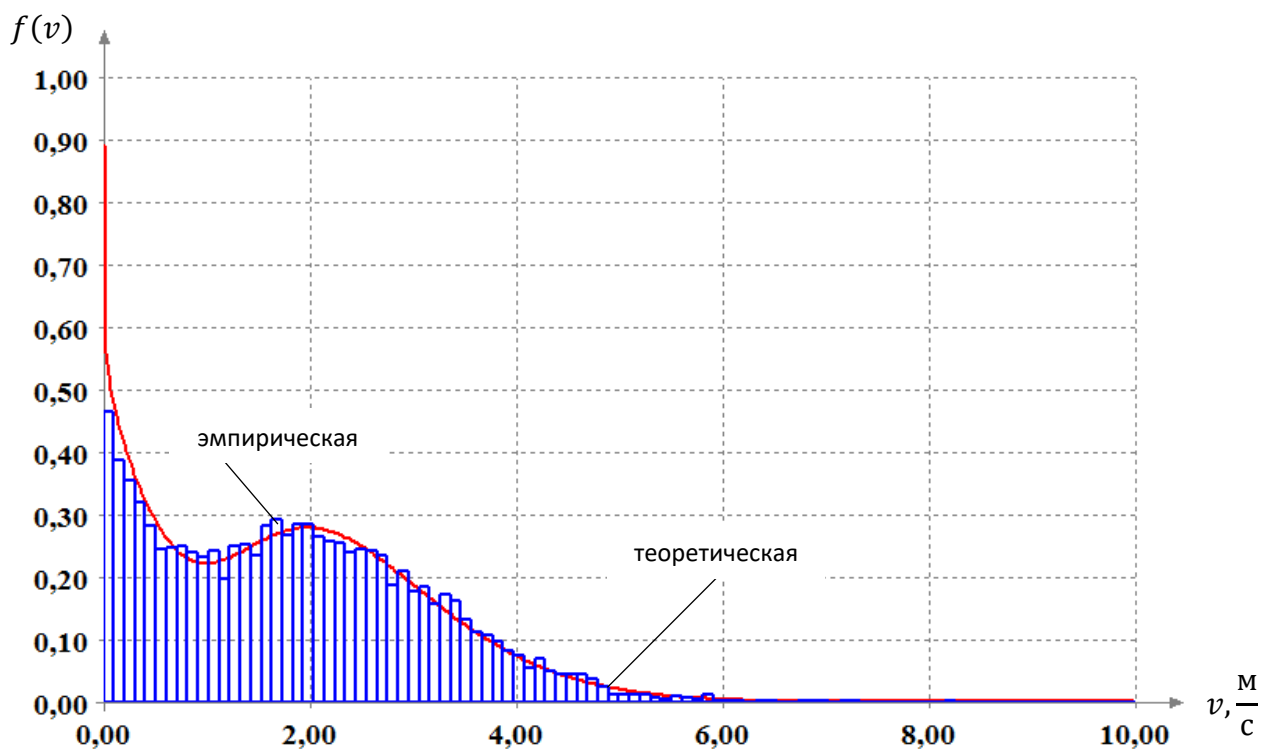


Рисунок 2.2 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения скорости ветра за 2021 год в Мургабском районе

Аналогичным образом были подобраны распределения для каждого месяца 2021 года.

Данные графики и функции плотности приведены далее (в таб. 2.2.).

Таблица 2.2. – Теоретическая функция и плотность распределения скорости ветра для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе

Месяцы	$\frac{F(v)}{f(v)}$	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
		Теоретическая функция распределения скорости ветра $F(v)$, Теоретическая плотность распределения скорости ветра $f(v)$	Февраль	0,58	0,95	1,00	1,00
0,27	0,10			0,011	0,00	0,00	,00
Март	0,52		0,91	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,25		0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
Апрель	0,42		0,82	0,99	1,00	1,00	1,00
	0,21		0,17	0,02	0,00	0,00	0,00
Май	0,44		0,91	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,28		0,12	0,02	0,01	0,00	0,00
Июнь	0,32		0,91	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,28		0,22	0,02	0,00	0,00	0,00
Июль	0,61		0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,32		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Август	0,65		0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,25		0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Сентябрь	0,76		0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,29		0,01	0,10	0,00	0,00	0,00
Октябрь	0,69		0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,30		0,04	0,01	0,10	0,00	0,00
Ноябрь	0,68		0,97	0,99	1,00	1,00	1,00
	0,26		0,04	0,01	0,01	0,00	0,00
Декабрь	0,64		0,96	0,99	1,00	1,00	1,00
	0,24		0,09	0,01	0,01	0,00	0,00

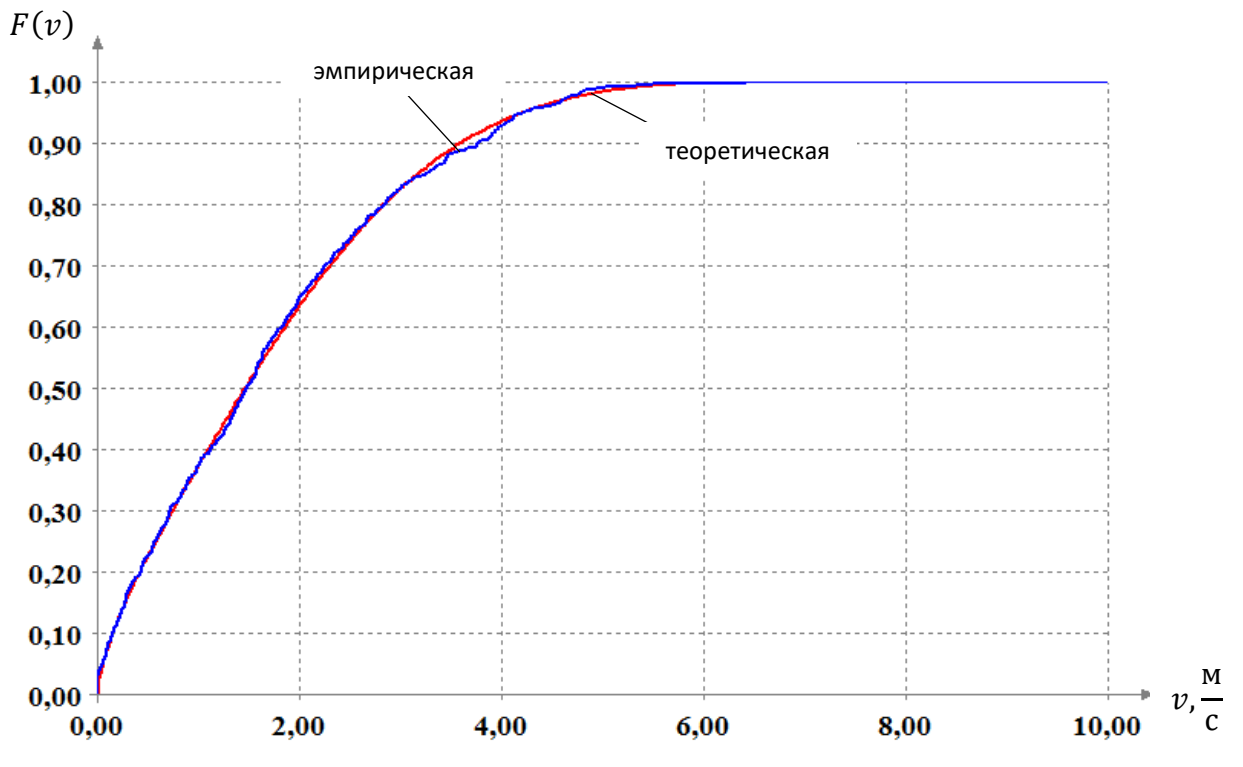


Рисунок 2.3 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения скорости ветра за январь 2021 года в Мургабском районе

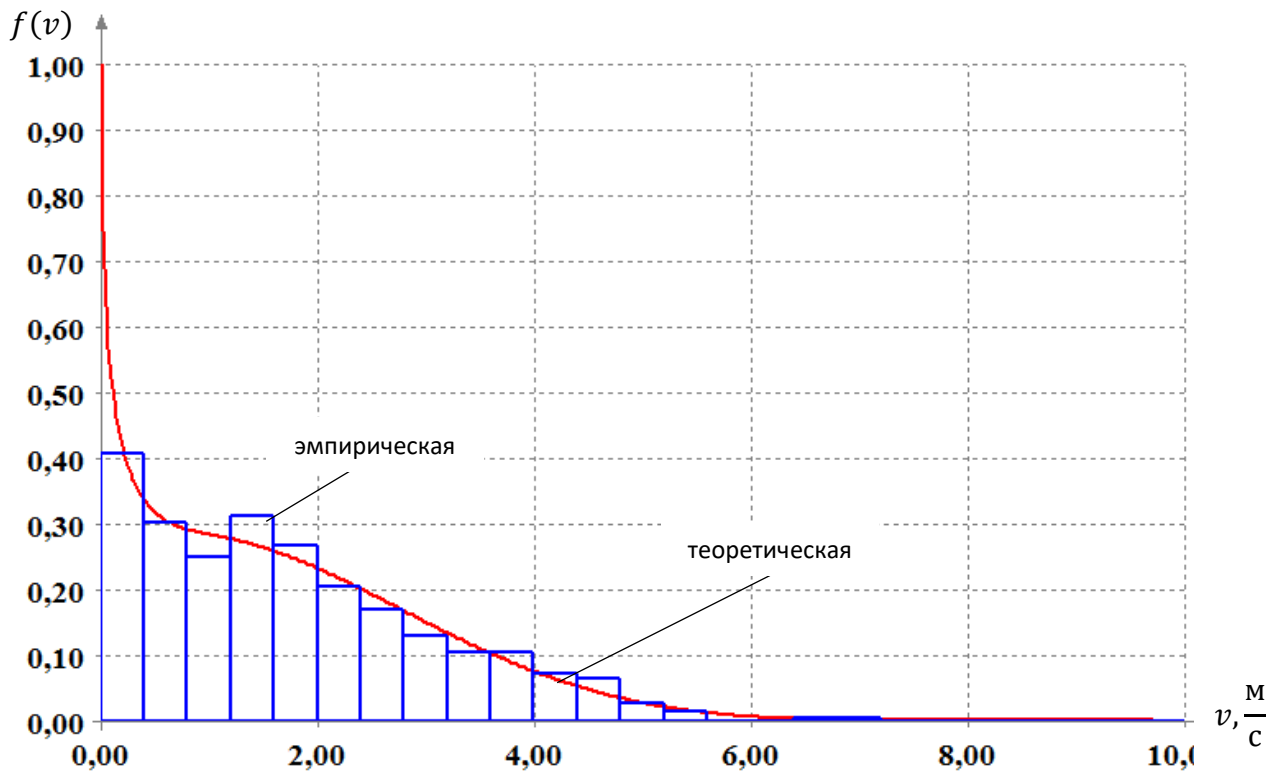


Рисунок 2.4 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения скорости ветра за январь 2021 года в Мургабском районе

2.3 Расчёт распределения солнечной радиации

Знание климата солнечного излучения в области имеет первостепенное значение при оценке потенциального использования солнечной энергии, преобразованной в тепловую или электрическую энергию, в качестве источника. Такая информация является предпосылкой для разработки системы преобразования солнечной энергии.

Мобилизация необходимых национальных финансовых ресурсов для планирования и разработки местных ресурсов солнечной энергии зависит от наличия данных о солнечной радиации, которые могут быть использованы для оценки имеющихся ресурсов и оценки вероятных долгосрочных характеристик систем и, следовательно, их экономической жизнеспособности. Данные о солнечном излучении должны измеряться непрерывно и точно в течение длительного периода времени для целей технико-экономического обоснования и создания систем, работающих на солнечной энергии. К сожалению, в большинстве районов мира измерения солнечной радиации нелегко получить из-за финансовых, технических и институциональных ограничений [111].

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 [112].

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.

Данные по солнечному излучению за 2021 год были также взяты из источника [41, 110]. Для анализа были взяты данные, усредненные за каждый час, и рассматриваются в интервале времени с 6:00 по 19:00 местного времени, так как в ночное время солнце заходит за горизонт и не светит. Объем выборки составил 5110 точек. В результате подбора функции распределения наиболее приближенной оказалось бета-распределение III рода (рис. 2.5 – 2.6), параметры которой равны: $\alpha = 0,354, \beta = 7,035, \delta = 0,045, q = 10$.

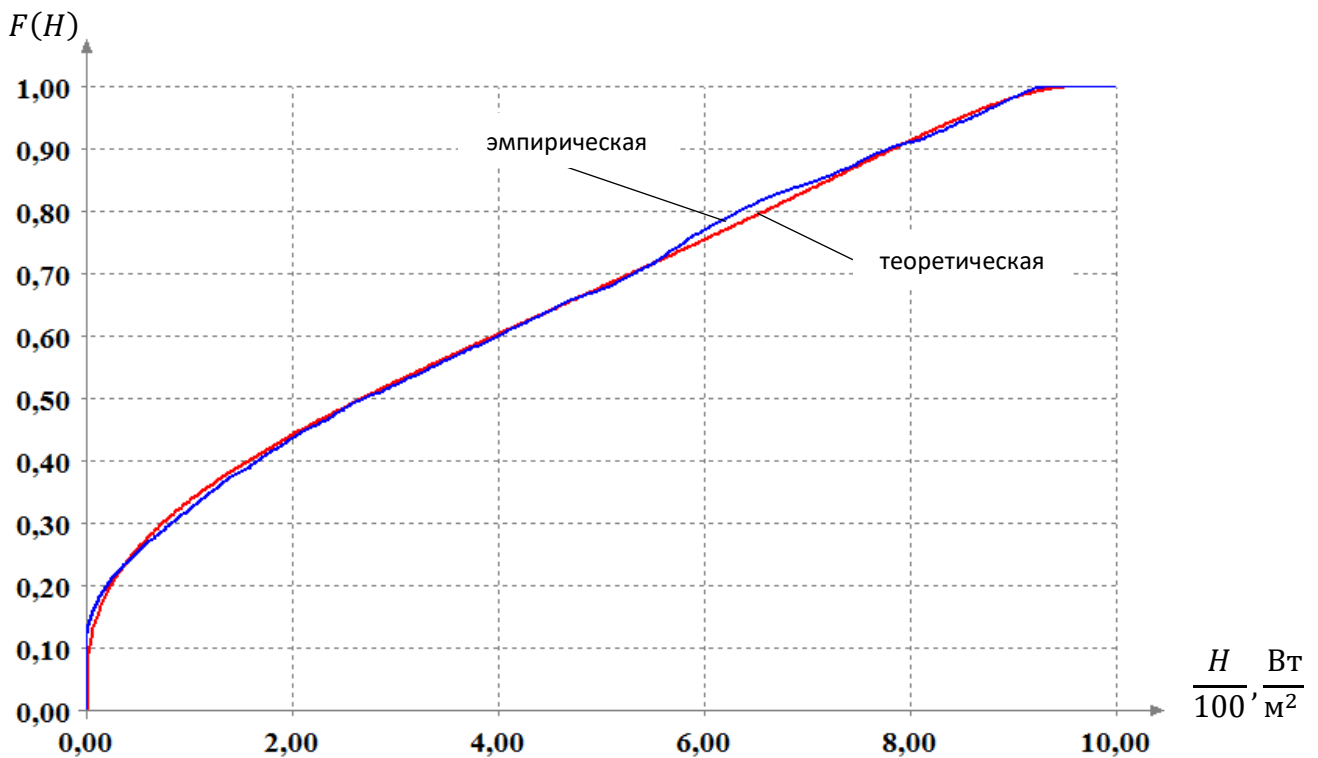


Рисунок 2.5 – Эмпирическая и теоретическая функции плотности потока солнечного излучения за 2021 год в Мургабском районе

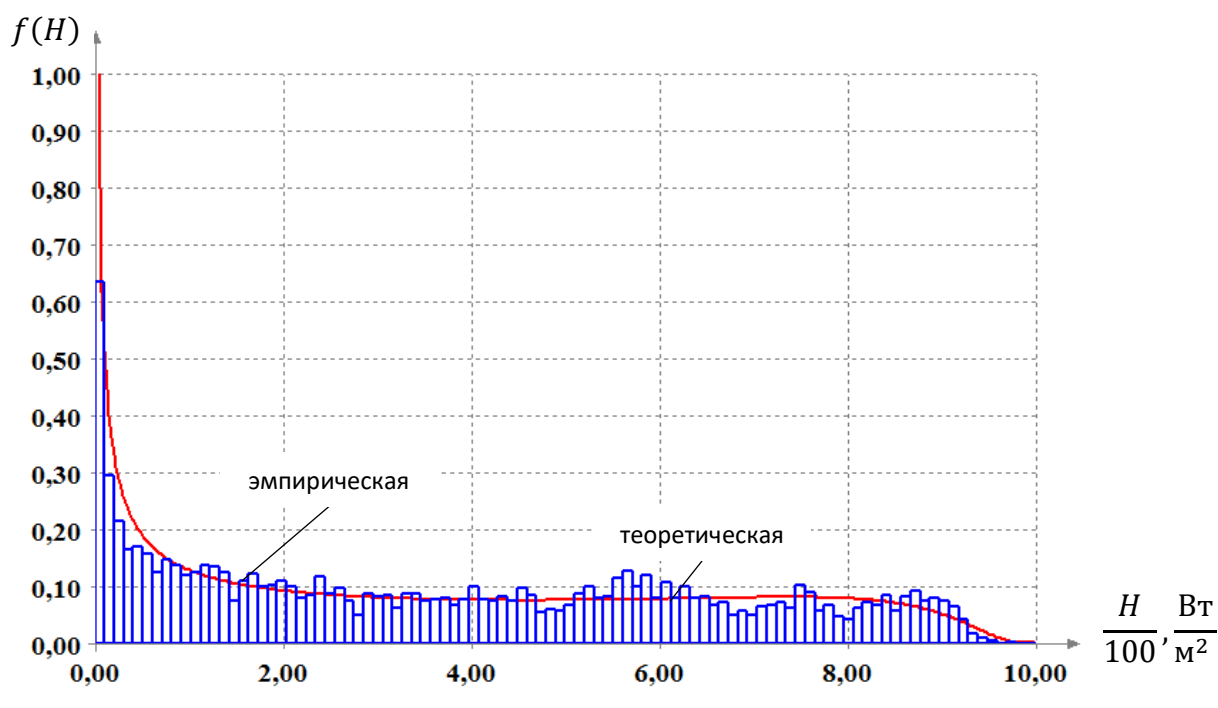


Рисунок 2.6 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения плотности потока солнечного излучения за 2021 год в Мургабском районе

Аналогичным образом были подобраны распределения для каждого месяца 2021 года.

Данные графики и функции плотности приведены в (Табл. 2.3.).

Таблица 2.3. – Теоретическая функция и плотность потока солнечного излучения для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе

Месяц	$\frac{H}{100}, \frac{Вт}{м^2}$	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
Февраль	Теоретическая функция потока солнечного излучения $F(H)$, Теоретическая плотность потока солнечного излучения $f(H)$	0,56	0,73	0,87	0,99	1,00	1,00
		0,09	0,08	0,09	0,01	0,00	0,00
Март		0,42	0,59	0,74	0,94	1,00	1,00
		0,08	0,09	0,09	0,11	0,00	0,00
Апрель		0,35	0,50	0,66	0,83	1,00	1,00
		0,07	0,08	0,009	0,11	0,00	0,00
Май		0,29	0,43	0,59	0,80	1,00	1,00
		0,07	0,08	0,09	0,12	0,00	0,00
Июнь		0,24	0,38	0,57	0,79	1,00	1,00
		0,07	0,08	0,10	0,14	0,00	0,00
Июль		0,27	0,41	0,60	0,81	1,00	1,00
		0,08	0,09	0,10	0,13	0,00	0,00
Август	0,34	0,50	0,65	0,82	1,00	1,00	
	0,08	0,08	0,09	0,14	0,00	0,00	
Сентябрь	0,47	0,65	0,82	0,97	1,00	1,00	
	0,11	0,09	0,08	0,06	0,00	0,00	

		Продолжение таблицы 2.3.					
Октябрь		0,60	0,76	0,90	0,99	1,00	1,00
		0,10	0,09	0,08	0,01	0,00	0,00
Ноябрь		0,53	0,71	0,92	1,00	1,00	1,00
		0,09	0,09	0,13	0,00	0,00	0,00
Декабрь		0,67	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00
		0,09	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00

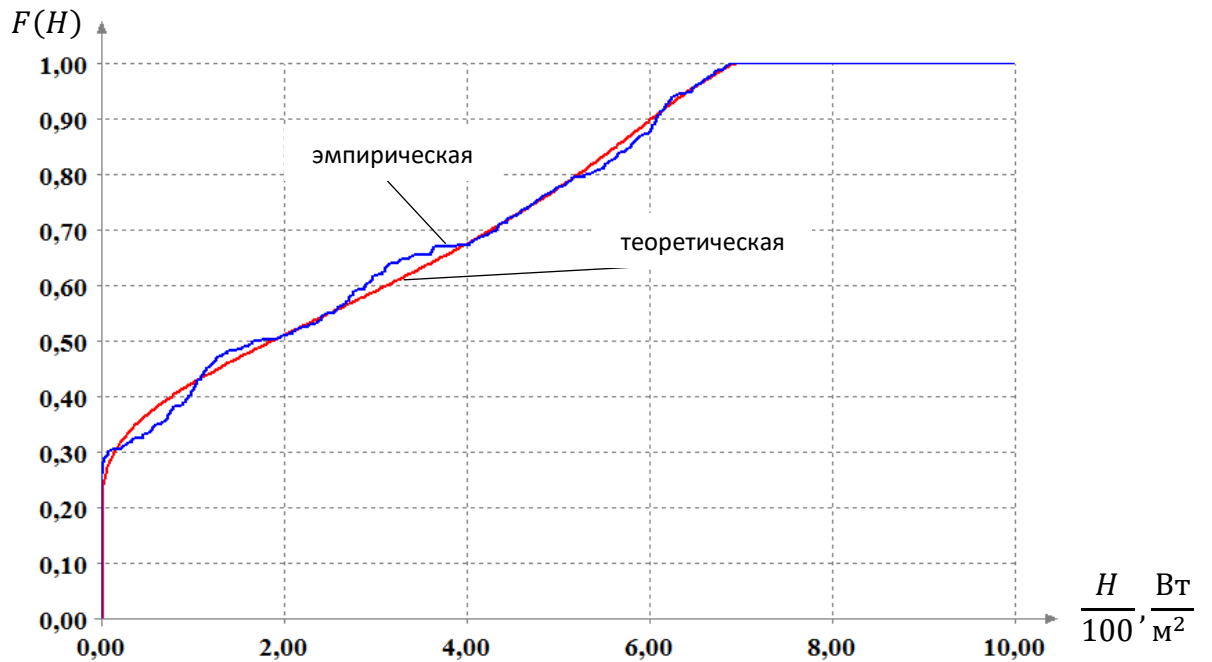


Рисунок 2.7 – Эмпирическая и теоретическая функции плотности потока солнечного излучения за январь 2021 года в Мургабском районе

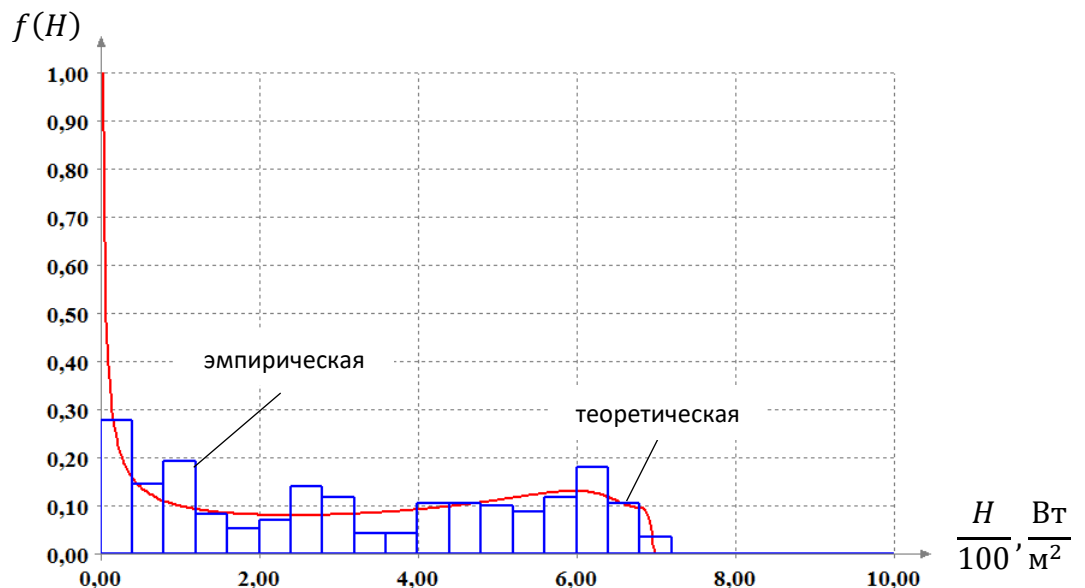


Рисунок 2.8 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения плотности потока солнечного излучения за январь 2021 года в Мургабском районе

2.4. Анализ законов распределения мощности ветровой и солнечной энергетики

Рассмотрим распределение мощности ветроустановки. Для этого возьмем 10 шт. ветроустановки мощностью каждая по 50 кВт, паспортные данные которых приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Паспортные данные ВЭУ марки Vestas

Номинальная мощность, P	50 кВт
Ометаемая площадь, A	38,465 м ²
Стартовая скорость ветра	3 м/с
Номинальная скорость ветра	12 м/с
Высота мачты	30 м

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot C_p \cdot A \cdot v^3 \quad (2.27)$$

где

ρ – плотность потока воздуха (кг/м³), которая с изменением температуры и давления воздуха также изменяется;

A – площадь, омываемая лопастями;

V – скорость ветра;

C_p – коэффициент, описывающий эффективность ветряной энергоустановки.

Омываемая поверхность лопастей определяется как

$$A = \pi R^2, \quad (3.2)$$

где R – радиус колеса ветряка, м.

$$V_c(h_1) = V_m(h_2) \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^m, \quad (2.28)$$

где V_c – скорость ветра на уровне оси ступицы ротора (м/с);

V_m – скорость ветра на уровне метеомачты (м/с);

H – высота оси ступицы ротора ВЭУ (для данного типа установки она равна 100 м);

H_m – высота мачты (30 метров);

m – коэффициент сезонности изменяется по временам года: зима – 0,17, весна – 0,12, лето – 0,17, среднегодовая – 0,153.

Замоделируем вырабатываемую мощность ветроустановки с помощью данных по скорости ветра, учитывая некоторые условия:

- измеренную скорость ветра необходимо привести к скорости ветра на высоте оси ветротурбины, используя формулу (2.28);

- ось ветротурбин всегда направлена параллельно направлению ветра;

- ветрогенератор начинает вырабатывать электроэнергию при скорости ветра 4 м/с на высоте 30 м (исходя из паспортных данных);

- скорости ветра, лежащие между скоростью включения и номинальной скоростью, переводим в мощность с помощью выражения (2.27),

- ветрогенератор не может вырабатывать мощность больше номинальной, поэтому при всех скоростях ветра больше номинальной ветроустановка вырабатывает только номинальную мощность;

- сверхвысокие скорости ветра, которые больше 25 м/с, не рассматриваются;

- рассматривается только установившийся режим, переходные режимы пренебрегаются.

После ряда преобразований полученные значения мощности ВЭУ проанализируем, используя программу по статистическому анализу интервальных наблюдений одномерных непрерывных случайных величин [112-114]. В результате подбора закона распределения, наиболее лучшим оказалась смесь двух бета-распределений III рода с функцией плотности равной:

$$f(P) = 0,39 \cdot f_1(P) + 0,61 \cdot f_2(P).$$

В $f_1(P)$ параметры $\alpha = 0,025, \beta = 1,832, \delta = 1,18, q = 20$, а в $f_2(P)$ параметры $\alpha = 0,721, \beta = 2,338, \delta = 1,672, q = 20$, где $f_i(x)$ бета-распределение III рода (рис. 2.9 – 2.10) с плотностью:

$$f(P) = \frac{\delta^\alpha}{B(\alpha, \beta)} \left(\frac{P}{q}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{P}{q}\right)^{\beta-1} \left(1 + (\delta - 1)\frac{P}{q}\right)^{-(\alpha+\beta)}, \quad (2.29)$$

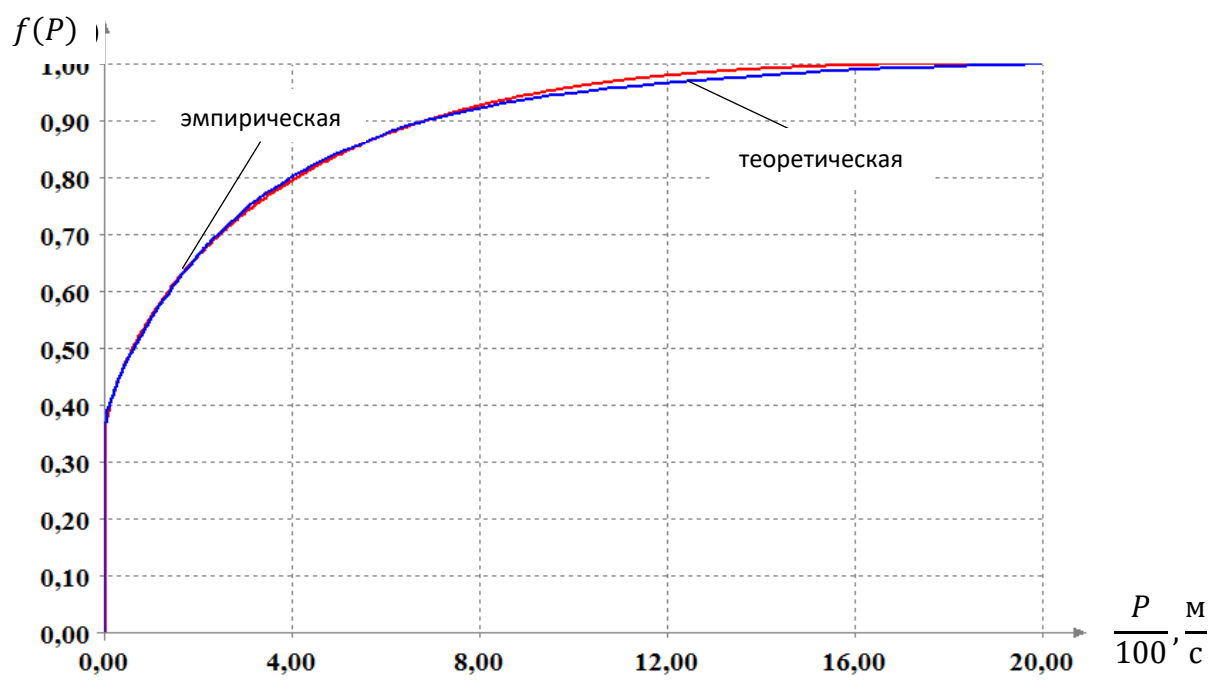


Рисунок 2.9 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения мощности ВЭУ за 2021 год в Мургабском районе

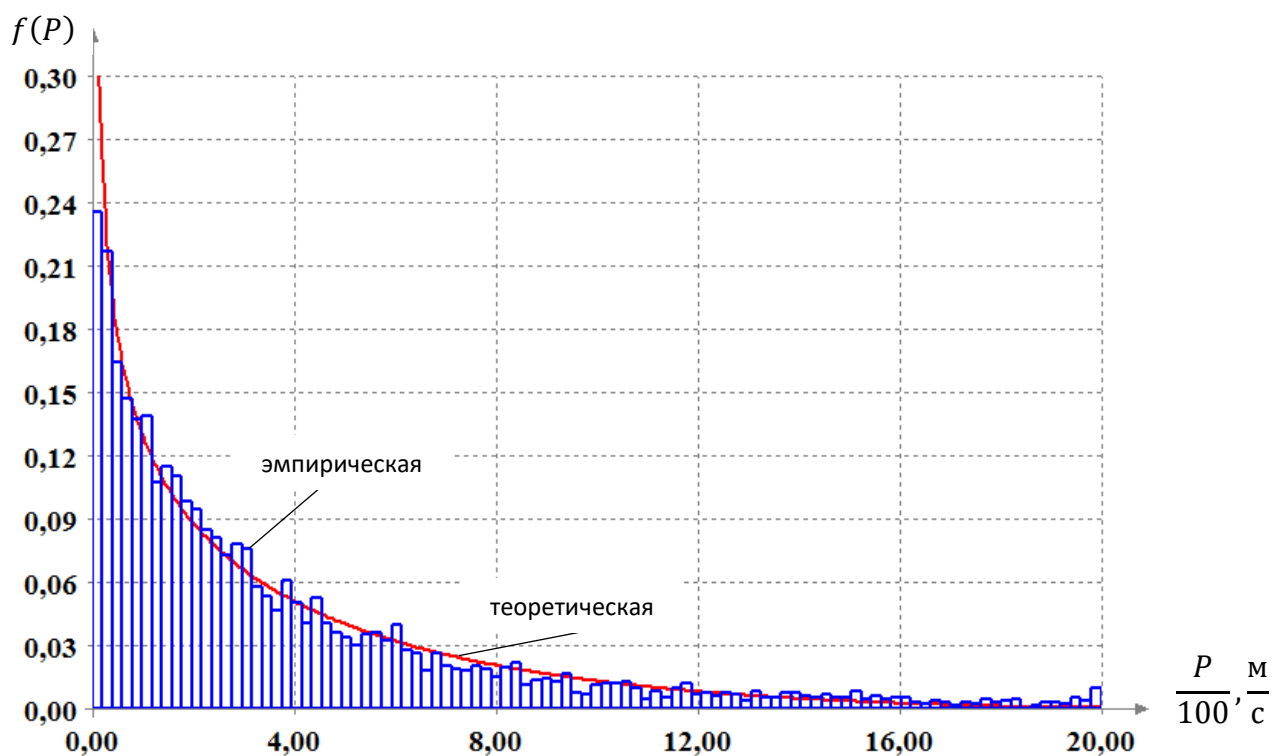


Рисунок 2.10 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения мощности ВЭУ за 2021 год в Мургабском районе

Аналогичным образом проанализируем и подберём законы распределения для каждого месяца, которые приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. – Теоретическая функция и плотность распределения мощности ФИЭ для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе

Месяцы	$\frac{F(P)}{f(P)}$	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
Февраль	Теоретическая функция распределения мощности ФИЭ $F(P)$, Теоретическая плотность распределения мощности ФИЭ $f(P)$	0,78	0,92	0,97	0,99	1,00	1,00
		0,059	0,027	0,012	0,009	0,000	0,000
Март		0,74	0,86	0,94	0,97	1,00	1,00
		0,05	0,027	0,017	0,013	0,013	0,013
Апрель		0,63	0,77	0,87	0,94	1,00	1,00
		0,059	0,03	0,021	0,015	0,035	0,035
Май		0,70	0,86	0,94	0,98	1,00	1,00
		0,065	0,026	0,015	0,012	0,01	0,01
Июнь		0,59	0,85	0,95	0,99	1,00	1,00
		0,08	0,045	0,016	0,012	0,006	0,000
Июль		0,91	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00
		0,058	0,012	0,008	0,001	0,000	0,000
Август	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	
	0,058	0,013	0,009	0,002	0,00	0,000	
Сентябрь	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	
	0,027	0,02	0,01	0,000	0,00	0,00	
Октябрь	0,89	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	
	0,045	0,021	0,017	0,012	0,001	0,00	
Ноябрь	0,90	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	
	0,040	0,02	0,012	0,005	0,00	0,00	
Декабрь	0,82	0,94	0,97	0,99	1,00	1,00	
	0,04	0,014	0,012	0,01	0,01	0,01	

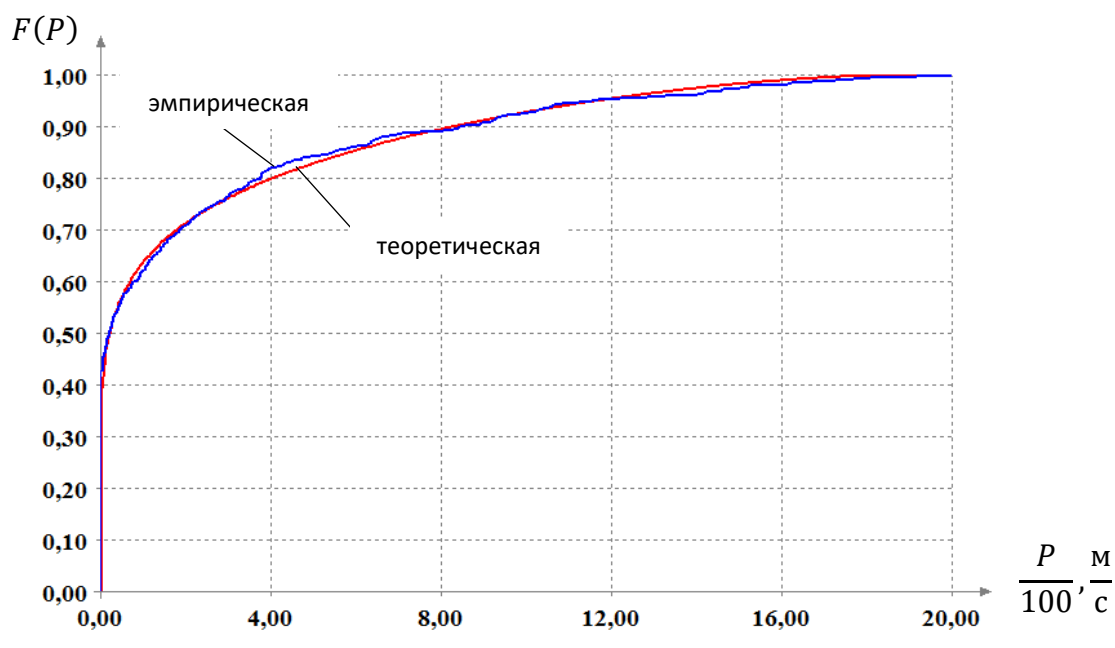


Рисунок 2.11 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения мощности ВЭУ за январь 2021 года в Мургабском районе

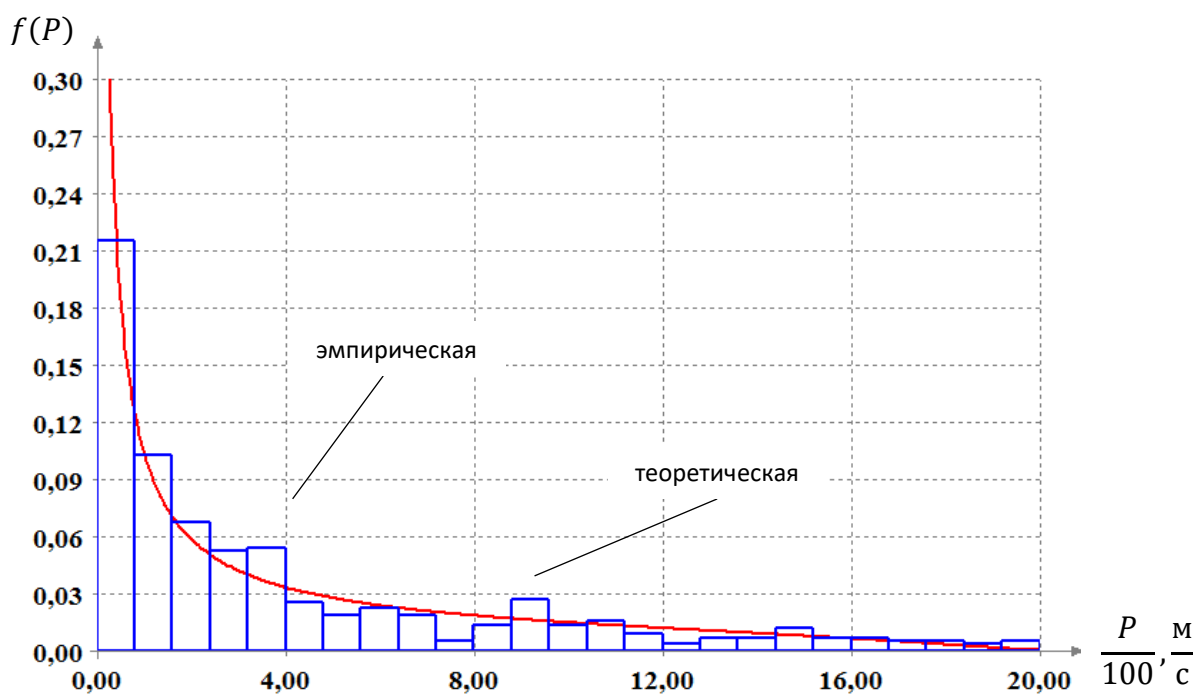


Рисунок 2.12 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения мощности ВЭУ за январь 2021 года в Мургабском районе

Также приведём солнечное излучение к электрической мощности с помощью формулы:

$$P_{\text{ЭЛВЫХ}} = n \cdot \eta \cdot P_{\text{ПОГЛ}} \cdot S, \quad (2.30)$$

где n – количество солнечных модулей, η – КПД модуля, $P_{\text{погл}}$ – солнечное излучение, S – площадь рабочей поверхности солнечного модуля. Приведем выработку мощности к 220 кВт, взяв 6780 солнечных модулей марки ЖКМ200М с мощностью 200 Вт, паспортные данные которых приведены в таблице 2.6.[115].

Таблица 2.6 – Паспортные данные солнечного модуля марки ЖКМ200М

Максимальная мощность (STC)	200 Вт
КПД модуля STC	18,02 %
Габариты	1650×992×40 мм

Также необходимо условиться, что:

- плоскость каждой фотоэлектрической панели перпендикулярна падающим солнечным лучам на всем промежутке дневного времени;
- температура солнечного модуля не учитывается;
- не учитывается неравномерная облачность;
- скорость ветра не влияет на работу солнечного модуля.

В результате подбора закона распределения наиболее лучшей оказалась смесь двух бета-распределений III рода (рис. 2.13 – 2.14) с функцией плотности равной:

$$f(P) = 0,59 \cdot f_1(P) + 0,41 \cdot f_2(P).$$

В $f_1(P)$ параметры $\alpha = 1,218, \beta = 1,155, \delta = 1, q = 18,94$, а в $f_2(P)$ параметры $\alpha = 0,219, \beta = 1,605, \delta = 0,901, q = 18,94$.

Аналогичным образом проанализируем и подберём законы распределения для каждого месяца, приведенные в таблице 2.7.

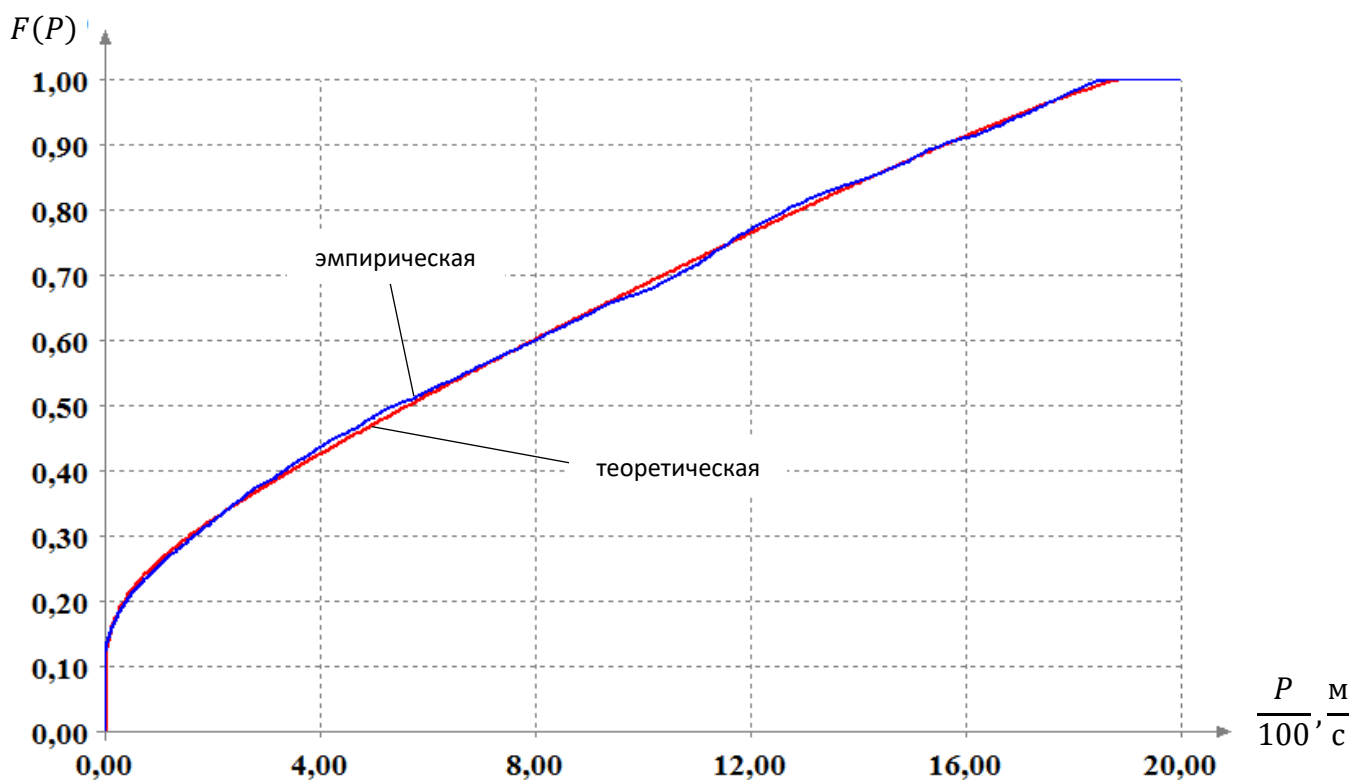


Рисунок 2.13 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения мощности ФЭП за 2021 год в Мургабском районе

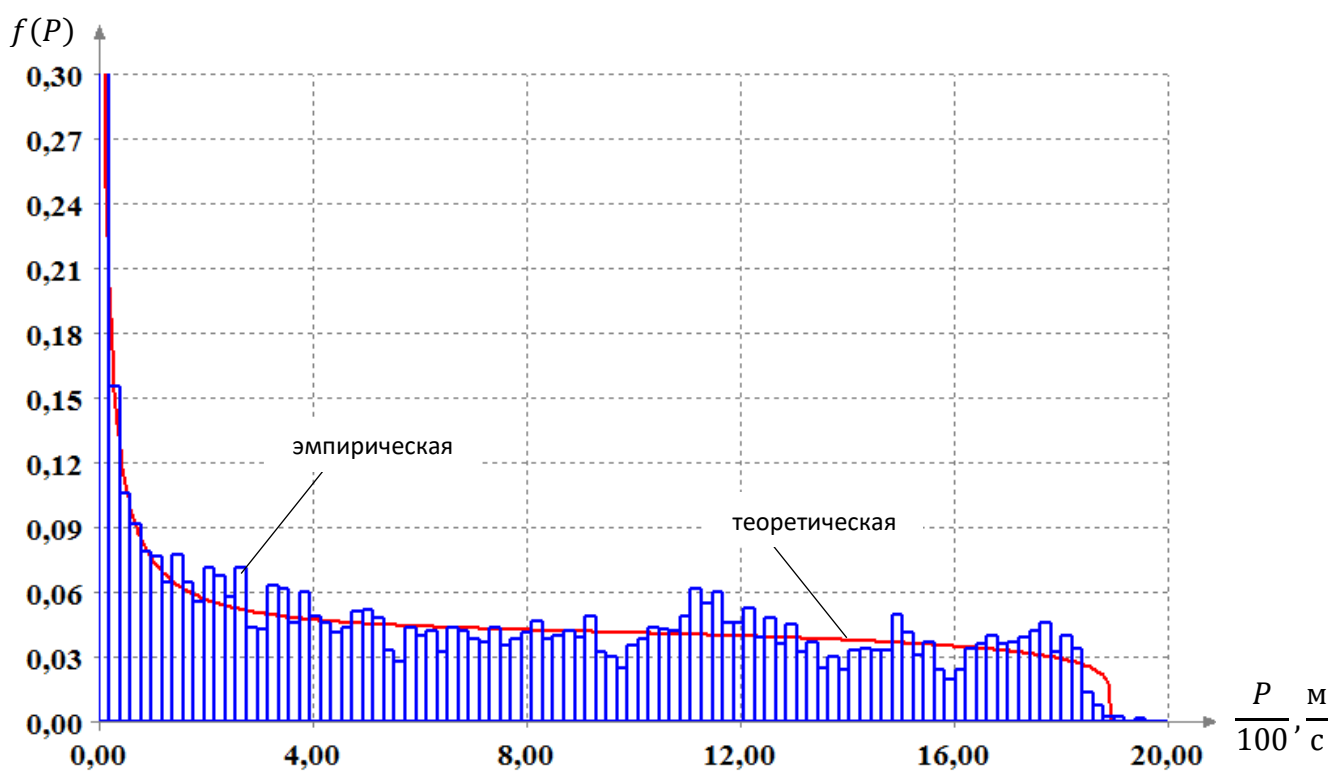


Рисунок 2.14 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения мощности ФЭП за 2021 год в Мургабском районе

Аналогичным образом проанализируем и подберём законы распределения для каждого месяца, приведенные в таблице 2.7.

Таблица 2.7. – Теоретическая функция и плотность распределения мощности ФЭП для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе

Месяцы	$\frac{F(P)}{f(P)}$	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
Февраль	Теоретическая функция распределения мощности ФЭП $F(P)$, Теоретическая плотность распределения мощности ФЭП $f(P)$	0,55	0,74	0,87	0,99	1,00	1,00
		0,055	0,045	0,04	0,02	0,00	0,00
Март		0,40	0,59	0,74	0,93	1,00	1,00
		0,050	0,043	0,043	0,057	0,00	0,00
Апрель		0,35	0,50	0,65	0,81	1,00	1,00
		0,055	0,041	0,041	0,045	0,00	0,00
Май		0,29	0,44	0,60	0,80	1,00	1,00
		0,045	0,042	0,045	0,058	0,00	0,00
Июнь		0,23	0,39	0,56	0,78	1,00	1,00
		0,044	0,042	0,047	0,069	0,00	0,00
Июль		0,27	0,41	0,60	0,80	1,00	1,00
		0,04	0,041	0,046	0,06	0,000	0,000
Август	0,33	0,48	0,63	0,83	1,00	1,00	
	0,04	0,041	0,046	0,06	0,00	0,00	
Сентябрь	0,46	0,66	0,82	0,97	1,00	1,00	
	0,058	0,045	0,042	0,03	0,00	0,00	
Октябрь	0,60	0,75	0,90	1,00	1,00	1,00	
	0,05	0,025	0,02	0,001	0,00	0,000	
Ноябрь	0,53	0,71	0,93	1,00	1,00	1,00	
	0,050	0,052	0,056	0,000	0,000	0,000	
Декабрь	0,64	0,82	0,99	1,00	1,00	1,00	
	0,056	0,045	0,050	0,00	0,00	0,000	

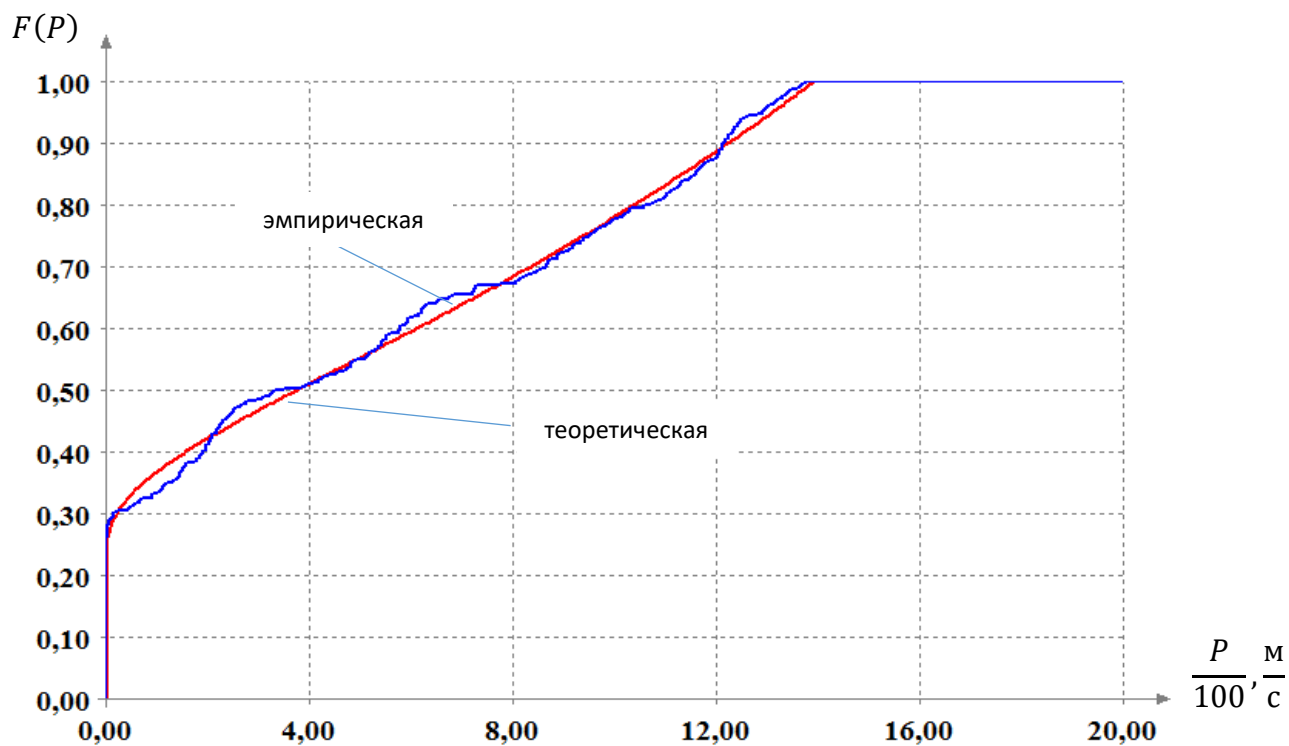


Рисунок 2.15 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения мощности ФЭП за январь 2021 года в Мургабском районе

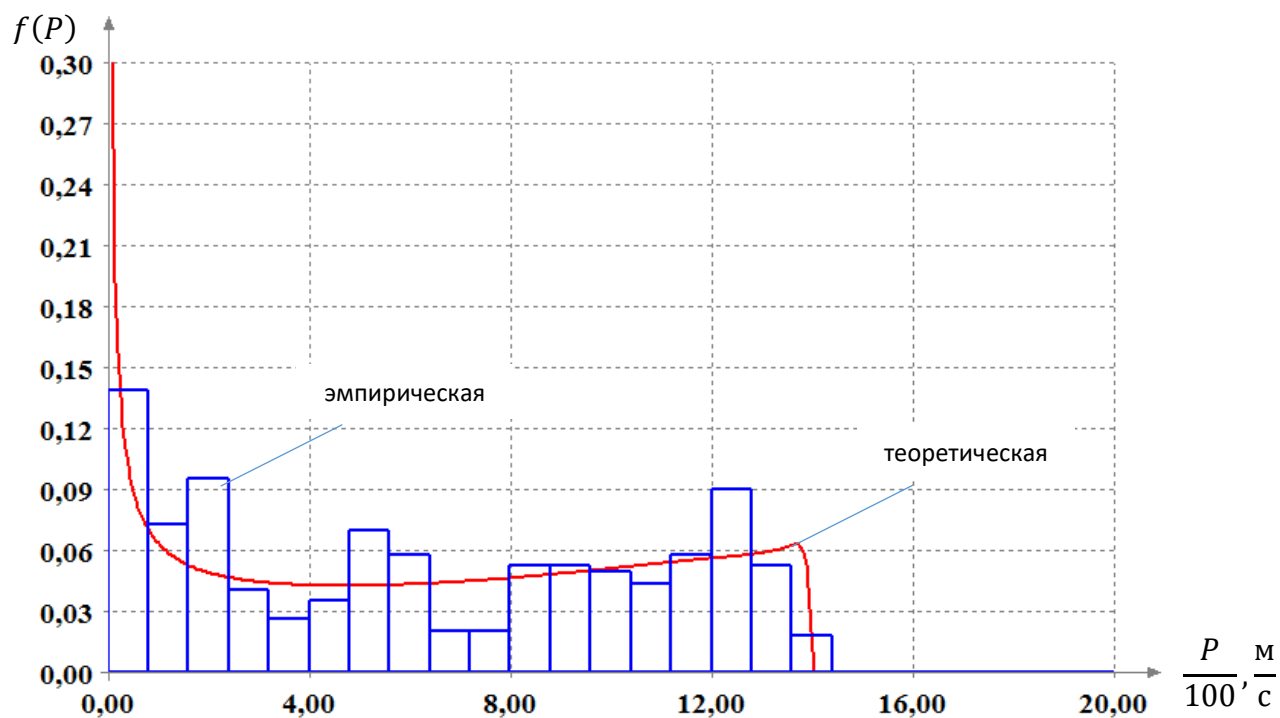


Рисунок 2.16 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения мощности ФЭП за январь 2021 года в Мургабском районе

После рассмотрим закон распределения выработанной мощности от ВИЭ, сложив мощности ВЭУ и ФЭП в соответствии с 2021 годом [116]. В результате подбора закона распределения наиболее лучшим оказалась смесь двух бета-распределений III рода (рис. 2.17 – 2.18) с функцией плотности равной:

$$f(P) = 0,54 \cdot f_1(P) + 0,46 \cdot f_2(P).$$

В $f_1(P)$ параметры $\alpha = 0,832, \beta = 2,201, \delta = 1,016, q = 37,956$, а в $f_2(P)$ параметры $\alpha = 0,08, \beta = 1,742, \delta = 0,932, q = 37,961$.

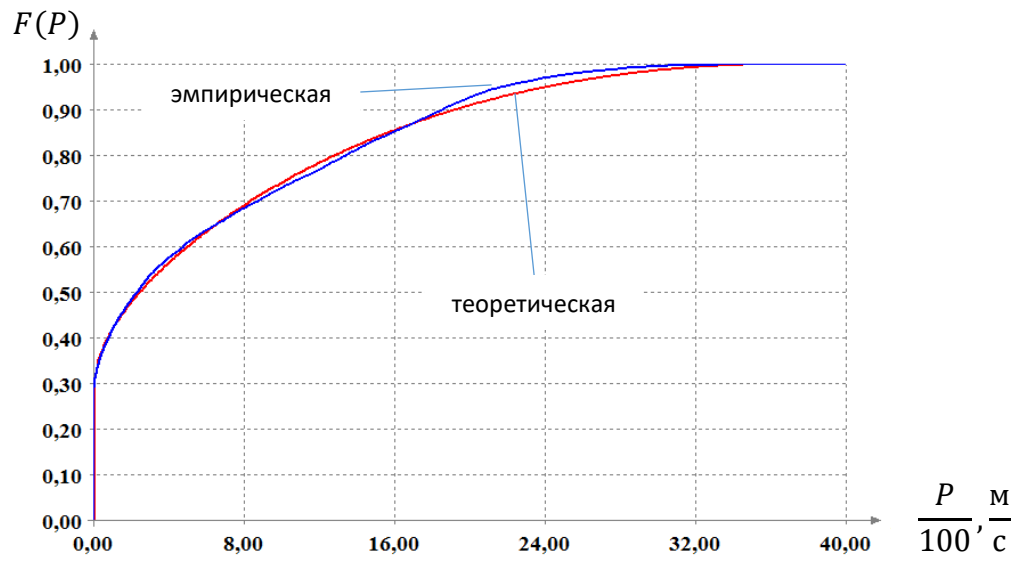


Рисунок 2.17 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения мощности ВИЭ за 2021 год в Мургабском районе



Рисунок 2.18 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения мощности ВИЭ за 2021 год в Мургабском районе

Точно также рассмотрим почасовые данные за каждый месяц и подберём законы распределения для каждого месяца (таблица 2.8.).

Таблица 2.8. – Теоретическая функция и плотность распределения мощности ВИЭ для каждого месяца 2021 года в Мургабском районе

Месяцы	$\frac{F(P)}{f(P)}$	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
Февраль	Теоретическая функция распределения мощности ВИЭ $F(P)$, Теоретическая плотность распределения мощности ВИЭ $f(P)$	0,75	0,88	0,99	1,00	1,00	1,00
		0,028	0,015	0,010	0,00	0,00	0,00
Март		0,65	0,80	0,95	0,99	1,00	1,00
		0,028	0,020	0,013	0,010	0,00	0,00
Апрель		0,55	0,75	0,89	0,97	1,00	1,00
		0,029	0,20	0,015	0,011	0,002	0,000
Май		0,57	0,75	0,90	0,99	1,00	1,00
		0,029	0,20	0,015	0,010	0,001	0,000
Июнь		0,53	0,71	0,92	0,99	1,00	1,00
		0,029	0,023	0,023	0,005	0,00	0,00
Июль		0,61	0,81	0,99	1,00	1,00	1,00
		0,020	0,030	0,001	0,00	0,00	0,00
Август	0,65	0,8	0,98	1,00	1,00	1,00	
	0,020	0,024	0,015	0,001	0,00	0,00	
Сентябрь	0,75	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	
	0,029	0,020	0,005	0,00	0,00	0,00	
Октябрь	0,81	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	
	0,029	0,018	0,006	0,000	0,000	0,000	
Ноябрь	0,77	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	
	0,030	0,015	0,010	0,00	0,000	0,00	
Декабрь	0,82	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	
	0,03	0,014	0,005	0,00	0,00	0,00	

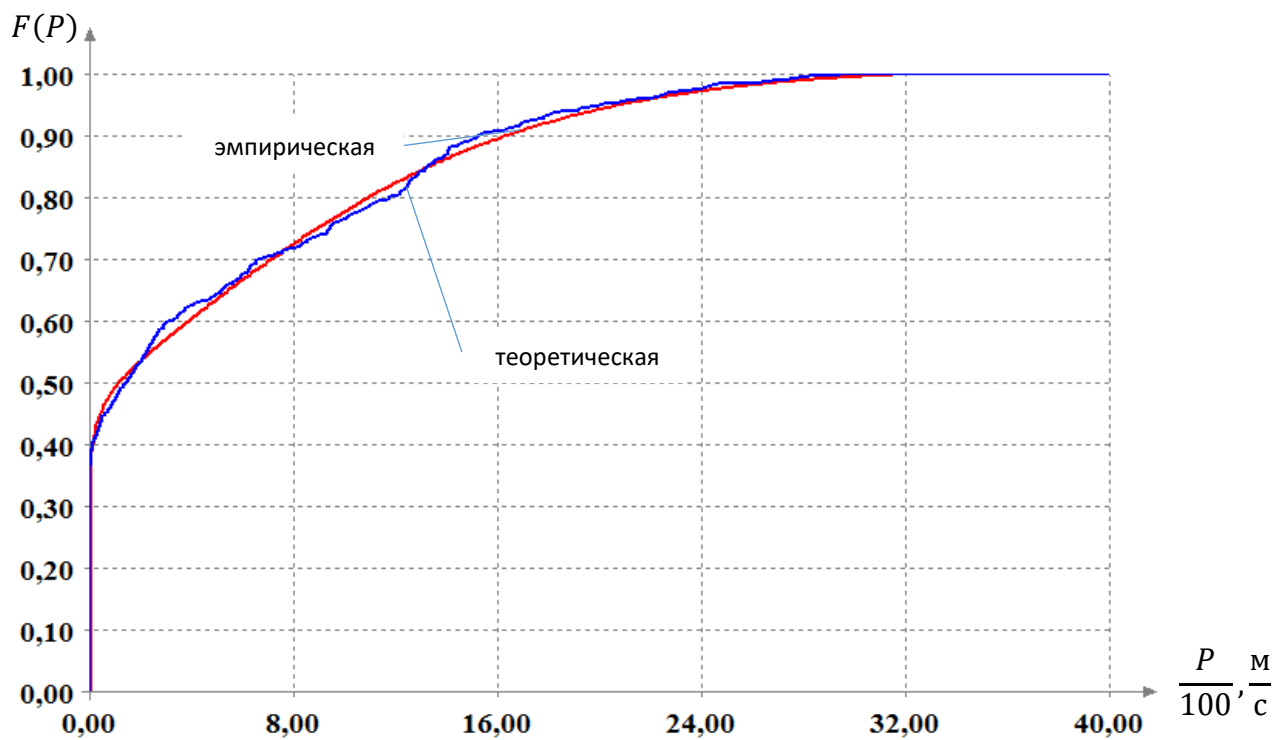


Рисунок 2.19 – Эмпирическая и теоретическая функции распределения мощности ВИЭ за январь 2021 года в Мургабском районе

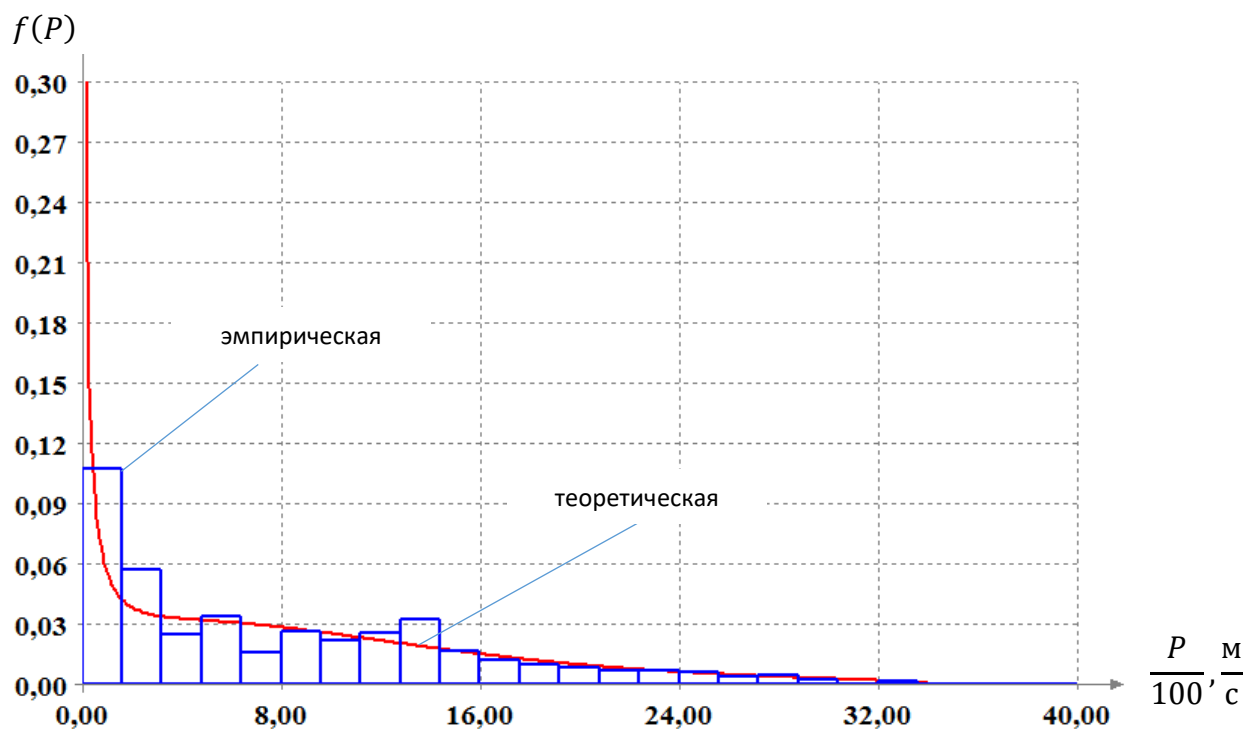


Рисунок 2.20 – Эмпирическая и теоретическая плотности распределения мощности ВИЭ за январь 2021 года в Мургабском районе

Выводы по главе 2

1. Анализ эмпирических и теоретических функций распределения скорости ветра и солнечного излучения подчиняется 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.

1. Установлены функции распределения от ветроустановки в отличие от распределения скорости ветра, генерация электроэнергии находится в кубической зависимости, в то время как генерация электроэнергии от солнечного излучения находится в линейной зависимости.

2. В выполненных расчетах не учитываются направления ветрового потока и солнечного трека.

ГЛАВА 3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ

В данной главе представлены результаты изучения режимных показателей потребления электрической энергии с учетом ее сезонного применения. Данную задачу можно решить с помощью линейного программирования, продукционных правил “Если ..., то ...”, а также путем математического моделирования режимов по применению электрической энергии абонентами. Согласно исследованиям было показано, что потребители электрической энергии данного региона Таджикистана могут восполнить дефицит электрической энергии путем использования ВИЭ, т.е. ветреных, солнечных электрических станций и т.д. Основным направлением является сокращение капитальных затрат на собственное потребление электроэнергии.

3.1. Энергетический баланс и условия оптимальных режимов энергосистемы

Чтобы выполнить анализ энергетического потенциала исследуемой энергосистемы Мургабского района, сперва следует учесть суточный интервал применимости ВИЭ. Основной разницей между режимами этой системы является недостаток энергии в зимний и ее избыток в летний периоды, в связи с чем было выбрано по одному дню по каждому из периодов. Для того чтобы оптимизировать режимы использования электрической энергии были применены статистические изменения скорости ветра, солнечной радиации, выработка мощности ГЭС, а также суточный график энергопотребления [47, 117].



Рисунок 3.2. – Предлагаемая структура локальной электроэнергетической системы Мургабского района

Мургаб занимает восточную территорию Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) Республики Таджикистан. С севера район граничит с Ошской областью Киргизии, с востока с Синьцзян-Уйгурским автономным районом Китая, а с юга с провинцией Бадахшан Афганистана. По площади Мургаб занимает 38442,2 км² территории, население – 16,9 тыс. человек (2022). Район располагается на расстоянии 320 км восточнее от города Хорога на высоте 3500-4200 метров над уровнем моря (максимальная высота 6233 метра). В летний период на высоте 3500-4200 метров температура воздуха достигает всего +11...+12 градусов, даже в июле в данном районе возможны заморозки.

Район располагает лишь одной малой гидроэлектростанцией (МГЭС) «Таджикистан» (рис. 3.1), мощность которой также невелика всего 1,5 МВт, которая была сдана в эксплуатацию в сентябре 2018 года энергетической компанией «Памир Энерджи» при финансовой поддержке Правительства Германии.



Рисунок 3.2. – МГЭС «Таджикистан» в Мургабском районе

Согласно проекту МГЭС имеет водохранилище с суточным регулированием, но оно не в состоянии удовлетворить потребности в электрической энергии на протяжении суток и года. Задача электрификации и повышения качества жизни населения данного района является одной из основных как для Правительства страны, так и для Основателя мира и национального единства, Президента Республики Таджикистан, многоуважаемого Эмомали Рахмона.

Основным препятствием на пути реализации электроснабжения в данном районе является наличие единственной малосточной реки Ак-Су, которая при сильных заморозках (-50°C) практически на 80% замерзает. Район включает двадцать селений, находящихся на расстоянии от 50 до 150 км друг от друга. Данные селения не имеют выхода к системам центрального электроснабжения Горно-Бадахшанской области, поскольку до административного центра области расстояние от этих населенных пунктов составляет 320 км [60,118,119]. В связи с тем, что стоимость строительных материалов стремительно растет, проведение воздушных ЛЭП 35 – 10/0,4 кВ экономически и технически не представляет выгоды. С учетом вышеизложенного для данного района использование гидроэнергетических ресурсов не представляется возможным.

Таким образом, для населения Мургабского района одним из приоритетных решений данной проблемы является применение возобновляемых источников энергии (энергия ветра, солнца), потенциалы которых в районе значительны. Наиболее эффективным представляется применение комбинированных, или так называемых совместных энергоустановок, т.е. СЭС и ВЭУ. Это позволяет выравнять пики при избытке и недостатке выработки электроэнергии.

ВЭУ целесообразно применять в зимнее время, когда скорость ветра достигает свой максимум (январь-май 6,5 м/сек), а в летнее время года СЭС, поскольку зимний максимум находится в противофазе со среднегодовым коэффициентом солнечной инсоляции, т.е. совместное их использование наиболее эффективно.



Рисунок 3.3. – Ветро-солнечная гибридная электростанция в Мургабском районе

Ветровые и солнечные ресурсы 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 (таблица 3.1).

Таблица 3.1. – Средние скорости ветра (м/с) в Мургабском районе ГБАО Республики Таджикистан

t. час	Месяцы			Среднемесячная скорость ветра
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
0	8,9	9,3	8,8	9,00
1	8,7	8,4	9,1	8,73
2	8,5	7,9	8,3	8,23
3	8,8	7,3	8,2	8,10
4	8,7	7,8	8,6	8,37

Продолжение таблицы 3.1				
5	9,4	9,8	9,6	9,60
6	9,9	10	10	12,00
7	9,4	9,1	9,3	9,27
8	7,8	8,7	8,4	8,30
9	7,9	7,5	8,5	7,97
10	7,9	7,6	7,2	7,57
11	7,4	7,2	7,3	7,30
12	7	6,9	6,6	6,83
13	6,3	6	6,1	6,13
14	6	6,2	5,9	6,03
15	5,8	6,1	6	5,97
16	6	6	6,1	6,03
17	5,8	5,6	5,4	5,60
18	4,7	4,5	4,2	4,47
19	4	3,8	3,9	3,90
20	4,4	4,3	4,6	4,43
21	4,9	5	5,9	5,27
22	8,8	7,9	9,5	8,73
23	9,1	8,6	8,9	8,87
24	8,9	9,3	8,8	9,00

Метеорологические данные о скорости ветра Мургабского района (Рисунок 3.4) [111] доказывают целесообразность строительства ветровой электростанции (ВЭС) мощностью до 500 кВт

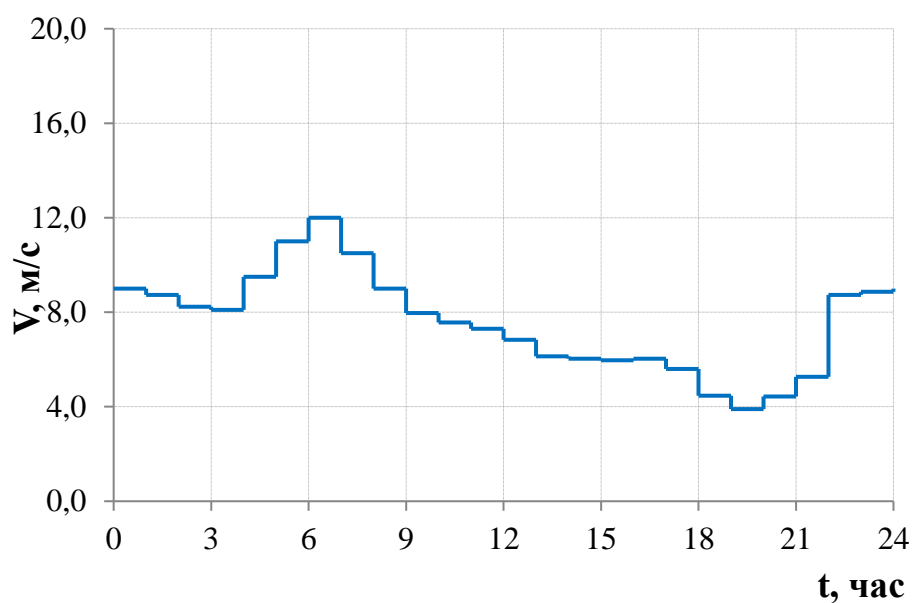


Рисунок 3.4. – Среднесуточные графики скорости ветра

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

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A V^3, \quad (3.1)$$

где ρ – плотность воздушного потока ($\text{кг}/\text{м}^3$), 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

$$A = \pi R^2, \quad (3.2)$$

где R – радиус колеса ветряной электростанции, м.

Уравнение (3.1) соответствует кубическому закону, которое описывает зависимость мощности энергоустановки от скорости истечения ветра.

Выражение (3.1) соответствует кубическому закону, которое описывает зависимость мощности энергоустановки от скорости истечения ветра.

Также скорость потока ветра преобразовать в мощность можно, используя мощностные характеристики самой установки согласно методике [120-125]. Важно знать, что скорость ветра на омываемых поверхностях и на анемометре с метеорологической мачтой установки не соответствует друг другу.

Таким образом, преобразование реальных данных по скорости ветра возможно реализовать путем экстраполяции, например, с помощью степенного закона

$$V_c(t) = V_m(t) \cdot \left(\frac{H}{H_m} \right)^m, \quad (3.3)$$

где V_c – скорость ветра у поверхности оси центра ротора ($\text{м}/\text{с}$);

V_m – скорость ветра на уровне мачты погоды ($\text{м}/\text{с}$);

H – высота центральной оси ротора ВЭУ (для данного типа установки составляет 100 м);

H_m – высота мачты погоды (10 м);

m – сезонный коэффициент меняется в зависимости от времени года: зимний - 0,17, весенний - 0,12, летний - 0,17, среднегодовой - 0,153.

Следует отметить, что если измерение этого показателя на уровне оси ступицы ротора установки предусмотрено, то отпадает необходимость в экстраполяции.

После установления точной скорости ветра ее преобразуют в электрическую мощность согласно характеристикам по мощности установки (рисунок 3.5).

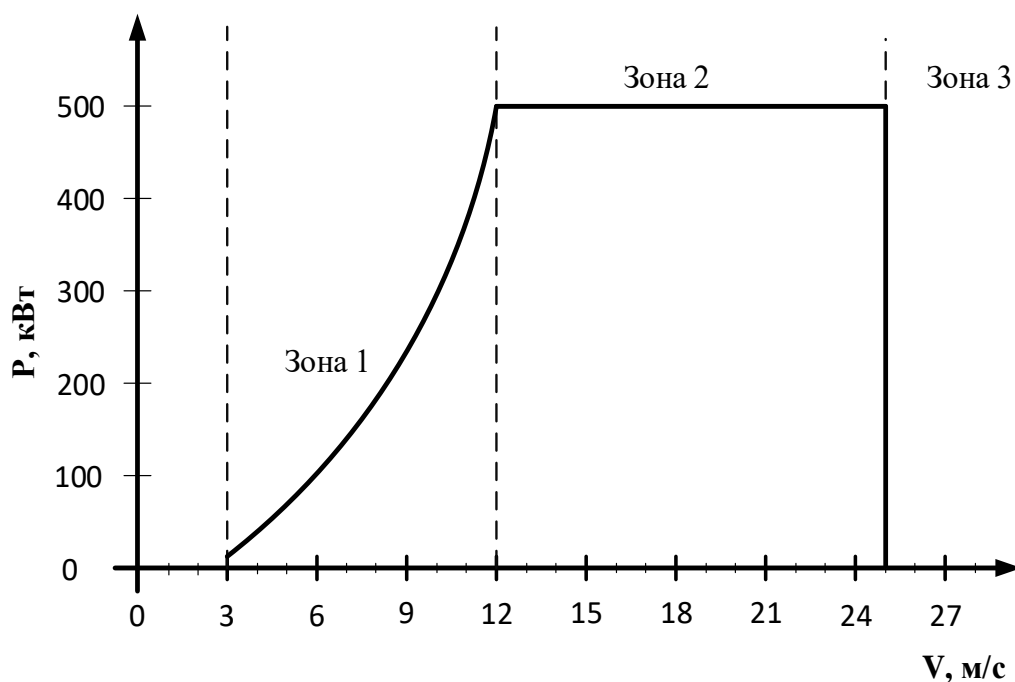


Рисунок 3.5. – Характеристика мощности ВЭС

Согласно графику, изображенному на рисунке 3.5, 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. [116, 126]. При скорости ветра 25 м/с осуществляется автоматическая остановка установки. Преобразование мощности представлено на рисунке 3.6.

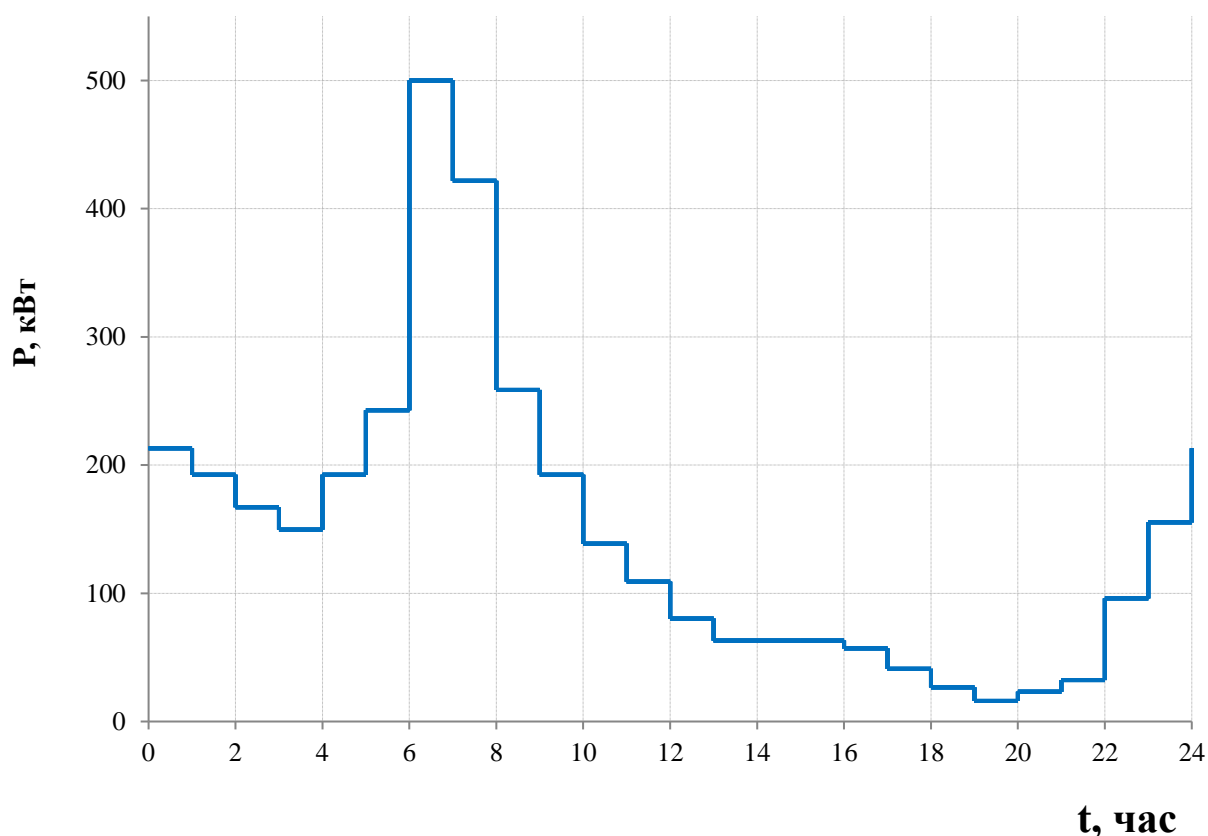


Рисунок 3.6. – Суточный график выдачи мощности ВЭС

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 [127, 128].

Так, согласно оценке экспертов солнечный потенциал Таджикистана составляет приблизительно 25 миллиардов кВт.ч/г., что соответствует 10-20% от общенациональной потребности в энергии. Суммарное значение солнечной радиации соответствует 701-801 Вт/м² или 7500-8001 МДж/м² в условиях ясного неба.

На территориях Мургабского района согласно оценкам местных экспертов [128] интенсивность прямой солнечной радиации составляет 10,3 кВт-ч/м² в летний период (июнь-июль) и 5,9 кВт ч/м² в зимний период (декабрь-январь).

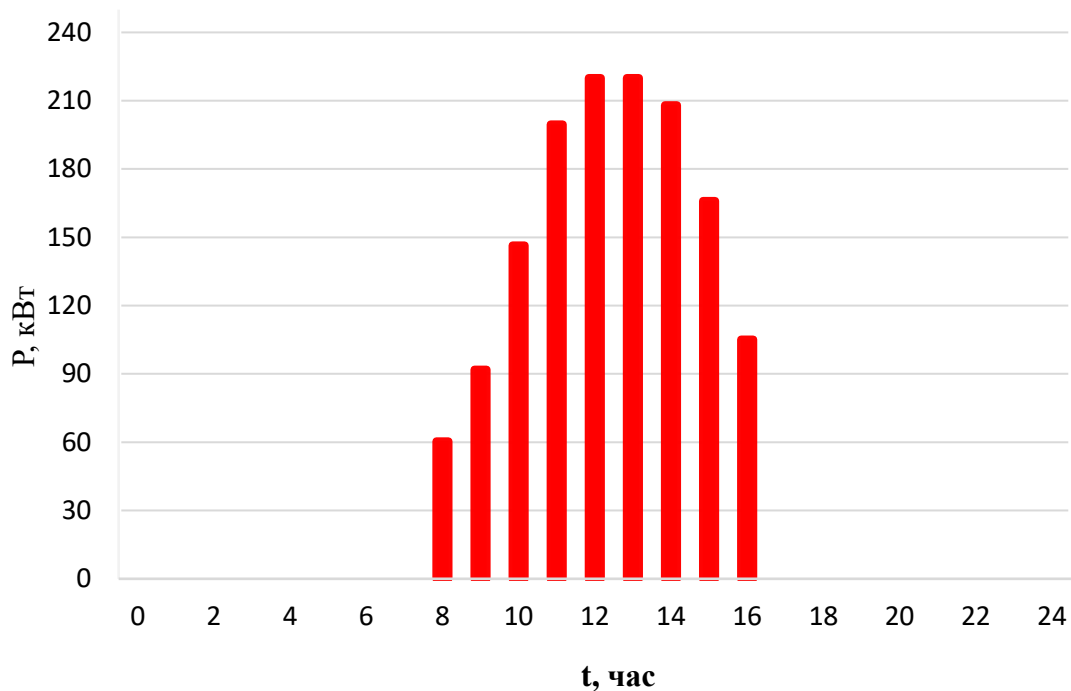


Рисунок 3.7. – Среднесуточные графики выдачи мощности СЭС

Согласно графику 3.4 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 [58, 126], а это соответствует продолжительности электрической нагрузки в течение рабочего дня. Общая мощность солнечных станций была выбрана 220 кВт с КПД 20,65%.

Для зимнего периода выработка мощности ГЭС, суточный график нагрузки, вырабатываемая мощность на ВЭС и СЭС представлены на рисунке 3.8. Исходная мощность накопителя принята 10 кВт.

Таблица 3.2. – Исходные данные энергетического баланса для типичного зимнего дня

Время	Рсис, кВт	Рнаг, кВт	Рвэу, кВт	Рсэс, кВт
0	437,95	437,95	213,11	0,0
1	383,92	383,92	192,50	0,0
2	359,30	359,30	167,15	0,0
3	338,16	338,16	149,68	0,0
4	345,77	345,77	192,50	0,0

Продолжение таблицы 3.2				
5	397,01	397,01	242,81	0,0
6	550,93	550,93	500,00	0,0
7	630,10	630,10	421,81	0,0
8	634,90	634,90	258,64	60,5
9	544,87	544,87	227,64	91,9
10	554,21	554,21	179,53	146,4
11	572,26	572,26	144,13	199,7
12	572,53	572,53	109,11	220,0
13	555,88	555,88	80,28	220,0
14	542,45	542,45	69,67	208,1
15	587,97	587,97	63,14	166,1
16	589,71	589,71	57,04	105,1
17	545,48	545,48	41,10	0,0
18	716,32	716,32	26,64	0,0
19	771,25	771,25	16,04	0,0
20	856,67	856,67	43,52	0,0
21	829,49	829,49	57,04	0,0
22	742,25	742,25	96,03	0,0
23	575,18	575,18	155,36	0,0

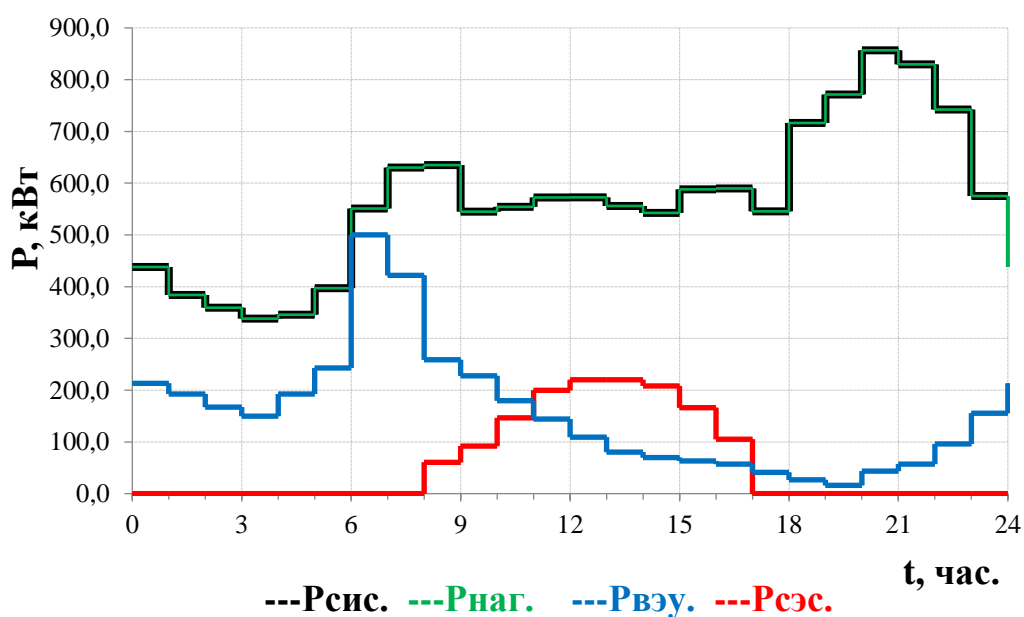


Рисунок 3.8 – Исходные данные энергетического баланса для типичного зимнего дня

($P_{сис}$. – черная линия, $P_{нагр}$. – зеленая линия, $P_{вэу}$ – синяя линия
 $P_{сэс}$. красная линия,)

3.2. Математическая модель энергетического баланса потребителя

Каждая электроэнергетическая система обладает балансом активной мощности, включая потери между источниками генерации энергии и ее потребителями.

Баланс мощностей для рассматриваемой системы определяется в виде

$$P_{СИС} + P_{ВЭУ} + P_{СЭС} \pm P_{Акк.} = P_{П} + \sum \Delta P, \quad (3.4)$$

где $P_{СИС}$ – мощность, полученная от внешнего источника;

$P_{ВЭУ}$ – максимальная мощность от ветряков;

$P_{СЭС}$ – максимальная мощность от СЭС;

$P_{Акк.}$ – максимальная мощность аккумуляторной батареи;

$P_{П}$ – потребляемая мощность;

$\sum \Delta P$ – общая потеря активной мощности в сети, расходы и СН.

В суточном интервале энергетический баланс можно записать в интегральной форме

$$\int_0^{24} P_{СИС}(t) dt + \int_0^{24} P_{ВЭУ}(t) dt + \int_0^{24} P_{СЭС}(t) dt \pm \int_0^{24} P_{Акк.}(t) dt = \int_0^{24} P_{П}(t) dt + \int_0^{24} \sum \Delta P(t) dt \quad (3.5)$$

Это дает возможность получать энергию из разных источников: энергетические системы, ветроустановки, солнечные электростанции и аккумуляторы, себестоимость которых отличительна. Эффективность от их применения определяется как соотношение полученной энергии различной стоимости для каждого часа применения. Задача носит оптимизационный характер [125, 126, 129, 130].

Примером могут служить режимы электропотребления Мургаба, для чего примем:

$P_{П_i}$ – потребление электроэнергии потребителями Мургаба;

$P_{СИС}$ – мощность передачи от энергосистемы;

$P_{\max}^{BЭУ_i}$ – максимально возможная генерируемая мощность ветровой электростанции, где $0 \leq P_{ном}^{BЭУ} \leq P_{\max}^{BЭУ}$,

$P_{\max}^{CЭС_i}$ – максимально возможная генерируемая мощность солнечной электростанции, где $0 \leq P_{ном}^{CЭС} \leq P_{\max}^{CЭС}$,

$P_{\max}^{Акк.i}$ – 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

$$\begin{cases} c_{11} \cdot P_{СИС} + c_{12} \cdot P_{ВЭУ} + c_{13} \cdot P_{CЭС} + c_{14} \cdot P_{Акк.} = m_1 \\ c_{21} \cdot P_{СИС} + c_{22} \cdot P_{ВЭУ} + c_{23} \cdot P_{CЭС} + c_{24} \cdot P_{Акк.} = m_2 \\ c_{31} \cdot P_{СИС} + c_{32} \cdot P_{ВЭУ} + c_{33} \cdot P_{CЭС} + c_{34} \cdot P_{Акк.} = m_3 \\ c_{41} \cdot P_{СИС} + c_{42} \cdot P_{ВЭУ} + c_{43} \cdot P_{CЭС} + c_{44} \cdot P_{Акк.} = m_4 \end{cases}, \quad (3.6)$$

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

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix}. \quad (3.7)$$

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

$$\begin{pmatrix} c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{pmatrix}, \quad (3.8)$$

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

$$M = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 C_{ij} \cdot P_j \cdot t \rightarrow \min, \quad (3.9)$$

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 – 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:

$$0 \leq P_{ч, \max}^{\Pi} \leq P_{СИС} ; \quad 0 \leq P_{СЭС} \leq P_{\max}^{СЭС}$$

$$0 \leq P_{ВЭУ} \leq P_{\max}^{ВЭУ} ; \quad 0 \leq P_{Акк} \leq P_{\max}^{Акк}$$

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.

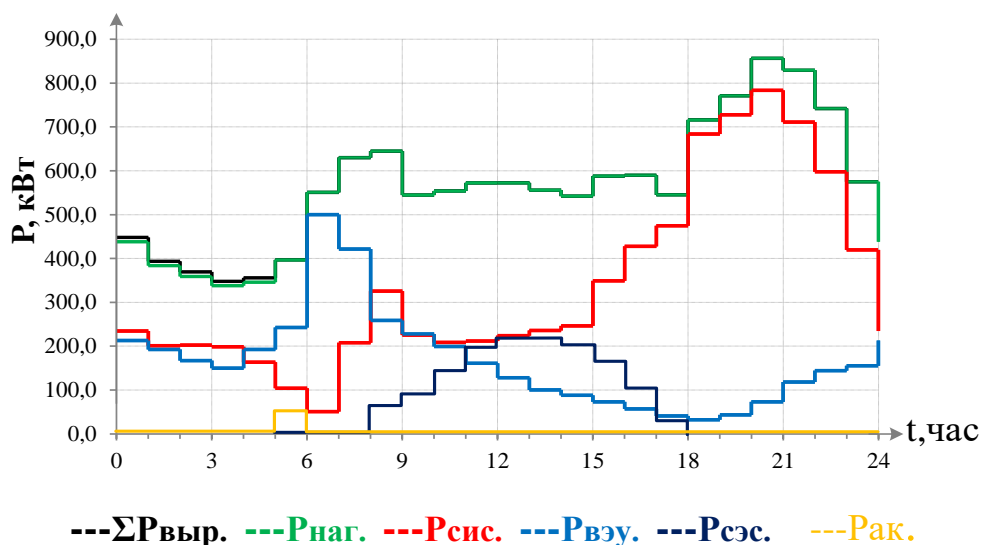


Рисунок 3.9. – График результатов решения задачи оптимизации электропотребления потребителей

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

При решении проблемы нормирования потребления электроэнергии выполняется и задача снижения затрат со всех источников выработки электроэнергии, приходящейся на каждый час суточного графика электропотребления (рисунок 3.10)

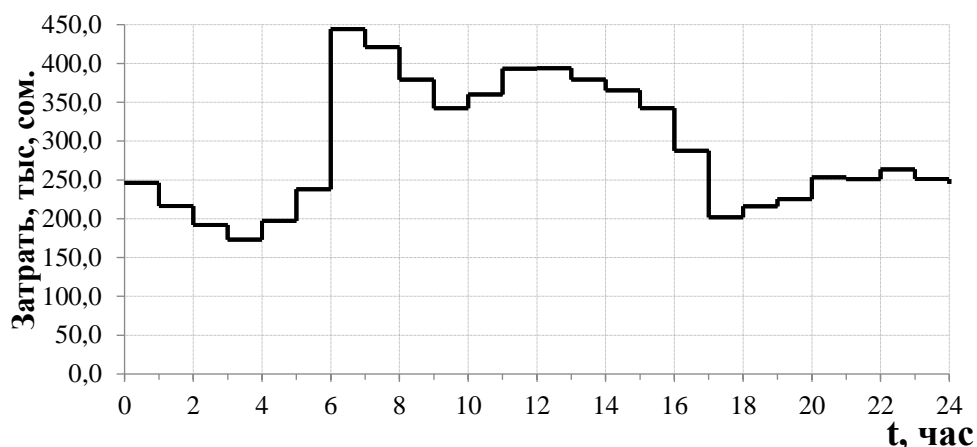


Рисунок 3.10. – Минимальные финансовые затраты потребителей

Табулированный вариант основных условий энергетического баланса с дискретностью в 4 часа и суточном интервале представлен ниже (таблица 3.3), согласно которому аккумулярование следует выполнять в начальное время суток. Применение ВЭС целесообразно в момент пиковых значений скорости ветра (утром в 8 часов, вечером в 20 часов), что позволит снизить потребность в электроэнергии из энергетической системы.

Таблица 3.3. – Электропотребление мощности Мургаба, кВт

Время суток, часы	$P_{наг}$	$P_{сис}$	$P_{вэу}$	$P_{сэс}$	$P_{акк.}$
0	437,95	234,84	213,11	0,00	0
1	383,92	201,41	192,50	0,00	0
2	359,30	202,15	167,15	0,00	0
3	338,16	198,49	149,68	0,00	0
4	345,77	163,26	192,50	0,00	0
5	397,01	104,20	242,81	0,00	50
6	550,93	50,93	500,00	0,00	0
7	630,10	208,29	421,81	0,00	0
8	634,90	325,81	258,64	60,45	0
9	544,87	225,33	227,64	91,90	0
10	554,21	208,59	199,22	146,40	0
11	572,26	211,42	161,18	199,65	0
12	572,53	224,20	128,33	220,00	0
13	555,88	235,61	100,27	220,00	0
14	542,45	246,47	87,92	208,05	0
15	587,97	348,82	73,10	166,05	0
16	589,71	427,57	57,04	105,10	0
17	545,48	474,63	41,10	29,75	0
18	716,32	683,99	32,33	0,00	0
19	771,25	727,73	43,52	0,00	0
20	856,67	783,57	73,10	0,00	0

Продолжение таблицы 3.3					
21	829,49	711,02	118,46	0,00	0
22	742,25	598,11	144,13	0,00	0
23	575,18	419,82	155,36	0,00	0
24	437,95	234,84	213,11	0,00	0

В таблице 3.4 представлены значения наиболее приемлемых финансовых затрат на использование энергии от разных источников, применяемых для нормирования нагрузки.

Таблица 3.4 – Оптимизация затрат на электропотребление, тыс. сом.

Время суток, часы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Минимальный расход потребителя	246,23	216,35	191,95	173,10	197,27	237,99	444,26	421,08	379,16	342,33	360,08	393,22	393,87	379,27	365,35	342,40	287,54	201,86	216,02	225,25	253,35	251,01	263,53	251,16	246,23

3.3. Алгоритм и программная реализация предложенного метода оптимизации

Развитие электроэнергетических систем (ЭЭС) напрямую зависит от уровня и степени их интеллектуализации. Параллельно возникает другой, не мало важный вопрос использования электрической энергии как от внешней ЭЭС, так и от внутренних источников, таких как ВИЭ и аккумуляторы энергии, которые накапливают ее при наличии ее избытка. При использовании двустороннего потока энергии можно использовать электрическую энергию, сгенерированную на нескольких источниках: энергосистемы, ВЭУ, СЭС и накопителя, себестоимость которых отличительна [131, 132, 133].

Руководствуясь данной целью, была создана автоматизированная программа с помощью предложенных алгоритмов. Разработан алгоритм энергопотребителя с учетом изменения условий генерации мощности внутренним источником энергии, ВЭУ и СЭС (рисунок 3.11) в зависимости от того $P_{Наг.} > P_{ВЭУ} + P_{СЭС}$, то есть имеется дефицит мощности или $P_{ВЭУ} + P_{СЭС} > P_{Наг.}$ тогда наблюдается избыток. При избытке осуществляется аккумулярование, а если наоборот осуществляется запрос энергии из источника либо накопителя.

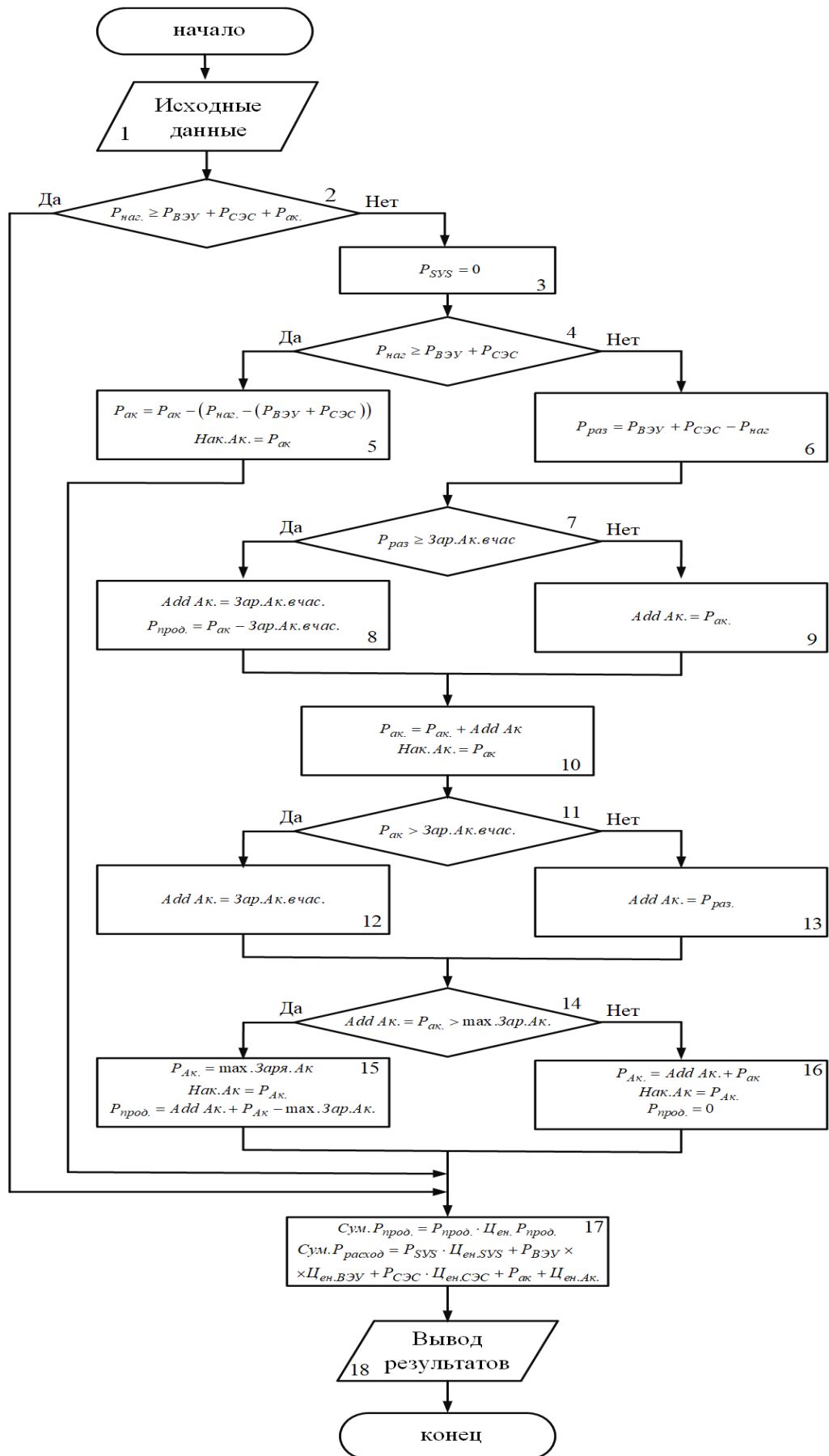


Рисунок 3.11. – Блок-схема оптимизации режимов электропотребления потребителя

На рисунке 3.11 приведена блок-схема программы, в которой дается объяснение алгоритма проведения расчетов оптимизации режимов электропотребления.

Блок 1 - Ввод исходных данных. В программу можно вводить разные варианты данных для проведения расчетов и сохранить эти данные.

Блок 2 - Проверяется избыток генерирующих мощностей от ВЭУ, СЭС и накопителя. Если есть избыток, выполняется расчет оптимизации режимов электропотребления иначе выполняется переход на блок 17.

Блок 3 - Мощность не потребляется из системы ($P_{сис} = 0$).

Блок 4 – Проверяется избыток за счет мощностей аккумулятора.

Блок 5 - Если есть избыток за счет мощностей аккумулятора, то мощность аккумулятора потребляется до значения разницы $P_{ак} = P_{ак} - (P_{нагр.} - (P_{ВЭУ} + P_{СЭС}))$ и перехода на блок 17.

Блок 6 – Определяется разница мощностей от мощностей $P_{ВЭУ}$ и $P_{СЭС}$ ($P_{разн.} = P_{ВЭУ} + P_{СЭС} - P_{нагр.}$)

Блок 7 – Проверяется если $P_{разн.}$ больше, чем максимальный заряд аккумулятора в час.

Блок 8 – Если $P_{разн.}$ больше в качестве значения для добавления (P_{add}) к мощности аккумулятора берутся значения максимального заряда аккумулятора.

Блок 9 – Если $P_{разн.}$ меньше в качестве значения для добавления (P_{add}) к мощности аккумулятора берется исходное значение мощности аккумулятора.

Блок 10 – К мощности аккумулятора прибавляются значения для добавления к мощности аккумулятора ($P_{ак} = P_{ак} + P_{add}$).

Блок 11,12,13 – Определяются значения для пополнения заряда мощности аккумулятора.

Блок 14 ,15,16 - Определяются новые значения мощности аккумулятора $P_{ак}$ и мощности для продажи в систему ($P_{прод.}$).

Блок 17 – Вычисляется *Сумма* мощностей и расходов.

Блок 18. - Вывод результатов оптимизации режимов.

Данный программный пакет по сути является системной поддержкой выполняемых операций по снижению финансовых затрат при потреблении электроэнергии.

Для потребления электрической энергии от всех источников ее выработки в диалоговом окне программы имеются панели исходных данных, которые можно изменять (рисунок 3.12).

Вариант данных: Точный данный р. Мугаба

Создать ВД Удалить ВД

Главная Графики

Цена потребителя: 0,28 Цена Р системы: 0,28 Цена Р СЭС: 1,30 Заряд в час (кВт): 10,00
Цена для продажи: 0,00 Цена Р ВЭУ: 0,86 Цена Р аккумуля.: 0,75 Мах Заряд (кВт): 50,00

Расчет Очистить Сохранить ВД

Сумма продаж: 0,00 Мощность продаж: 0,00
Сумма расходов: 7400,56

Рисунок 3.12. –Интерфейс панели исходных данных

На рисунке 3.12 представлен полный алгоритм решения оптимизационной задачи на языке программы, результаты которой показаны рисунках 3.9–3.10.

Вариант данных: Точный данный р. Мугаба

Создать ВД Удалить ВД

Главная Графики

Цена потребителя: 0,28 Цена Р системы: 0,28 Цена Р СЭС: 1,30 Заряд в час (кВт): 10,00
Цена для продажи: 0,00 Цена Р ВЭУ: 0,86 Цена Р аккумуля.: 0,75 Мах Заряд (кВт): 50,00

Расчет Очистить Сохранить ВД

Исходные данные

Время	Psys	Pload	Pveu	Pses	Pak
0	437,95	437,95	213,11	0,00	0,00
1	383,92	383,92	192,50	0,00	10,00
2	359,30	359,30	167,15	0,00	20,00
3	338,16	338,16	149,68	0,00	30,00
4	345,77	345,77	192,50	0,00	40,00
5	397,01	397,01	242,81	0,00	50,00
6	550,93	550,93	500,00	0,00	0,00
7	630,10	630,10	421,81	0,00	0,00
8	634,90	634,90	258,64	60,45	0,00
9	544,87	544,87	227,64	91,90	0,00
10	554,21	554,21	179,53	146,40	0,00
11	572,26	572,26	144,13	199,65	0,00
12	572,53	572,53	109,11	220,00	0,00
13	555,88	555,88	80,28	220,00	0,00
14	543,45	543,45	68,67	208,05	0,00

Результаты

Врем	Psys	Pload	Pveu	Pses	Pak	Мощ. про	С продаж	С расход
0	234,84	437,95	213,11	213,11	0,00	0,00	0,00	246,23
1	201,41	383,92	192,50	0,00	0,00	0,00	0,00	216,35
2	202,15	359,30	167,15	0,00	0,00	0,00	0,00	191,95
3	198,49	338,16	149,68	0,00	0,00	0,00	0,00	173,10
4	163,26	345,77	192,50	0,00	0,00	0,00	0,00	197,27
5	104,20	397,01	242,81	0,00	50,00	0,00	0,00	237,99
6	50,93	550,93	500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	444,26
7	208,29	630,10	421,81	0,00	0,00	0,00	0,00	421,08
8	315,81	634,90	258,64	60,45	0,00	0,00	0,00	389,44
9	225,33	544,87	227,64	91,90	0,00	0,00	0,00	378,33
10	228,28	554,21	179,53	146,40	0,00	0,00	0,00	408,63
11	228,48	572,26	144,13	199,65	0,00	0,00	0,00	447,47
12	243,41	572,53	109,11	220,00	0,00	0,00	0,00	447,99
13	255,60	555,88	80,28	220,00	0,00	0,00	0,00	426,61
14	264,77	543,45	68,67	208,05	0,00	0,00	0,00	408,51

Сумма продаж: 0,00 Мощность продаж: 0,00
Сумма расходов: 7400,56

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите раздел "Параметры".

Рисунок 3.13. – Интерфейс разработанной программы

Выводы по главе 3

1. Исследованы возможные способы снижения негативного влияния на окружающую среду при использовании энергии ветровых потоков для выработки электрической энергии, включая их шумовое воздействие на жителей.
2. Разработана математическая модель нормирования распределения энергии потребителям, а именно району Мургаб с учетом выработки электроэнергии от ВЭИ и аккумуляторов.
3. Разработаны и предложены алгоритмы для нормирования режимов энергопотребления как от отдельно вырабатывающих источников энергии, так и их совокупности. По компьютерному программированию данных алгоритмов было получено свидетельство о государственной регистрации программ для электронно-вычислительных машин.
4. Предложенный способ и соответствующий алгоритм к нему предназначен для нормирования энергопотребления с целью снижения финансовых затрат отдельных потребителей электроэнергии. Метод оптимизации реализован с помощью метода линейного программирования.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

4.1. Минимизация финансовых расходов электропотребителей

Мургабского района

В данной работе каждому отдельному потребителю предоставляется возможность повысить свою энергоэффективность за счет снижения финансовых затрат, связанных с определенной долей использования возобновляемых источников энергии. Задача решается для каждого часа суточного интервала. Таким образом, лучшее решение на каждый день месяца.

Снижение финансовых затрат каждого отдельного потребителя электроэнергии с учетом индивидуальной стоимости каждого возобновляемого источника энергии составит:

$$\left(C_{СИС} \cdot \sum_{i=0}^{24} R_i P_{СИС} + C_{ВЭС} \cdot \sum_{i=0}^{24} R_i P_{ВЭС} + \right. \\ \left. + C_{СЭС} \cdot \sum_{i=0}^{24} R_i P_{СЭС} \pm C_{Акк} \cdot \sum_{i=0}^{24} R_i P_{Акк.} \right) \rightarrow \min, \quad 4.1.$$

где $C_{СИС}$ – стоимость произведенной электроэнергии на СИС; $C_{ВЭС}$ – стоимость электроэнергии, произведенной на ветряных электростанциях (ВЭС); $C_{СЭС}$ – стоимость электроэнергии, выработанной на солнечной электростанции (СЭС); $C_{Акк.}$ – стоимость электроэнергии, хранящейся в аккумуляторе.

Оптимальное распределение финансовых расходов потребителя представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – Оптимальное распределение финансовых расходов потребителя
с интервалом в день

Время, час.	Рсис, сом.	Рвэс, сом.	Рсэс, сом.	Ракб, сом.	Сум. сом.
1	62,95	443,3	0,0	0,0	246,2
2	50,80	400,4	0,0	0,0	216,3
3	48,20	347,7	0,0	0,0	192,0
4	44,38	311,3	0,0	0,0	173,1
5	31,71	400,4	0,0	37,5	234,8
6	29,18	505,0	0,0	0,0	238,0
7	14,26	1040,0	0,0	0,0	444,3
8	58,32	877,4	0,0	0,0	421,1
9	88,43	538,0	78,6	0,0	389,4
10	72,93	400,4	119,5	0,0	358,0
11	75,34	288,6	190,3	0,0	385,0
12	73,78	227,0	259,5	0,0	427,2
13	76,23	167,0	286,0	0,0	431,3
14	76,37	131,3	286,0	0,0	416,7
14	75,95	131,3	270,5	0,0	400,7
16	100,46	131,3	215,9	0,0	370,6
17	119,72	118,6	136,6	0,0	305,4
18	132,90	85,5	38,7	0,0	206,9
19	193,11	55,4	0,0	0,0	216,0
20	211,46	33,4	0,0	0,0	225,3
21	233,36	48,3	0,0	0,0	253,3
22	223,20	67,2	0,0	0,0	251,0
23	180,94	199,8	0,0	0,0	263,5
24	117,55	323,1	0,0	0,0	251,2

4.2. Расчет себестоимости электроэнергии от источника ВЭС

Стоимость электроэнергии в ветропарке зависит от стоимости электрооборудования, амортизационных отчислений, финансовых затрат на

обслуживание в течение года и стоимости электроэнергии, произведенной шинами в течение года.

Стоимость электроэнергии, произведенной ветровыми электростанциями, рассчитывается по формуле (4.2):

$$S_{\text{ЭЭ}} = \frac{I_{\text{об}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{тр}}}{W_{\text{Г}}}, \quad (4.2)$$

где $S_{\text{ЭЭ}}$ – стоимость кВт·ч;

$I_{\text{об}}$ – ежегодные расходы на содержание станции, сом.;

$I_{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления, сом.;

$W_{\text{Г}}$ – количество энергии, выделяемой шинами в год, кВт·ч;

$I_{\text{тр}}$ – проекты для текущего ремонта, сом.

Для определения затрат необходимо рассчитать стоимость основных вложений на строительство ВЭС.

Определим стоимость капитальных вложений по формуле (4.3):

$$K = K_{\text{об}} + K_{\text{м}} + K_{\text{пн}} + K_{\text{ф}} + K_{\text{з}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{к}}, \quad (4.3)$$

где $K_{\text{об}}$ – инвестиции в покупку оборудования, сом.;

$K_{\text{м}}$ – стоимость монтажных работ, сом.;

$K_{\text{пн}}$ – стоимость использования, сом.;

$K_{\text{ф}}$ – стоимость строительства, сом.;

$K_{\text{з}}$ – стоимость заземления, сом.;

$K_{\text{пр}}$ – прочие отчисления, сом.;

$K_{\text{к}}$ – стоимость прокладки кабеля, сом.

Основные средства на приобретение оборудования определяются следующим образом:

$$K_{\text{вэу}} = K_{\text{об}} \cdot n, \quad (4.4)$$

где $K_{\text{об}}$ – себестоимость единицы оборудования, сом.;

n – кол. оборудования, шт.

$$K_{\text{вэу}} = 1026000 \cdot 10 = 10260000 \text{ сом.}$$

Себестоимость установки рассчитывается по следующей формуле (4.6):

$$K_M = K_{вз\ddot{y}} \cdot \alpha_M, \quad (4.5)$$

где α_M – фактор в первоначальной стоимости установки оборудования, 0,04 о.е. [135].

Рассчитываем стоимость установки по следующей формуле (4.5):

$$K_M = 10260000 \cdot 0,04 = 410400 \text{ сом.}$$

Себестоимость пуско-наладочных работ:

$$K_{\text{пн}} = K_{вз\ddot{y}} \cdot \alpha_{\text{вв}}, \quad (4.6)$$

где $\alpha_{\text{вв}}$ – фактор фактической стоимости эксплуатации станции, 0,03 о.е. [135].

Тогда стоимость его использования можно найти по формуле (4.6)

$$K_{\text{пн}} = 10260000 \cdot 0,03 = 307800 \text{ сом.}$$

Себестоимость строительства:

$$K_{\phi} = K_{вз\ddot{y}} \cdot \alpha_{\phi}, \quad (4.7)$$

где α_{ϕ} – фактор в первоначальной стоимости строительства фундамента, 0,01 о.е. [135].

Рассчитаем себестоимость строительства по формуле (4.7):

$$K_{\phi} = 10260000 \cdot 0,01 = 102600 \text{ сом.}$$

Также стоимость заземления напрямую зависит от состава и качества грунта, который рассчитывается соответствующим образом (4.8):

$$K_3 = K_{вз\ddot{y}} \cdot \alpha_3, \quad (4.8)$$

где α_3 – фактор стоимости на себестоимость заземления, 0,01 о.е. [135].

Определенная себестоимость заземления по (4.8):

$$K_3 = 10260000 \cdot 0,01 = 102600 \text{ сом.}$$

Стоимость монтажа кабельного оборудования определяется по формуле (4.9):

$$K_K = K_{вз\ddot{y}} \cdot \alpha_K, \quad (4.9)$$

где α_K – фактор затрат на установку кабельного оборудования, 0,03 о.е. [135].

Себестоимость монтажа кабельного оборудования согласно (4.9):

$$K_x = 10260000 \cdot 0,03 = 307800 \text{ сом.}$$

Учитываем затраты на непредвиденные расходы, которые могут возникнуть при монтаже и эксплуатации оборудования, согласно (4.10):

$$K_{\text{пр}} = (K_M + K_{\text{пн}} + K_{\text{ф}} + K_3 + K_K + K_{\text{взв}}) \cdot 0,05, \quad (4.10)$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ – затратный коэффициент на непредвиденные расходы, 0,05 о.е. [135].

Рассчитываем стоимость затрат на непредвиденные расходы по формуле (4.8):

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= (410400 + 307800 + 102600 + 102600 + 307800 + 10260000) \cdot 0,05 = \\ &= 574560 \text{ сом.} \end{aligned}$$

Рассчитайте общую сумму капитальных вложений по формуле (4.3):

$$\begin{aligned} K &= 410400 + 307800 + 102600 + 102600 + 307800 + 10260000 + \\ &+ 574560 = 12065760 \text{ сом.} \end{aligned}$$

Вычет амортизации определяется по формуле с учетом первоначальной стоимости оборудования (4.11):

$$I_{\text{ам}} = K \cdot \frac{\alpha}{100}, \quad (4.11)$$

где α – норма амортизационных отчислений.

Норму амортизационных отчислений ВЭС по формуле (4.12):

$$\alpha = \frac{1}{T} \cdot 100, \quad (4.12)$$

где T - срок службы ветрогенератора, 25 лет.

Рассчитайте норму амортизации по формуле (4.12):

$$\alpha = \frac{1}{25} \cdot 100 = 4\%$$

Рассчитайте амортизационные отчисления по формуле (4.11):

$$I_{\text{ам}} = 12065760 \cdot \frac{4}{100} = 482630,4 \text{ сом}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования определяются по формуле (4.13):

$$I_{\text{тр}} = K \cdot k_{\text{тр}} \quad (4.13)$$

где $K_{тр}$ – норма отчислений по текущему ремонту для ветрогенераторов установок, 0,03 о.е. [135].

$$I_{тр} = 12065760 \cdot 0,03 = 361972,8 \text{ сом.}$$

Затраты на техническое обслуживание определяются по формуле (4.13):

$$I_{об} = K \cdot \alpha_k \quad (4.14)$$

где α_k – коэффициент издержек на обслуживание, 0,015 о.е. [135].

Используйте эту формулу для расчета стоимости обслуживания станции (4.14):

$$I_{об} = 12065760 \cdot 0,015 = 180986,4 \text{ сом.}$$

Энергия, выделяемая шинами за год, определяется по формуле (4.15):

$$W_r = N_y \cdot h_y \cdot (1 - k_{сн}) \quad (4.15)$$

где N_y – установленная мощность ВЭС 500 кВт;

h_y – количество часов использования установки 1800↔2500 ч/год;

$k_{сн}$ – коэффициент собственных требований подстанции, 0,05 о.е. [135].

Определяем энергию, освобожденную от шины ВЭС за год, по формуле (4.16):

$$W_r = 500 \cdot 2500 \cdot (1 - 0,05) = 1187500 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Определяем стоимость энергии с ветровой электростанции по формуле (4.2):

$$S_{ЭЭ} = \frac{180986,4 + 482630,4 + 361972,8}{1187500} = 0,86 \frac{\text{сом}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Таким образом, стоимость электроэнергии с ветроэнергетической станции мощностью 500 кВт составляет 0,86 сом/кВт·ч

4.3. Расчет себестоимости электроэнергии от источника СЭС

Стоимость электроэнергии от солнечной электростанции рассчитывается также, как и для ветряной электростанции.

Основные средства на приобретение оборудования определяются следующим образом (4.4):

$$K_{СЭС} = 2000 \cdot 1100 = 2200000 \text{ сом}$$

Стоимость монтажа рассчитывается по формуле (4.5):

$$K_{\text{м}} = 2200000 \cdot 0,04 = 88000 \text{ сом}$$

Рассчитаем стоимость пуско-наладочных работ по формуле (4.6):

$$K_{\text{пн}} = 2200000 \cdot 0,03 = 66000 \text{ сом}$$

Рассчитаем стоимость прокладки кабельного оборудования по формуле (4.9):

$$K_{\text{к}} = 2200000 \cdot 0,03 = 66000 \text{ сом}$$

Рассчитываем стоимость затрат на непредвиденные расходы по формуле (4.10):

$$K_{\text{пр}} = (88000 + 66000 + 66000 + 2200000) \cdot 0,05 = 2420000 \text{ сом}$$

Рассчитываем общую сумму капитальных вложений по формуле (4.3):

$$K = 2200000 + 88000 + 66000 + 66000 + 2420000 = 4840000 \text{ сом}$$

Рассчитываем норму амортизации по формуле (4.12):

$$\alpha = \frac{1}{30} \cdot 100\% = 3,33\%$$

Издержки на амортизацию рассчитаем по формуле (4.11):

$$I_{\text{ам}} = 4840000 \frac{3,33}{100} = 161172 \text{ сом.}$$

Издержки на текущий ремонт рассчитываются по формуле (4.13):

$$I_{\text{тр}} = 4840000 \cdot 0,03 = 145200 \text{ сом.}$$

Издержки на обслуживание СЭС рассчитаем по формуле (4.14):

$$I_{\text{об}} = 4840000 \cdot 0,015 = 72600 \text{ сом.}$$

Для зимнего сезона выполним расчет себестоимости электроэнергии от СЭС.

Определяем энергию, освобожденную от шины СЭС за год, по формуле (4.15):

$$W_{\text{г}} = 220 \cdot 1400 \cdot (1 - 0,05) = 292600 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Определяем стоимость энергии с СЭС по формуле (4.2):

$$S_{\text{СЭС}} = \frac{72600 + 161172 + 145200}{292600} = 1,30 \frac{\text{сом}}{\text{кВт}} \cdot \text{ч}$$

На летний сезон рассчитываем стоимость электроэнергии от солнечной станции.

Определяем энергию, освобожденную от шины СЭС за год, по формуле (4.15):

$$W_T = 220 \cdot 2500 \cdot (1 - 0,05) = 522500 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определяем стоимость энергии с СЭС по формуле (4.2):

$$S_{ЭЭ} = \frac{72600 + 161172 + 145200}{522500} = 0,73 \frac{\text{сом}}{\text{кВт}} \cdot \text{ч}$$

Результаты расчета включены в таблицу 4.2.

Следует сказать, что выработка на СЭС напрямую зависит от погодных условий, чистоты ячеек панели, температуры окружающей среды, а значит, следует учитывать важность установки ВЭС с точки зрения надежности электроснабжения.

Таблица 4.2 - 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 4.2 видно, что солнечная электростанция более выгодна для потребителей электроэнергии Мургабского района в летний период, поскольку стоимость энергии самая низкая.

Обе станции важны для развития инфраструктуры, но с учетом всех факторов предпочтение сегодня отдается СЭС.

Выводы по главе 4

1. Даны технико-экономические обоснования предложенных мероприятий по оптимальному планированию электропотребления в данной электроэнергетической системе. Определены затраты на инвестиции (капиталовложения) ветроэнергетических и солнечных станций, которые оцениваются в количестве 5001172 сомони в год.

2. Определены эксплуатационные издержки на амортизацию, отчисления на текущий ремонт и потери электроэнергии, которые составляют 507172,8 сом в год.

3. Общий срок окупаемости предлагаемых технико-экономических мероприятий оценивается 11-13 лет, при общих сроках эксплуатации электроэнергетических объектов 20-25 лет. Таким образом, после срока окупаемости электростанции на ВИЭ ещё более 10 лет будут приносить финансовые доходы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представлен исторический анализ и дана оценка энергетического баланса Республики Таджикистан в целом и Мургабского района в частности. Отдан приоритет возможности использования ВИЭ в связи с тем, что электроэнергетическая система Мургабского района является локальной и должна опираться преимущественно на эти источники энергии.

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.

3. Предложена математическая модель оптимального распределения электроэнергии для потребителей, а именно района Мургаб с учетом возможной генерации от возобновляемых источников энергии и накопителей.

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.

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

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АБ – аккумуляторная батарея
- АЭП и ЭМ – автоматизированный электропривод и электрические машины.
- ВИЭ – возобновляемый источник энергии.
- ВЭУ – ветроэнергетическая установка.
- ВЭС – ветроэлектростанция
- ГБОА – Горно-Бадахшанская автономная область.
- ГЭС – гидроэлектростанция
- КПД – коэффициент полезного действия.
- ЛЭС – локальная электрическая сеть
- МГЭС – малая гидроэлектростанция.
- СИС – система
- СЭС – солнечная электростанция
- СЛАУ – система линейных алгебраических уравнений.
- СНАУ – система нелинейных алгебраических уравнений.
- СПИН – сверхпроводящий индукционный накопитель.
- ТП ИЭС – технологическая платформа «Интеллектуальные энергетические системы РФ»
- ТЭЦ – теплоэлектроцентраль.
- ТТУ – Таджикский технический университет
- ФЭП – фотоэлектрическая панель
- ЭМВОС – эталонная модель взаимодействия открытых систем
- ЭЭС – электроэнергетическая система.
- ЭВМ – электронные вычислительные машины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wind power systems [Электронный ресурс]/ Учебные материалы - Режим доступа: <https://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/> (дата обращения: 12.04.2021)
2. Kaldellis J.K., Zafirakis D. The wind energy (r)evolution: A short review of a long history // Renewable Energy. Vol. 36. Climate Action. Available online [Электрон. ресурс] / Реж. дост.: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/parisagreement_en.
3. РусГидро [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ar2015.rushydro.ru/ru/3-3-tarifnoe-regulirovanie-2/> (дата обращения: 28.04.2021)
4. ЭНКОСТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://encosts.ru/optoviy-rynok/cenovie-i-necenovie-zoni-optovogo-rynka> (дата обращения: 28.04.2021)
5. Rikin Tailor, L'ubomír Веѝа, Zsolt Їonka, Michal Kolcun. Design of Management Systems for Smart Grid. In Proceedings of the 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE), Rzeszow, Poland, 13-15 Sept. 2021.
6. Кармишин, А.В. Ветер и его использование / А.В. Кармишин. – М. Л.: Госиздат Технико-теоретической литературы, 1951. – 65 с.
7. Лабейш, В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.Г. Лабейш. – Санкт Петербург: СЗТУ, 2003. – 79 с.
8. Сироткин, Е.А. Состояние развития мировой ветроиндустрии / Сироткин Е.А., Е.В. Соломин, и др. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», (ISJAEE). – 2014 – № 05 (145). – С. 20–25.
9. Sustainable developments. Available online [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>.
10. НКОСТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://encosts.ru/optoviy-rynok> (дата обращения: 28.04.2021)

11. Минэнерго США wind energy [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges> – Загл. с экрана.
12. ЭНКОСТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://encosts.ru/roznichniy-rynok/cenoobrazovanie-na-roznichnom-rynke> (дата обращения: 28.04.2021)
13. U.S. Energy Information Administration (EIA) [Электронный ресурс]/ Учебные материалы - Режим доступа: https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=wind_history (дата обращения: 12.04.2021)
14. World Wind Energy Association [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wwindea.org/information-2/information/> (дата обращения: 12.04.2021)
15. Мирошниченко А.А. Состояние мировой ветроиндустрии за 2018 / А. З. Кулганатов, Е. М. Гордиевский, Р. Г. Галеев, Е. А. Сироткин // Электронный научный журнал "Постулат" – 2019 – №3
16. GLOBAL WIND REPORT 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gwec.net/members-area-market-intelligence/reports/> (дата обращения: 12.04.2021)
17. Сафаров М.И. Обзор возобновляющих источников энергии в районах Республики Таджикистан / М.И. Сафаров // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2017. - №3(39). –С.6-10.
18. Киргизов, А.К. Потенциал нетрадиционных источников энергии в Таджикистане / А.К. Киргизов, С. Р. Расулов, У.У. Косимов // Энергетика: Экология, Надежность, Безопасность: Материалы восемнадцатой Всеросс. науч.-техн. конф. / Томский политехнический университет. – Томск: «СПБ Графика», – 2012. – С. 99-101.
19. Asanov, M.S. Algorithm for calculation and selection of micro hydropower plant taking into account hydro-logical parameters of small watercourses mountain rivers of Central Asia / M.S. Asanov et al. // Int. J. Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 75, № 46. – pp. 37109-37119 (doi: 10.1016/j.ijhydene. 2021.08.160)

20. 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, –Куляб, 2015.-С.79-83.
21. Ахмедов, Х. М. Возобновляемые источники энергии в Таджикистане: состояние и перспективы развития / Х.М. Ахмедов, Х.С. Каримов, К. Кабутов // Физико-Технический институт им. С. У. Умарова Академии наук Республики Таджикистан. - Доклад. - Душанбе, 2010. - 30 с.
22. Kirgizov, A.K. Expert system application for reactive power compensation in isolated electric power systems / A.K. Kirgizov et al. // Int. J. Electr. Comput. Eng. – 2021. – Vol. 11, № 5. - pp 3682-3691 (doi: 10.11591/ijece.v11i5. pp3682-3691).
23. Szabó L. The History of Using Solar Energy // The 7th International Conference on Modern Power Systems (MPS 2017). 2017. Vol. 7.
24. ЭНКОСТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://encosts.ru/roznichniy-rynok/vzaimodeystvie-subjectov-roznichnogo-rynka> (дата обращения: 28.04.21)
25. Каррад Хамид Кадил / Социальные аспекты развития возобновляемых источников энергии / Макиенко М. А. // Сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции. Томский политехнический университет. 24-26 апреля 2019 – С. 247-252.
26. TECHNOLOGY REPORT, H1-2018 EXECUTIVE SUMMARY [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.globalsolarcouncil.org/technology_report (дата обращения: 12.04.2021)
27. Lawan, Salisu. A Review of Hybrid Renewable Energy Systems Based on Wind and Solar Energy / Salisu Lawan, Wan Azlan Wan Zainal Abidin // Modeling, Design and Optimization, 2020. - № 2. – pp. 21 (doi: 10.5772/intechopen.85838).
28. Climate Action. Available online [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en.

29. Union of Concerned Scientists. Science for a Healthy Planet and Safer World [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html (дата обращения: 20.04.2021)
30. Ho Soon Min at all. Edition: 7 Chapter: Renewable Energy Technologies Publisher: Ideal International E-Publication Pvt. Ltd. Editors: Ho Soon Min.
31. Global Market Outlook 2019-2023 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solarpowereurope.org/category/reports/> (дата обращения: 12.04.2021)
32. Feddaoui, O. Control of an Isolated Microgrid Including Renewable Energy Resources / O. Feddaoui, R. Toufouti, D. Labed, S. Meziane // Serbian Journal of Electrical Engineering, 2020. - № 17. - pp. 297-312 (doi: 10.2298 /SJEE2003297F).
33. John Bhatti, H. Making the World More Sustainable: Enabling Localized Energy Generation and Distribution on Decentralized Smart Grid Systems / H. John Bhatti, M. Danilovic // World Journal of Engineering and Technology, 2018. - № 6. – pp. 350-382 (doi: 10.4236/wjet.2018.62022).
34. Zhenchen, Deng. Economic feasibility of large-scale hydro-solar hybrid power including long distance transmission / Deng Zhenchen, Xiao Jinyu, Zhang Shikun, Xie Yuetao, Rong Yue, Zhou Yuanbing // Global Energy Interconnection, 2019. - № 2(4). - pp. 290-299 (doi: 10.1016/j.gloi.2019. 11.001).
35. Мировая энергетическая статистика [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>
36. Ausfelder, F. Energy Storage as Part of a Secure Energy Supply / F. Ausfelder, C. Beilmann, M. Bertau // ChemBioEng Reviews, 2017. - № 4. - pp. 144-210 (doi: 10.1002/cben.201770033)
37. Fang-Fang, Li. Multi-objective optimization for integrated hydro-photovoltaic power system / Li Fang-Fang, Qiu Jun // Applied Energy, 2016. - № 167. – pp. 377-384 (doi: 10.1016/j.apenergy.2015.09.018).

38. Renewables 2013. Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.ren21.net.
39. Weibull W. A statistical distribution function of wide applicability // J. Appl. Mech. 1951. Vol. 18. – P. 293-297.
40. Васильев Ю.С. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: справочник / Ю.С. Васильев и др.-СПб.: СПбГПУ, 2008-250 с.
41. Persaud S., Flynn D., Fox B. Potential for wind generation on the Guyana coastlands // Renew. Energy. 2021. Vol. 18(2). – P. 175-189.
42. Jurasz, J. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions / J. Jurasz, F.A. Canales Kies, M. Guezgouz, A. Beluco // Solar Energy, 2020. - № 195. - pp. 703-724 (doi: 10.1016/j.solener.2019.11.87).
43. Lopes, J. A. P. Using vehicle-to-grid to maximize the integration of intermittent renewable energy resources in islanded electric grids / J. A. P. Lopes, P. M. R. Almeida, and F. J. Soares // International Conference on Clean Electrical Power. – 2009. – P. 290–295.
44. Киргизов, А.К. Экономическая выгода от использования солнечного теплоснабжения в Таджикистане / А.К. Киргизов, М.Б. Иноятлов // Вестник Таджикского технического университета. - 2009. - № 5. - С. 32-34.
45. Кабутов, К. Возобновляемые источники энергии: проблемы и перспективы использования в Таджикистане / К. Кабутов // Материалы международной конференции «Хартия Земли и устойчивое развитие Таджикистана». - Душанбе, 2011. - С. 75-81.
46. Юлдашев З. Ш. Возобновляемые источники энергии как фактор устойчивого развития сельских территорий Республики Таджикистан / З.Ш. Юлдашев, Л.С. Касобов, Р.З. Юлдашев, А. К. Киргизов. // Вестник Таджикского технического университета. - 2014. - № 2 (26). - С. 59-61.
47. 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.

48. Economic Commission for Europe. dam safety in Central Asia: Capacity-Building and Regional Cooperation. United Nations / New York and Geneva: Water Series, № 5, 2007.

49. Manusov, V. Energy Consumption Conditions Optimization of the Autonomous System Based on Carbon-Free Energy / V. Manusov, M. Nazarov // Ural Smart Energy Conference (USEC). – 2020. - pp. 93-96 (doi: 10.1109/USEC50097.2020.9281208).

50. Сайт Президента Республики Таджикистан «prezident.tj».

51. Валамат-Заде, Т. Энергетика Таджикистана: настоящее и ближайшее будущее / Т. Валамат-Заде // Центральная Азия и Кавказ. - 2008. - №1(55). - С.104-113.

52. Сафаров М.И. Перспективы применения комплексов альтернативной энергии ветра и солнечной в Республики 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.

53. Водно-энергетические ресурсы Центральной Азии: проблемы использования и освоения / Отраслевой обзор // Евразийский банк развития. - Алматы, 2008. - 44 с.

54. Гидроэнергетические ресурсы Таджикистана [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mewr.tj/?page_id=614 (дата обращения: 30.04.2021)

55. Абдуллаева, Г.В. Баканин и др. - Ленинград: Недра, 1965. - 657 с.

56. Петров Г.Н. Комплексное использование водно-энергетических ресурсов трансграничных рек Центральной Азии. Современное состояние, проблемы и пути решения / Г.Н. Петров, Х.М. Ахмедов. - Душанбе: Дониш, 2011. - 234 с.

57. Economic Commission for Europe. dam safety in Central Asia: Capacity-Building and Regional Cooperation. United Nations / New York and Geneva: Water Series, № 5, 2007.

58. Таджикистан: углубленный обзор энергоэффективности / Секретариат Энергетической Хартии, 2013 // Boulevard de la Woluwe, 56 B-1200 Brussels, Belgium.

59. Таджикистан: углубленный обзор инвестиционного климата и структуры рынка в энергетическом секторе / Секретариат Энергетической Хартии, 2010 // Boulevard de la Woluwe, 56 B-1200 Brussels, Belgium.

60. Гидроэлектростанции (ГЭС) являются базовыми генерирующими электроэнергию источниками Таджикистана [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tj.sputniknews.ru/20180804/tajikistan-ges-gidroelektrostaciya-1026367719.html>(дата обращения: 30.04.2021)

61. 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.

62. Энергия солнца и ветра: [Электронный ресурс]. <https://vecherka.tj/archives/49822> (дата обращения: 27.05.2023).

63. Law A. M., Kelton W. D. Simulation modeling and analysis. 2nd ed. New york: McGraw-Hill, 1991.

64. Kollu R., Rayapudi S.R., Narasimham S.V.L., Pakkurthi K. M. Mixture probability distribution functions to model wind speed distributions // Int. J. Energy Environ. 2012. Vol. 3(1). – P. 27.

65. 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.

66. ОАХК «Барки Точик», официальный сайт: <http://www.barqitajik.tj/>

67. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1715-р от 13.11.2009 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 15.04.2017).

68. Интеллектуальная энергетическая платформа РФ [Электронный ресурс]. URL: http://rosenergo.gov.ru/regulations_and_methodologies/tehnologicheskaya_platforma_tp_ies (дата обращения: 02.08.2019).

69. Суворов А.Б. Телекоммуникационные системы, компьютерные сети и Интернет: учебное пособие/А.Б. Суворов - Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 384с.: ил.

70. Закон Российской Федерации об электроэнергетике // Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ [Электронный ресурс]. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 04.05.2023).

71. Закон Республики Таджикистан об энергетике дата: 29.11.2000 [Электронный ресурс]. <http://ncz.tj/content/закон-республики-таджикистан-об-энергетике> (дата обращения: 05.05.2023).

72. Закон Республики Беларусь Об электроэнергетике [Электронный ресурс]. <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/news/Proekt-Zakona-26-09-2017.pdf> (дата обращения: 05.05.2023).

73. Закон Республики Казахстан Об электроэнергетике от 9 июля 2004 года № 588-II (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.05.2023 г.) [Электронный ресурс]. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1049314&pos=5;-106#pos=5;-106 (дата обращения: 05.05.2023).

74. Закон Республики Узбекистан об электроэнергетике Принят Законодательной палатой 24 июня 2009 года одобрен сенатом 28 августа 2009 года [Электронный ресурс]. <https://lex.uz/docs/1521175> (дата обращения: 05.05.2023).

75. Закон Кыргызской Республики об электроэнергетике г. Бишкек от 28 января 1997 года N 8 [Электронный ресурс]. <http://energo->

cis.ru/wyswyg/file/Zakon/Nacional/Kyrgysya/1997%2001%2028%20Закон%20об%20электроэнергетике%20КРNo.pdf (дата обращения: 05.05.2023).

76. Закон Туркменистана об электроэнергетике от 16 августа 2014 года № 104-v (с изменениями по состоянию на 08.06.2019 г.) [Электронный ресурс]. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31600269 (дата обращения: 05.05.2023).

77. Закон Республики Армения об энергетике принят 7 марта 2001 года [Электронный ресурс]. https://www.translation-centre.am/pdf/Trans_ru/НН_Оренq/Energetika/Energetika_ru.pdf (дата обращения: 05.05.2023).

78. Закон Республики Молдова об энергетике с изменениями 2023 год №174 от 21.09.2017, редакция от 21.09.2017 [Электронный ресурс]. https://lege.md/ru/download_act/ob_energetike (дата обращения: 05.05.2023).

79. Закон Азербайджанской Республики об электроэнергетике от 3 апреля 1998 года № 459-IQ (с изменениями и дополнениями по состоянию на 17.06.2022г.) [Электронный ресурс]. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30598502 (дата обращения: 05.05.2023).

80. Vu K., Begovic M.M., Novosel D. Grids get smart protection and control // IEEE Computer Applications in Power, 1997, available at: <http://www.cs.ucsb.edu/~chong/290N-W10/smart-grid-alg>.

81. Burr M.T. Reliability demands drive automation investments / Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department, 2003, № 1, available at: <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>.

82. Final report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids, available at: <ftp://ftp.cencenelec.eu/CENELEC/Smartgrid/SmartGridFinalReport.pdf>.

83. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0, available at: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf.

84. Гуревич В.И. Smart Grid: Западный вариант [Электронный ресурс]. – URL: <http://relay-protection.ru/content/view/114/11>.

85. Why the Smart Grid must be based on IP standards, available at: <http://web.archive.org/web/20110720140344/http://blog.ds2.es/ds2blog/2009/05/why-smart-grid-must-use-ip-standards.html>.
86. Intelligent protection relay system for smart grid / F. Kawano, G.P. Baber, P.G. Beaumont, K. Fakushima, T. Miyoshi, T. Shono, M. Ookubo, T. Tanaka, K. Abe, S. Umeda // *Developments in Power System Protection. The 10th IET International Conference (DPSP 2010)*, 29 March – 1 April 2010, Manchester, 2010.
87. GridWise: The Benefits of a Transformed Energy System / L.D. Kannberg, M.C. Kintner-Meyer, D.P. Chassin, R.G. Pratt, J.G. DeSteele, L.A. Schienbein, S.G. Hauser, W.M. Warwick; Pacific Northwest National Laboratory under contract with the United States Department of Energy. – 2003. – November. – P. 25.
88. Nejad M.F. Application of smart power grid in developing countries // *IEEE*. – P. 427–431. doi: 10.1109/PEOCO.2013.6564586.
89. EES EAEC. Мировая энергетика [Электронный ресурс]. <https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-ssa> (дата обращения: 11.05.2023).
90. Закон об энергетике США 2005 г. - US Energy Law of 2005 [Электронный ресурс]. https://ru.wikibrief.org/wiki/Energy_Policy_Act_of_2005 (дата обращения: 12.05.2023).
91. Авакян, А.Б. Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы / А.Б. Авакян и др.; под ред. А.Н. Вознесенского. - М.: Наука, 1967. - 599 с.
92. Сафаров М.И. Создание энергетических источников – основная цель достижения энергетической независимости / М.И. Сафаров // *Материалы III НПК аспирантов, магистрантов и студентов “Наука – основы инновационного развития”*, 26-27 апреля 2018г., ЧАСТЬ 1. – Душанбе, 2018. -С.42-44.
93. Masseran N., Razali A.M., Ibrahim K., Zaharim A., Sopian K. The probability distribution model of wind speed over east Malaysia // *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.* 2013. Vol. 6(10). P. 1774–1779.
94. Johnson N.L., Kotz S., Balakrishnan N. *Continuous univariate distributions*. 2nd ed. New York: Wiley, 1994.

95. Shakirov, V.A.; Artemyev, A.Yu. The choice of a site for the placement of a wind power plant using computer modeling of terrain and wind flow / V.A. Shakirov, A.Yu. Artemyev // Bulletin of Irkutsk State Technical University. - 2017. - вып. 21, № 11. - pp. 133-143 (doi: 10.21285/1814-3520-2017-11-133-143).

96. NCBI National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс]/ Учебные материалы - Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3900058/> (дата обращения: 24.03.2021)

97. Denholm, P. An evaluation of utility system impacts and benefits of optimally dispatched plug-in hybrid electric vehicles / P. Denholm, W. Short. – National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, Technical Report, 2006. – 25 p.

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

99. 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.

100. Sobieski, D. W. An economic assessment of battery storage in electric utility systems / D. W. Sobieski and M. P. Bhavaraju // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1985. – Vol. 104. – no. 12. – P. 3453–3459.

101. Tsikalakis, A. G Centralized control for optimizing microgrids operation / A. G. Tsikalakis, N. D. Hatziargyriou // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2011. – P. 1–11.

102. Chacra, F. A. Impact of energy storage costs on economical performance in a distribution substation / F. A. Chacra, P. Bastard, G. Fleury, R. Clavreul // IEEE Transactions on Power Systems. – 2005. – Vol. 20. – no. 2. – P. 684–691.

103. Kaminsky F.C. Four probability densities /log-normal, gamma, Weibull, and Rayleigh/ and their application to modelling average hourly wind speed // The International Solar Energy Society. Annual Meeting. 1977. – P. 19-26.
104. World Heritage Encyclopedia [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://community.worldheritage.org/> (дата обращения: 02.12.2022)
105. Сафаров М.И. Математическая модель гидротурбины с учетом КПД для гидроагрегата мини-ГЭС / Ш.С. Махмадов, Р.Х. Диёрзода, Н. Хасанзода, М.И. Сафаров, А.С. Зиёев // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. -№3(51). -С. 37-41.
106. Mulder, G. Electricity storage for grid-connected household dwellings with PV panels / G. Mulder, F. D. Ridder, D. Six // Solar Energy. – 2010. – Vol. 84. – P. 1284–1293.
107. Huang, A. The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: The energy internet / A. Huang, M. Crow, G. Heydt, J. Zheng, S. Dale // Proceedings of the IEEE. – 2011. – Vol. 91. – P. 133–148.
108. 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.
109. Голицын, М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина. – Москва: Наука, 2004. – 159 с.
110. Лукутин, Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии / Б.В. Лукутин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
111. 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.

112. Погода в 243 странах мира [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 30.04.2021)

113. Энергосбытовая компания «Восток» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vostok-electra.ru/clients/legal-entity/useful-information/wholesale-and-retail-electricity-markets/> (дата обращения: 28.04.2021)

114. 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.

115. Tuballa, M.L. A review of the development of Smart Grid technologies / M.L. Tuballa, M.L. Abundo // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 3. – P. 710–725.

116. 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

117. Ориентация солнечных панелей. Угол наклона и направление солнечных модулей [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techtilt.ht.m>

118. 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.

119. Сангов Х.С. Современная ветроэнергетика: мировые тенденции и преспективы ее развития // Материалы IX Международной научно-технической

конференции «Электроэнергетика глазами молодёжи – 2018». Казань. 2018. – С. 160 – 164.

120. Сафаров М.И. Идентификация неисправностей механической части гидрогенератора малых ГЭС путем контроля его параметров / Ш.Р Гуламов, К.Х. Гуломзода, Р.Х. Диёрзода, М.И. Сафаров // Политехнический вестник. Научно-технический журнал. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. - №4(60). -С. 33-39.

121. Твайделл, Д. Возобновляемые источники энергии / Д. Твайделл, А. Уэйр. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 393 с.

122. Удалов, С.Н. Моделирование ветроэнергетических установок и управление ими на основе нечеткой логики / С.Н. Удалов, В.З. Манусов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 200 с.

123. Khasanzoda, N. Using Wind Resources of Far East in Smart Grid Technology with the Optimum Two-Way Energy Flow / V.Z. Manusov, N. Khasanzoda, B.V. Palagushkin // The 13th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2018). – 2018. – P. 713–718.

124. 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

125. Хасанзода, Н. Создание интегрированной системы электроснабжения острова Русский и управление её режимами / В.З. Манусов, Н. Хасанзода, Дж.С. Ахъёев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – №1-2. – С. 142–145.

126. Хасанзода, Н. Исследование оптимальных режимов интеллектуальных сетей с двухсторонним потоком энергии / В.З. Манусов, Н. Хасанзода, Ш.А. Бобоев // Научный вестник НГТУ. – 2018. – №3. – С. 175–190.

127. 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.

128. Петров, Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С. Общая оценка ситуации в энергетике в мире и Таджикистане // Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2009. № 2 (135). С. 101-111.

129. Мадалиев Умар Состояние и перспективы развития альтернативной энергетики в Республики Таджикистан [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://carnegieendowment.org/files/Presentation_%20Madvaliev%20Rus.pdf (дата обращения: 11.06.2020).

130. Хасанзода, Н. Повышение энергоэффективности ветро-энергетических установок на основе роевого интеллекта / В. З. Манусов, Н. Хасанзода, П. В. Матренин // Новое в российской электроэнергетике: науч.-техн. электрон. журн. – 2018. – № 10. – С. 36–43.

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

132. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии / С.Н. Удалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 458 с.

133. Marquardt, D.W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters / D.W. Marquardt // Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics. – 1963. – Vol. 11. – no. 2. – P. 431–441.

134. Хасанзода, Н. Оптимизация энергоэффективности ветровых ресурсов Дальнего Востока на основе алгоритма роевого интеллекта / В.З. Манусов, Н.

Хасанзода // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», (ISJAEE). – 2018. – № 19-21. – С. 12–22.

135. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбесовича. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2012. - 376 с.

Основное содержание диссертации изложено в следующих изданиях:
Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

[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-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-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 РУШИДИ ИҚТИСОД ВА САВДОИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ «МАРКАЗИ МИЛЛИИ ПАТЕНТУ ИТТИЛОҶИ»
МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ТОРГОВЛИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР»**

ШАҲОДАТНОМА

дар бораи бақайдгирии давлатии захираи иттилоотӣ

о государственной регистрации информационного ресурса

СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ кайди давлатӣ _____

№ государственной регистрации _____ № 1202200501

Ба Фехристи давлатии захираҳои иттилоотии
Ҷумҳурии Тоҷикистон дохил карда шудааст
Внесен в Государственный реестр информационных
ресурсов Республики Таджикистан

29 сентября 2022 г.

Номгӯй _____

Наименование _____

Оптимизация режимов электропотребления генерирующего потребителя
в Мургабском районе

Сарзамин _____

Страна _____ Республика Таджикистан

Доранда _____ Шарифов Н.Ш., Хасанзода Н., Сафаров М.И., Абдурахмонов А.Я., Каримзода Дж.Х.,
Владелец _____ Саъдуллозода Ш.С Рахимов Дж.Б

Таҳиягар _____ Шарифов Н.Ш., Хасанзода Н., Сафаров М.И., Абдурахмонов А.Я., Каримзода Дж.Х.,
Разработчик _____ Саъдуллозода Ш.С Рахимов Дж.Б

Директор _____ Исмоилзода М.Х

«УТВЕРЖДАЮ»
 Ректор Таджикского технического
 университета имени академика М. С. Осими
 д.э.н. Давлатзода К. К.
 « 01 » июня 2023г.

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы Сафаров М.И.
в учебный процесс Таджикского технического университета
имени академика М.С. Осими


Комиссия в составе: председателя комиссии д.т.н. профессор Махмадизода М.М., членов комиссии к.т.н. Бозорова Ш.А. и заведующего кафедрой «Электрические станции» к.т.н. доцента Султонзода Ш.М. настоящим подтверждаем, что результаты научного исследования Сафарова М.И. на тему «Оптимизация распределенной генерации в локальной электроэнергетической системе с возобновляемыми источниками энергии», используются в учебном процессе на энергетическом факультете Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

Основные положения и результаты диссертации для подготовки 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.

Изучение указанных результатов позволяет повысить качество изучения вышеуказанных дисциплин с учетом современных научных и практических требований.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ:
 Проректор по учебной работе, первый проректор  Махмадизода М.М.

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:
 Начальник управления науки и инновации  Бозоров Ш.А.

Заведующий кафедрой «Электрические станции»  Султонзода Ш.М.



ҶАМЪИЯТИ САҲОМИИ КУШОДАИ
«**БАРҶИ ТОҶИК**»

734026, ш. Душанбе, хiebони Исмоили Сомонӣ-64 Тел: +992 372 235-86-66 Факс: (10992372) 35-86-92;
Сомона: www.barqitojik.tj, Почта: barqi.tojik@gmail.com

№ 1/4068 - 2053 аз « 23 » 05 соли 2023

Ба № _____ аз « _____ » соли 20 _____

Акт

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы

Настоящим актом подтверждается заинтересованность в использовании результатов и выводов диссертационной работы М.И. Сафарова на тему «**Оптимизация распределенной генерации в локальной электроэнергетической системе с возобновляемыми источниками энергии**», по специальности 05.14.01 - Энергетические системы и комплексы.

Энергетическая компания рассматривает возможность использования возобновляемых источников энергии в качестве распределенной генерации с целью повышения качества электроснабжения удаленных потребителей.

Предложенный в работе метод оптимального электропотребления потребителем представляет значительный интерес и может быть реализован в ближайшей перспективе с учетом развития и использования возобновляемых источников энергии.

Заместитель Генерального директора



Курбонзода А.А.

Програмный код

Колонны

Имя	Тип	Размер
Код	Длинное целое	4
prof_id	Длинное целое	4
ftime	Длинное целое	4
Pssys	Одинарное с плавающей	4
Pload	Одинарное с плавающей	4
Pveu	Одинарное с плавающей	4
Pses	Одинарное с плавающей	4
Pak	Одинарное с плавающей	4
rPssys	Одинарное с плавающей	4
rPload	Одинарное с плавающей	4
rPveu	Одинарное с плавающей	4
rPses	Одинарное с плавающей	4
rPak	Одинарное с плавающей	4
mProd	Одинарное с плавающей	4
pProdaj	Одинарное с плавающей	4
mPok	Одинарное с плавающей	4
pPok	Одинарное с плавающей	4

Схема данных

profile_datadata

profile_data

id

Attributes:

обновления; Каскадные удаления

RelationshipType:

data

1 n prof_id

Обязательность; Каскадные

один-ко-многим

Индексы таблицы

Имя

Число полей

PrimaryKey

1

Таблица: data

Поля:

Код

По возрастанию

profile_data

1

Поля:

prof_id

По возрастанию

Таблица: profile_data

Колонны

Имя

Тип

Размер

id

Длинное целое

4

profile_data

Короткий текст

50

price_pot

Одинарное с плавающей

4

price_prod

Одинарное с плавающей

4

pr_sys

Одинарное с плавающей

4

pr_veu

Одинарное с плавающей

4

pr_ses

Одинарное с плавающей

4

pr_ak

Одинарное с плавающей

4

hZ

Одинарное с плавающей

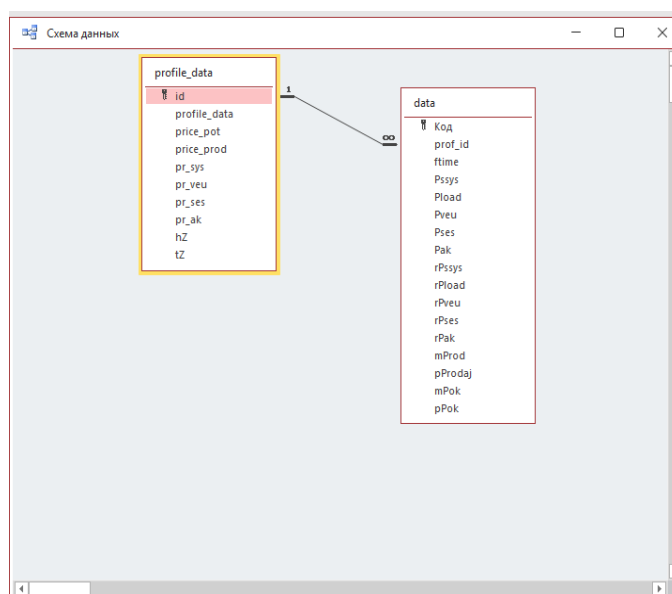
4

tZ

Одинарное с плавающей

4

Схема данных



profile_datadata

profile_data **data**

id 1 n prof_id

Attributes: Обязательность; Каскадные обновления;
Каскадные удаления

RelationshipType: один-ко-многим

Индексы таблицы

Имя

Число полей

PrimaryKey

1

Поля:

id

По возрастанию

Форма: frmND

Программы

```
1 VERSION 1.0 CLASS
2 BEGIN
3   MultiUse = -1 'True
4 END
5 Attribute VB_Name = "Form_frmND"
6 Attribute VB_GlobalNameSpace = False
7 Attribute VB_Creatable = True
8 Attribute VB_PredeclaredId = True
9 Attribute VB_Exposed = False
10 Option Compare Database
11
12 Private Sub cmdCancel_Click()
13   DoCmd.Close acForm, Me.Name
14 End Sub
15
16 Private Sub cmdOk_Click()
17   If fND <> "" Then
18     Me.Visible = False
19   Else
20     MsgBox "Введите название набора данных", vbCritical
21   End If
22 End Sub
```

Форма: Main

Программы

```
1 VERSION 1.0 CLASS
2 BEGIN
3 MultiUse = -1 'True
4 END
5 Attribute VB_Name = "Form_Main"
6 Attribute VB_GlobalNameSpace = False
7 Attribute VB_Creatable = True
8 Attribute VB_PredeclaredId = True
9 Attribute VB_Exposed = False
10 Option Compare Database
11
12 Private Sub cmd_Clear_Click()
13 Dim rst As Recordset
14
15 sql = "SELECT data. Код, data.ftime, data.Pssys, data.Pload,
data.Pveu, data.Pses, data.Pak, data.rPssys,
      data.rPload, data.rPveu, data.rPses, "
16 sql = sql & " data.rPak, data.mProd, data.pProdaj, data.mPok,
data.pPok"
17 sql = sql & " FROM data"
18 sql = sql & " where prof_id =" & vd
19 sql = sql & " order by ftime"
20
21 Set rst = DBEngine(0)(0).OpenRecordset(sql)
22
23 Do While Not rst.EOF
24   rst.Edit
25   rst!rPssys = 0
26   rst!rPveu = 0
27   rst!rPses = 0
28   rst!rPload = 0
29   rst!rPak = 0
30   rst!mProd = 0
31   rst!pPok = 0
32   rst!pProdaj = 0
33   rst.Update
34   rst.MoveNext
```

```

35 Loop
36 Me.InkData1.Requery
37 End Sub
38
39 Private Sub cmd_DelVD_Click()
40 Dim i As Long
41 If vd > 0 Then
42     If MsgBox("Удалить набор данных " & vd.Column(1),
vbDefaultButton2 + vbYesNo + vbDefaultButton1)
        = vbYes Then
43
44         DoCmd.SetWarnings False
45         sql = "Delete from data where data.prof_id=" & vd
46         DoCmd.RunSQL sql
47         sql = "Delete from profile_data where profile_data.id=" & vd
48         DoCmd.RunSQL sql
49
50         DoCmd.SetWarnings True
51         vd.Requery
52         vd = 0
53         vd_AfterUpdate
54     End If
55
56 End If
57 End Sub
58
59 Private Sub cmd_Do_Click()
60 Dim rst As Recordset
61 Dim sql As String
62 Dim pricePr As Single
63 Dim pricePok As Single
64
65 Dim nachAkm As Single
66
67 Dim AddAkm As Single
68
69 pricePr = pr1
70 pricePok = pr2
71

```

```

72 sql = "SELECT data.Код, data.ftime, data.Pssys, data.Pload,
data.Pveu, data.Pses, data.Pak, data.rPssys,
      data.rPload, data.rPveu, data.rPses, "
73 sql = sql & " data.rPak, data.mProd, data.pProdaj, data.mPok,
data.pPok"
74 sql = sql & " FROM data"
75 sql = sql & " where prof_id =" & vd
76 sql = sql & " order by ftime"
77
78 Set rst = DBEngine(0)(0).OpenRecordset(sql)
79
80 nachAkm = 0
81
82 Do While Not rst.EOF
83   rst.Edit
84   rst!rPveu = rst!Pveu
85   rst!rPses = rst!Pses
86   rst!rPload = rst!Pload
87   rst!rPak = nachAkm + rst!Pak
88
89   If rst!rPload >= rst!rPveu + rst!rPses + rst!rPak Then
90
91     rst!rPssys = rst!rPload - (rst!rPveu + rst!rPses + rst!rPak)
92     razn = rst!rPveu + rst!rPses - rst!rPload
93     rst!rPak = 0
94     nachAkm = rst!rPak
95
96   Else
97
98     rst!rPssys = 0
99     If rst!rPload >= rst!rPveu + rst!rPses Then
100       rst!rPak = rst!rPak - (rst!rPload - (rst!rPveu + rst!rPses))
101       nachAkm = rst!rPak
102     Else
103       razn = ((rst!rPveu + rst!rPses) - rst!rPload)
104       If razn >= hZ Then
105         AddAkm = hZ
106         rst!mProd = razn - hZ
107       Else

```

```

108         AddAkm = razn
109     End If
110
111     rst!rPak = rst!rPak + AddAkm
112     nachAkm = rst!rPak
113
114     If rPak > hZ Then
115         AddAkm = hZ
116     Else
117         AddAkm = razn
118     End If
119     If AddAkm + rst!rPak > tZ Then
120         rst!rPak = tZ
121         nachAkm = rst!rPak
122         rst!mProd = AddAkm + rst!rPak - tZ
123     Else
124         rst!rPak = AddAkm + rst!rPak
125         nachAkm = rst!rPak
126         rst!mProd = 0
127     End If
128
129 End If
130 End If
131 rst!pPok = rst!rPssys * psys + rst!rPveu * Pveu + rst!rPses * Pses +
rst!rPak * Pak
132
133 rst!pProdaj = rst!mProd * pricePok
134 rst.Update
135 rst.MoveNext
136 Loop
137 Me.lnkData1.Requery
138 End Sub
139
140 Private Sub cmd_NewVD_Click()
141 Dim i As Long
142 If MsgBox("Создать новый набор данных", vbDefaultButton2 +
vbYesNo + vbDefaultButton1) = vbYes
    Then
143     i = ShowNewND

```

```
144   If i > 0 Then
145       vd.Requery
146       vd = i
147   End If
148 End If
```

Форма: Main

```
149
150 End Sub
151
152 Private Sub cmd_SaveND_Click()
153 Dim rst As Recordset
154 Dim sql As String
155
156 If Nz(vd, 0) > 0 Then
157
158     sql = "SELECT profile_data.id, profile_data.profile_data,
profile_data.price_pot, profile_data.price_prod,
        profile_data.pr_sys,"
159     sql = sql & " profile_data.pr_veu, profile_data.pr_ses,
profile_data.pr_ak, profile_data.hZ, profile_data.tZ"
160     sql = sql & " FROM profile_data where id=" & vd
161 Set rst = DBEngine(0)(0).OpenRecordset(sql)
162
163     rst.Edit
164     rst!price_pot = pr1
165     rst!price_prod = pr2
166     rst!pr_sys = psys
167     rst!pr_veu = Pveu
168     rst!pr_ses = Pses
169     rst!pr_ak = Pak
```

```

170     rst!hZ = hZ
171     rst!tZ = tZ
172     k = rst!id
173     rst.Update
174     rst.Close
175 End If
176
177 Set rst = Nothing
178
179 End Sub
180
181 Private Sub vd_AfterUpdate()
182 Dim sql1 As String
183 Dim sql2 As String
184
185 If Nz(vd, 0) > 0 Then
186     pr1 = DLookup("price_pot", "profile_data", "id=" & vd)
187     pr2 = DLookup("price_prod", "profile_data", "id=" & vd)
188     psys = DLookup("pr_sys", "profile_data", "id=" & vd)
189     Pveu = DLookup("pr_veu", "profile_data", "id=" & vd)
190     Pses = DLookup("pr_ses", "profile_data", "id=" & vd)
191     Pak = DLookup("pr_ak", "profile_data", "id=" & vd)
192     hZ = DLookup("hZ", "profile_data", "id=" & vd)

```

Форма: Main

```

193     tZ = DLookup("tZ", "profile_data", "id=" & vd)
194 Else
195     pr1 = 0
196     pr2 = 0
197     psys = 0
198     Pveu = 0

```

```

199   Pses = 0
200   Pak = 0
201   hZ = 0
202   tZ = 0
203 End If
204
205 If ttab = 1 Then
206
207   sql1 = "SELECT data.ftime, data.Pload FROM Data WHERE
(((data.prof_id)=" & vd & ")) ORDER BY data.ftime;"
208
209   sql2 = "SELECT data.ftime, data.rPssys, data.rPveu, data.rPses,
data.rPak"
210   sql2 = sql2 & " FROM Data"
211   sql2 = sql2 & " WHERE (((Data.prof_id) = " & vd & " ))"
212   sql2 = sql2 & " ORDER BY data.ftime;"
213
214   Me.diag1.RowSource = sql1
215   Me.diag1.Requery
216   Me.diag2.RowSource = sql2
217   Me.diag2.Requery
218 End If
219 End Sub
220
221

```

Модуль: Modules and Functions

Программы

- 1 Attribute VB_Name = "Modules and Functions"
- 2 Option Compare Database


```

3
4 Public Function IsLoaded( _
5   strName As String, _
6   Optional lngObjectType As AcObjectType = acForm)
7   IsLoaded = (SysCmd(acSysCmdGetObjectState, _
8     lngObjectType, strName) <> 0)
9 End Function
10
11
12
13 Function ShowNewND() As Long
14 Dim s As String
15 DoCmd.OpenForm "frmND", , , , acDialog
16
17 If IsLoaded("frmND") Then
18   s = Forms("frmND")!fND
19   ShowNewND = CreateNewND(s)
20   DoCmd.Close acForm, "frmND"
21 Else
22   ShowNewND = 0
23 End If
24
25 End Function
26
27
28 Function CreateNewND(s As String) As Long
29 Dim sql As String
30 Dim rst As Recordset
31 Dim k As Long
32 Dim i As Integer

```

```

33 sql = "SELECT profile_data.id, profile_data.profile_data,
profile_data.price_pot, profile_data.price_prod,
        profile_data.pr_sys,"
34 sql = sql & " profile_data.pr_veu, profile_data.pr_ses,
profile_data.pr_ak, profile_data.hZ, profile_data.tZ"
35 sql = sql & " FROM profile_data "
36
37
38 Set rst = DBEngine(0)(0).OpenRecordset(sql)
39
40 rst.AddNew
41 rst!profile_data = s
42 rst!price_pot = 0.23
43 rst!price_prod = 0.18
44 rst!pr_sys = 0.23
45 rst!pr_veu = 0.2
46 rst!pr_ses = 0.18
47 rst!pr_ak = 0.15
48 rst!hZ = 2
49 rst!tZ = 10
50 k = rst!id
51 rst.Update
52
53 rst.Close
54
55
56 sql = "SELECT data.prof_id, data.ftime"
57 sql = sql & " FROM data "
58
59 Set rst = DBEngine(0)(0).OpenRecordset(sql)

```

```
60
61 For i = 0 To 23
62     rst.AddNew
63     rst!ftime = i
64     rst!prof_id = k
65     rst.Update
66 Next
67
68 CreateNewND = k
69 End Function
70
71
72
```