

На правах рукописи



Киргизов Алифбек Киргизович

**РАЗВИТИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ  
ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА**

(на примере Республики Таджикистан)

Специальность 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические  
системы»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2017

Работа выполнено в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования "Новосибирский государственный технический университет"

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Манусов Вадим Зиновьевич**

**Официальные оппоненты:** **Горелов Сергей Валерьевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет водного транспорта" (г. Новосибирск), заведующий кафедрой электроэнергетических систем и электротехники.

**Харлов Николай Николаевич**, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), региональный учебно-научно-технологический центр ресурсосбережения, ведущий инженер.

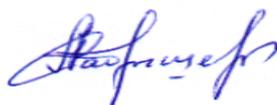
**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» г. Омск.

Защита диссертации состоится «7» июня 2017 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.10 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" по адресу: 634034, г. Томск, ул. Усова, 7, ауд.217.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" по адресу: 634050, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/2800/worklist>

Автореферат разослан " " апреля 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Кабышев А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** За последние двадцать лет из-за дороговизны нефтепродуктов на мировом рынке и самоликвидации Объединенной Энергетической Системы Средней Азии на территории Таджикистана, перестали использовать дизельные установки (ДЭС) для электроснабжения потребителей электроэнергии из-за дороговизны дизельного топлива, как в частных, так и в общественных секторах экономики. Особенно это касается высокогорных регионов за пределами зоны влияния национальной электроэнергетической системы (ЭЭС).

В качестве альтернативных источников электроэнергии Правительством Республики Таджикистан предложен новый путь развития сельской электрификации, суть которого заключается в общенациональном переходе к использованию местных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая нетрадиционные ресурсы.

Для реализации этого предложения были приняты ряд законов и постановлений Правительством Республики Таджикистан по программам краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного выполнения, развития и использования возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, биомассы, гидравлической и других).

Главную роль в осуществлении этого процесса по объективным причинам и обстоятельствам, а также прекрасным природным условиям предпочтение отдают источникам малой генерации, как приоритетному стратегическому направлению развития электроэнергетики высокогорных регионов Таджикистана.

Актуализация задачи использования ВИЭ состоит также в том, что эти источники относятся к классам малые, мини и микро что обусловлено незначительностью мощности, которые они генерируют гидроэлектростанции (ГЭС) в связи с использованием малых водотоков, солнечные электростанции (СЭС) в связи с рассеянностью солнечной радиации и ветроэлектростанции (ВЭС) в связи с слабыми значениями ветра из за рельефа местности. С учетом вышесказанного эти виды энергии правомерно называть распределенной генерации, так как они используются в Республике Таджикистан в отдаленных и весьма удаленных населенных пунктах, включая высокогорные районы, не имеющие электрической связи с центральной энергосистемой.

К сожалению, в настоящее время, большинство из этих построенных малых и мини ГЭС не работают, а многие из них уже демонтированы. Оставшиеся функционируют только в зимний период в течение 3-4 месяцев, притом работают, с низкими гарантированными мощностями, всего лишь 10% от установленной мощности. Основная причина неудовлетворительной работы - неправильное определение гарантированной мощности ГЭС и их работа в составе существующей энергосистемы.

Такой характер процесса отрицательного развития малой гидроэнергетики на базе использования гидроэнергетических ресурсов небольших водотоков Таджикистана становится закономерным, он имеет тенденцию к увеличению, становится достаточно чувствительным для экономики страны и ее электроэнергетической системы. В конце концов, продолжение безэффективного

использования возобновляемых источников энергии дискредитирует саму идею развития малой генерации в республике. В работе поставлена задача исследования методологического подхода при разработке распределенной генерации ВИЭ в высокогорных отдаленных локальных районах Таджикистана. Вопросы развития ВИЭ и особенно малой гидроэнергетики Таджикистана рассмотрены в работах разных учёных.

В большинстве исследований внутри Таджикистана авторы рассматривают различные аспекты проблемы малой гидроэнергетики такие как: оценка гидроэнергетического потенциала малых рек республики; проблемы ледообразования и шугохода; социально-экономические и экологические безопасности и другие немаловажные вопросы. К сожалению, исследование процессов организации и управления проектирования мини и малых ГЭС, в особенности современного состояния методологических подходов их применимости при разработках технико-экономических обоснований строительства малых гидроэнергетических установок не нашли свое отражение.

**Степень разработанности темы исследования.** Необходимо отметить, что отдельные вопросы данной проблемы исследовались и отражены в работах Д.С. Щавелева, В.Я. Карелина, В. В. Вольшаника, Н. К. Малинина, Л. П. Михайлова, Т.А. Филипповой, Ю.А. Секретарева, В.М. Горштейна, Е.В. Цветкова и других. Однако в работах этих авторов не уделяется должное внимание оценки влияния местных факторов на энергетические параметры проектируемых малых ГЭС, а также режимных факторов на процесс выработки электроэнергии. Они не оценивают влияния климатических и высотных факторов на выбор механического и гидроэнергетического оборудования, естественных и искусственных водоемов на увеличение производства электроэнергии и т.д. Практически при расчетах установленной мощности не учитывают реальные значения гарантированной мощности водотоков и их влияние на окончательное решение обоснованности строительства малых ГЭС.

В последние годы широко используются другие возобновляемые источники энергии (солнце, ветер) которые позволяют покрыть дефицит электроэнергии. Использование ВИЭ для оптимизации режимов работы локальных электрических сетей, покрытие графиков нагрузки, с помощью распределённой генерации требует дополнительного исследования. В работах В. И. Виссарионовна, М.Г. Тягунова, Б.В. Лукутина, В.В. Велькина, В.З. Манусова, С.Н. Удалова и др. отражены некоторые аспекты применения ВИЭ в качестве распределённой генерации для разных регионов в зависимости от климатического и географического расположения.

**Идея работы:** исследование и оптимизация режимов гибридных электроэнергетических центров с учетом нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

**Цель и задачи работы.** Разработка и исследования локальных электроэнергетических систем Таджикистана, как гибридных энергетических центров со 100 процентным использованием распределенной генерации ВИЭ с применением нечеткой логики и алгоритма роевого интеллекта.

Для достижения цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния проектирования и разработка методики определения гарантированной мощности малых ГЭС от высоты расположения над уровнем моря;
2. Математическое обоснование лингвистической классификации источников распределенной генерации возобновляемой энергии (гидроресурсов, солнечной, ветровой и др.) как пресекающихся нечетких интервалов на основе нечетких моделей;
3. Исследовать возможность покрытия и сокращения дефицита активной мощности за счет развития возобновляемых источников энергии (зеленой энергии);
4. Развитие электроэнергетической системы путем создания энергетических центров «HUB» с использованием и преобразованием энергии возобновляемых источников;
5. Техничко-экономическая оценка эффективности решения задач с использованием ВИЭ;
6. Выбор узлов для размещения компенсирующих устройств в распределительных сетях на основе нечеткой логики;
7. Оптимизация выбора мощности компенсирующих устройств с применением алгоритма роевого интеллекта;

#### **Научная новизна работы:**

1. Предложена и обоснована математическая интерпретация существующей лингвистической классификации источников малой генерации на основе нечетких моделей в форме функций принадлежности пересекающихся классов;
2. Предложена и разработана новая модель гибридного энергетического центра, как интегрированной системы возобновляемых источников энергии, отличающейся их объединением и преобразованием на основе матрицы сцепления;
3. Сформулирована и разработана система для оптимального размещения и выбора компенсирующих устройств с обоснованием приоритетности узлов на основе нечеткой логики;
4. Разработан метод оптимизации режимов по реактивной мощности с использованием алгоритма светлячков роевого интеллекта (Fire-fly) с возможностью дооптимизации градиентным методом.

**Теоретическая значимость работы** заключается в исследовании эффективного применения методов искусственного интеллекта в задачах регулирования и оптимизация режимов по реактивной мощности, с учётом распределенной генерации возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

#### **Практическая значимость работы:**

1. Выявлены значения гарантированной мощности ГЭС и доступной мощности ВИЭ в зависимости от высоты их расположения над уровнем моря, что позволяет принимать более эффективные решения.
2. Объединение и конвертирование источников ВИЭ в гибридном энергетическом центре позволяет существенно улучшить электроснабжение

удаленных энергопотребителей, снизить тарифы и уменьшить бедность населения.

3. Обоснована и доказана возможность устранения дефицита активной мощности в осенне-зимнем периоде за счет комбинированного использования распределенных источников ВИЭ.
4. Оптимизация режимов по размещению источников реактивной мощности, в распределительных сетях позволяет снизить потери мощности от 9 до 15%.
5. Результаты исследований нашли отражение в методических инструкциях по подготовке инженерно технических кадров для проектных организаций и в учебном процессе Таджикского технического университета.

**Методология диссертационного исследования.** Методологической и теоретической основой диссертационного исследования послужили результаты отечественных и зарубежных исследований в области использования распределенной генерации возобновляемых источников энергии для устранения дефицита электропотребления активной и реактивной мощности путём создания гибридных энергетических центров. При выполнении работы применены методы математического моделирования на основе искусственного интеллекта.

**Методы диссертационного исследования.** В ходе исследования применялись методы искусственного интеллекта с использованием нечётких множеств, нечёткой логики и алгоритма роевого интеллекта светлячков (Fire-Fly) для решения двухкритериальной оптимизационной задачи.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Общая характеристика доступности ресурсов возобновляемых и нетрадиционных источников энергии в РТ;
2. Новая математическая интерпретация лингвистической классификации источников распределенной генерации ВИЭ на основе пересекающихся классов теории нечетких множеств;
3. Решение задачи устранения и снижения дефицита активной мощности в осенне-зимнем периоде в электроэнергетической системе Таджикистана;
4. Создание математической модели гибридного энергетического центра с использованием матрицы сцепления как конвертора генерации передачи, распределения и хранения различных видов энергии;
5. Реализация комбинированного метода размещения и выбора источников реактивной мощности комбинированным, методом теории нечетких множеств и алгоритмов роевого интеллекта;
6. Оптимизация режимов радиальных электрических сетей по реактивной мощности и потери активной мощности как 2-х критериальной задачи с использованием алгоритма светлячков роевого интеллекта;
7. Оптимальный выбор и размещение источников реактивной мощности методом роевого интеллекта с дооптимизацией градиентным методом.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования:**

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертационной работы подтверждаются корректным использованием теоретических основ электротехники и методов математического моделирования на основе искусственного интеллекта, которые хорошо апробированы и подтверждаются их

практическим использованием. Полученные результаты по применению статических компенсаторов достаточно хорошо подтверждаются на экспериментальном стенде.

Основные положения и отдельные результаты диссертационной работы докладывались: на V - Всероссийской научно-технической конференции “Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования” ТПИ. Томск 2012г; на 8-ой международной конференции по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики “Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики” (ТулГУ.Тула – Донецк - Минск- 2012.г), на восемнадцатой Всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Экология, Надежность, Безопасность: (Томск: «СПБ Графика», 2012.г.), материалы девятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Экология, Надежность, Безопасность: (Т.1.- Томск: «СПБ Графика», 2013.г.), на 16 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering. Florence, (Italy, 7-10 June 2016), на International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016) ( Ekaterinburg, Russia, May 19, 2016), на заседаниях кафедр “Электрические станции” Таджикского Технического Университета имени М.С. Осими и кафедр “Автоматизированных электроэнергетических систем” и “Систем электроснабжения предприятий” Новосибирского Государственного Технического Университета.

**Внедрение результатов исследований.** Результаты исследований преданы и используются в ТГУ имени академика М.С. Осими и ОАХК «Барки Точик»

**Личный вклад автора** Автор принимал непосредственное участие в анализе состояния и перспективе использования возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан, обработке и обобщение полученных данных в разработке алгоритмов и расчётах по оптимизации режимов гибридных энергетических центров.

**Публикации.** По результатам выполненных в работе исследований опубликованы 20 статей, в том числе 3 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи отмечены в наукометрических системах «Web of Science» и 15 статей в прочих изданиях. Личный вклад автора в опубликованных работах составляет не менее 60%.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 128 наименований и 5 приложений. Общий объем работы составляет 189 страниц, в том числе 152 страницы основного текста, включая 46 рисунка, 29 таблиц.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, ее научная новизна и практическая значимость, представлены цель и задачи диссертационной работы. Приведен краткий обзор содержания работы.

**В первом разделе** рассмотрен потенциал возобновляемых ресурсов Таджикистана.

**Гидроэнергетические ресурсы** большие запасы гидроресурсов в настоящее время и в перспективе следует рассматривать как возможность развития энергетики страны. Предварительные значения потенциальных гидроэнергетических ресурсов Таджикистана были определены при создании водного кадастра водной энергии рек СССР в 30-и годы прошлого столетия. В схеме использования реки Вахш и ее притоков составленной 1932-33г Вахшской экспедицией Водно-энергетического объединения впервые наблюдается изучение реальной возможности использования гидроэнергетических ресурсов путем строительства, как малых, так и больших гидроэлектростанций. Более детальное изучение потенциальной энергии водотоков республики было проведено в 1955-1959гг. академией наук Таджикской СССР и наконец, в 1965 г. вышел капитальный труд «Гидроэнергетические ресурсы» коллектива 14 авторов под руководством А.Н. Вознесенского. Этот труд полностью обобщил весь объем собранных материалов, относящихся к вопросу определения гидроэнергетического потенциала республики вплоть до 1965 года.

Производство электроэнергии за период до 2016 года по данным государственной статистики выросло в 11 раз и достигло 17 млрд. кВт·ч, 99% из которой вырабатывается на гидроэлектростанциях.

Общие потенциальные гидроэнергетические ресурсы Таджикистана настоящее время оцениваются в среднегодовой мощностью в 51,8 млн. кВт. Из них 32,6 млн. кВт составляют мощность 511 учетных рек 19,5 млн. кВт - мощность рек, длиной менее 10 км и мощность склонного стока. Эти ресурсы в объеме 32,6 млн. кВт (285,6 млрд. кВт·ч) распределены по бассейнам рек территории республики следующим образом.

Таблица 1. – Распределение гидроэнергетических ресурсов Таджикистана

| Потенциальная мощность рек, МВт | Количество рек | Суммарная мощность |       |
|---------------------------------|----------------|--------------------|-------|
|                                 |                | МВт                | %     |
| Более 500                       | 7              | 20087              | 62,13 |
| 100-500                         | 28             | 6045               | 18,7  |
| 50-100                          | 44             | 3002               | 9,26  |
| 25-50                           | 135            | 2139               | 6,62  |
| 5-10                            | 137            | 626                | 1,97  |
| Менее 5                         | 190            | 439                | 1,94  |
| Всего                           | 512            | 32638              | 100,0 |

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы малых рек Средней Азии составляют 3,1 млн. кВт, (27,2 млрд. кВт·ч). Эта мощность распределяется по среднеазиатским государствам следующим образом: Таджикистан 1,6 млн. кВт и (14 млрд. кВт·ч) ; Узбекистан 0,5 млн. кВт (4,4 млрд. кВт·ч); Киргизистан-0,8 млн. кВт (7,0 млрд. кВт·ч); Туркменистан 0,2 млн. кВт (1,8 млрд. кВт·ч), т.е. 51,4% гидроэнергетические ресурсы малых рек Средней Азии сосредоточены в Таджикистане.

**Солнечные ресурсы** Климатические условия Таджикистана очень благоприятны для использования солнечной энергии могла бы удовлетворить 10-

20% национального спроса на энергию. Суммарная солнечная радиация при ясном небе достигает 700-800 Вт/м<sup>2</sup> или 7,500-8,000 МДж/м<sup>2</sup>, интенсивность прямой солнечной радиации изменяется от 1,30 до 1,7 кал/см<sup>2</sup>/мин. Эти параметры намного выше в горных территориях, особенно на Восточном Памире, где население имеет ограниченную возможность использовать гидроэнергетические ресурсы. По укрупненным параметрам показатели интенсивности прямой солнечной радиации оцениваются от 10,3 кВт·ч/м<sup>2</sup> (июнь-июль) до 5,9 кВт·ч/м<sup>2</sup> (декабрь-январь). Среднесуточное значение солнечного облучения в ясный день равно 228 Вт/м<sup>2</sup>. Эти данные хорошо согласуются с непосредственными наблюдениями метеостанций в таблице 2.

Таблица 2 – Солнечная радиация по данным гидрометеостанций РТ

| Величина<br>Вт/м <sup>2</sup> | Месяц |       |       |       |     |       |     |       |       |       |     |     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-----|
|                               | I     | II    | III   | IV    | V   | VI    | VII | VIII  | IX    | X     | XI  | XII |
| Мин.                          | 80    | 114   | 153   | 209   | 275 | 326   | 322 | 290   | 232   | 164   | 100 | 65  |
| Средн.                        | 87.2  | 121.6 | 160.4 | 225.1 | 281 | 330.7 | 329 | 294.1 | 244.1 | 167.4 | 110 | 756 |
| Макс.                         | 96    | 137   | 187   | 320   | 304 | 350   | 340 | 305   | 258   | 172   | 114 | 86  |

**Ветровые ресурсы** – сеть метеорологических наблюдений в Таджикистане считается не развитой и недостаточно плотной. Из-за этого в республике до настоящего времени реальный потенциал энергии ветра остается практически не изученным. Например, не проводились измерения скорости ветра на уровне 30 метров от земной поверхности, т.к. возможно на такой высоте потенциал энергии ветра может быть на 10-20% выше, чем на уровне 10 метров. Ветроэнергетический потенциал по оценкам экспертов достигает 25-60 млрд. кВт·ч/год.

Например, в предгорных и горных районах повторяемость штилей снижается до 20-30%, а в замкнутых котловинах и под склонами гор наблюдается максимальная повторяемость штилей до 45%. На ледниках (6-10%) и открытых горных перевалах (15%) замечена минимальная повторяемость штиля. Тем не менее, дополняющей доминантой гидроэнергетики ветроэнергетическими носителями является оправданным в определенных регионах. Наиболее перспективными направлениями являются горы Памира в Горно-Бадахшанской автономной области, и область Вахшской долины.

Таким образом, предварительные ресурсы ветроэнергетики в Таджикистане оцениваются следующими величинами:

- валовый потенциал – 62257 МВт или 163 млн. т.у.т/год;
- технический потенциал – 3852 МВт или 10,1 млн. т.у.т/год;
- экономически целесообразный потенциал – 1926 МВт или 5.1 млн. т.у.т/год.

**Во втором разделе** рассмотрены, вопросы проектирования малых гидроэлектростанций (МГЭС) в условиях высокогорья. Для правильного проектирования МГЭС при работе на децентрализованную нагрузку нужно учитывать обеспеченность стока малых водотоков.. В наших исследованиях для оценки его влияния на энергетических показателях мы рекомендуем три значения норм обеспеченности: 85%, 90%, 95%.

Гистограмма распределения существующих 325 МГЭС по мощности представлена на рисунке 4.

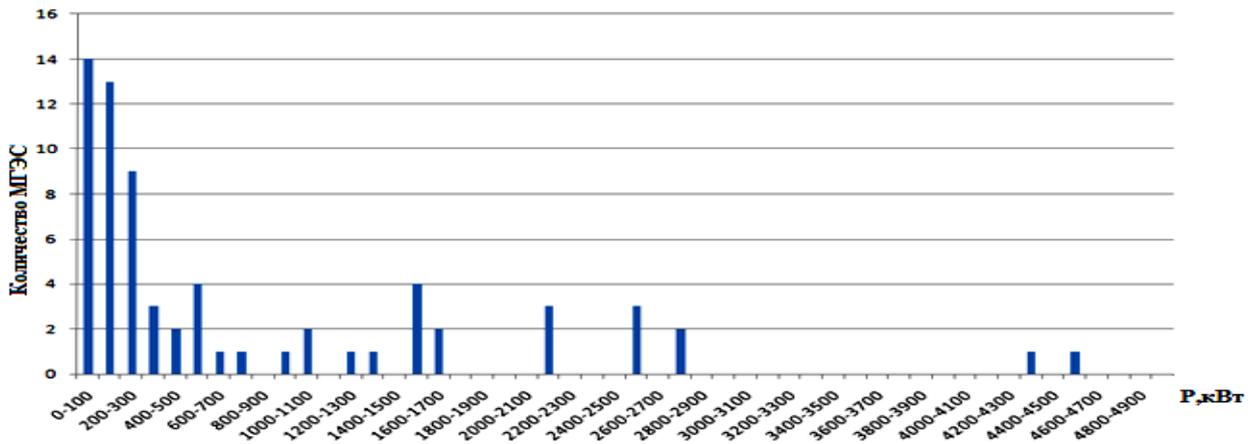


Рисунок 1 – Гистограмма МГЭС Республики Таджикистана по мощности

Необходимость классификации малых источников энергии обусловлено тем, что по своим функциям участия в оптовом рынке электроэнергии, техническому оснащению и способам управления целесообразно выделить следующие группы распределенной генерации ГЭС: малые, мини и микро. Так как четкое разделение ГЭС по мощности в зависимости от их количества невозможно, то принята классификация на основе функций принадлежности пересекающихся классов, которая представлена на рисунке 5.

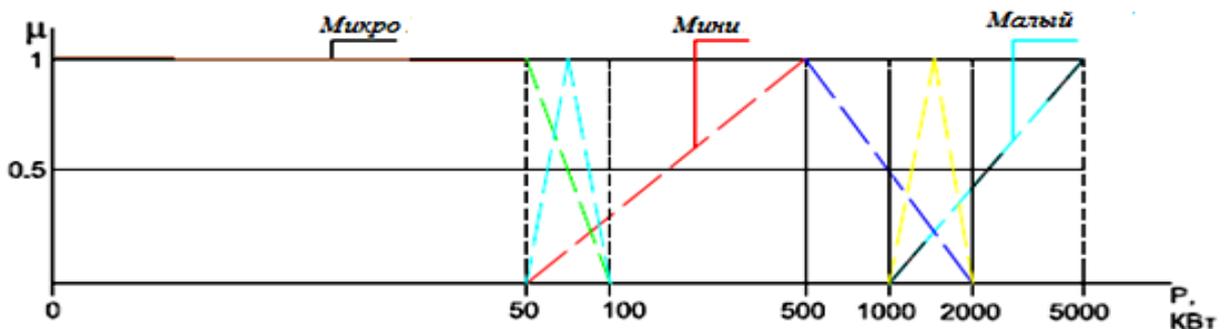


Рисунок 2 – Нечеткая классификация малых электростанций

По функциям принадлежности видно, что к микро относятся станции от 0 до 50 кВт, к мини от 50 до 2000 кВт, и от 1000 до 5000 кВт относятся к малым. Это классификация приставляет некоторую степень принадлежности между микро и мини в области от 50 до 100 кВт и нечеткую принадлежность для мини и малых в области от 1000 до 2000 кВт. Такая нечеткая интерпретация лингвистических переменных «малые», «мини» и «микро» более адекватно отражает реальное положение дел. Математические выражения для функций принадлежности, в общем виде треугольной L-R функции, которая представлена формулами:

$$\mu(x_i) = \begin{cases} 0, & c_i \leq x \leq a_i \\ \frac{x-a_i}{b_i-a_i}, & a_i \leq x \leq b_i, \\ \frac{c_i-x}{c_i-b_i}, & b_i \leq x \leq c_i \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(x_{mn}) = \begin{cases} 0, & 50 \leq x \leq 2000 \\ \frac{x-50}{500-50}, & 50 \leq x \leq 500, \\ \frac{2000-x}{2000-500}, & 500 \leq x \leq 2000 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu(x_{mk}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 50 \\ \frac{100-x}{c_i-50}, & 50 \leq x \leq 100, \\ 0, & 100 \leq x \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu(x_{ml}) = \begin{cases} 0, & 1000 \leq x \\ \frac{x-1000}{5000-1000}, & 1000 \leq x \leq 5000. \\ 1, & 500 \leq x \leq 2000 \end{cases} \quad (4)$$

**Третий раздел посвящён** возможности покрытия дефицита мощности от источников ВИЭ. Годовой график электропотребления, несмотря на огромные гидроэнергетические ресурсы, не покрывается в осенне-зимний период в связи с резким снижением притока воды. Это обусловлено тем, что в этот период снеговое обеспечение рек замедляется с понижением температуры. В связи с этим возникает значительный дефицит активной мощности, который ведёт к ограничению электроснабжения на нескольких часов в сутки в большинстве удаленных районов.

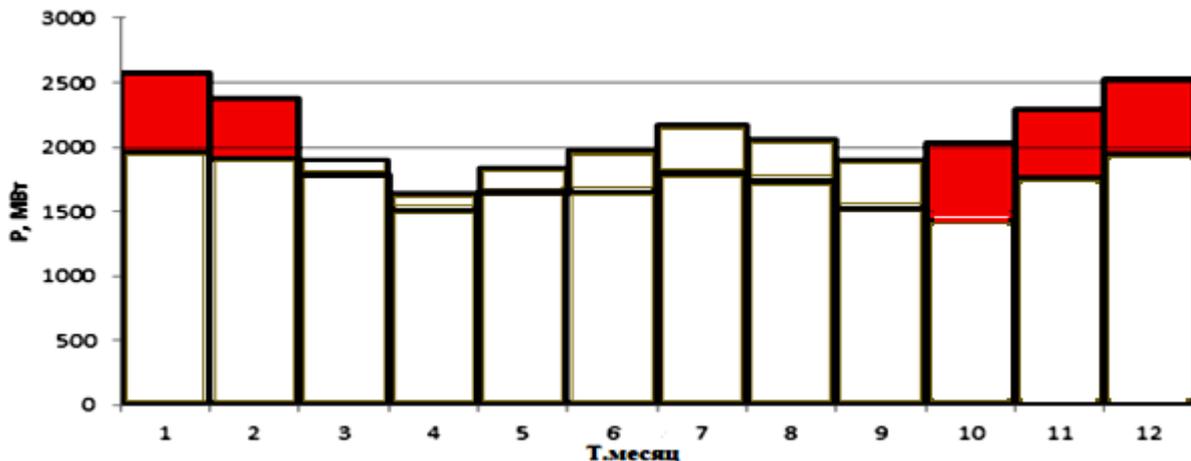


Рисунок 3 – Годовой график электропотребления и генерации мощности

В целом в энергосистеме Таджикистана наибольший дефицит активной мощности в январе месяце составляет в режиме максимальных нагрузок около 600 МВт. Наряду с этим меньший дефицит возникает и сохраняется в октябре, ноябре, декабре и феврале месяцах. Решение указанной проблемы может быть достигнуто за счет привлечения к энергетическому балансу страны нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, таких как солнце и ветер.

Как показано выше доступный, экономически обоснованный потенциал солнечной энергии составляет около 570 МВт, что почти полностью покрывает дефицит пиковой мощности в январе и полностью в другие месяцы. Потенциал ветроэнергетических установок составляет 28 МВт в совокупности с солнечной

практически можно полностью избежать ограничений по поставке электроэнергии в жилищно-коммунальной сфере. Выполнение исследования доказывают возможность полного устранения зимнего дефицита активной мощности за счет использования ВИЭ.

**В четвертом разделе** показано, что для более эффективного и надежного использования ВИЭ необходимо объединять их в гибридные энергетические центры (HUB), которые служат интерфейсами (связями) между энергетическими инфраструктурами и сетевыми электро- и тепло потребителями. После многократного и перекрестного преобразования энергоносителей, отображенного матрицей сцепления, на выходе модели получаем две из наиболее распространенных энергетических инфраструктур – систему электроснабжения и систему теплоснабжения. Таков, обрисованный в общих чертах характер процессов, связанных в системе гибридного энергетического центра основанного с привлечением ВИЭ.

Указанная математическая модель может быть описана системой линейных алгебраических уравнений, в данном случае четвертого порядка. Однако нет препятствий для включения дополнительных других возобновляемых источников энергии например, таких как геотермальные источники и биомасса. Математическая модель может быть идентифицирована для двух реальных состояний трансформации потоков мощности внутри каждого гибридного энергетического центра или между отдельными энергетическими центрами. Модель основана на следующих предположениях и допущениях:

- система центра находится в установившемся режиме и не содержит, каких либо переходных процессов;
- потери мощности и энергии в пределах энергетического центра;
- преобразование энергоносителей из одного вида в другой определяется матрицей сцепления, то есть эффективностью этого преобразования. Другие качества энергии не учитываются;
- устройства преобразования энергоносителей рассматриваются как некоторые конверторы, например солнечные установки преобразующие солнечную радиацию в обоих направлениях в электричество  $E$  и / или в тепло  $H$ .

Для водной энергии существует единственный вход конвертора и один выход, например гидроэлектростанции, выдают только электричество. Другой пример использования нескольких входов и выходов единственного энергоносителя представляет собой тепловой насос, который конвертирует электричество и низкотемпературное тепло в высокотемпературное тепло.

Матрица сцепления характеризует внутреннюю сущность и модель некоторого обобщенного конвертора. Иначе говоря, каждый элемент этой матрицы отображает то или иное преобразование от векторов входных к вектору выходных параметров.

На первоначальном этапе все коэффициенты сцепления приняты постоянными и отражают линейные преобразования. Каждый коэффициент сцепления энергоносителей  $(\eta_{ee}^W, \eta_e^S, \eta_{ee}^V)$  этого обобщенного инвертора

определяется особым образом и позволяет определить выходные энергоносители в долях от общего энергопотребления, таких как электричество (E), теплота (H) и аккумулялирование (A). Таким образом, эта матрица устанавливает строгое причинно-следственное отношение между входными и выходными параметрами гибридного энергетического центра. Важное замечание! Электричество как энергоноситель может преобразоваться как в одно направление, так и в противоположное, в тоже время для других видов энергии такое преобразование является односторонним. Так, энергия ветра может быть, конвертирована в электричество, в то время как обратный процесс не реализуется в практическом смысле.

Для выбранных видов источников генерации воды (W), солнца (S) и ветра (V), а также доля аккумулялирования (A) энергии выбираем следующие коэффициенты сцепления:

$$\begin{bmatrix} \eta_{ee}^W & \eta_e^S & \eta_{ee}^V \\ \eta_h^W & \eta_h^S & \eta_h^V \\ \eta_A^W & \eta_A^S & \eta_A^V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_W \\ P_S \\ P_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_e \\ E_h \\ E_A \end{bmatrix} \quad (5)$$

Для предлагаемого гибридного энергетического комплекса был разработан алгоритм и его программная реализация, которая позволяет оптимально распределить энергетические ресурсы ВИЭ (гидро, солнце и ветра), а также в зависимости от них получить на выходе электричество, тепло или аккумулялирование. Программа определяет наилучшее решение доли использования каждого вида энергии в зависимости от способа преобразования и стоимостью того или иного энергоносителя. Интерфейс программы приведен на рисунке 4.

Используя принятые коэффициенты сцепления, можно определить оптимальную долю каждого вида энергии необходимой при известном соотношении электроснабжения, теплоснабжения и аккумулялирования. Например, если задать соотношения электрической и тепловой энергии один к одному и аккумулялирование энергии 0,1, то решая систему уравнений при стоимости энергии от (ГЭС –2 цента, солнца - 4 цента и ветра-2 цента) получим следующие доли генерирующих источников(таблица 3):

Таблица 3 – Доля энергии ВИЭ при соотношении цен на электричество

| Выходная энергия |     | Коэффициент сцепления |     |      | Доля энергии ВИЭ |   |      | цена | Входная мощность |                |                |
|------------------|-----|-----------------------|-----|------|------------------|---|------|------|------------------|----------------|----------------|
|                  |     |                       |     |      |                  |   |      |      | P <sub>W</sub>   | P <sub>S</sub> | P <sub>V</sub> |
| E <sub>e</sub>   | 1   | 0.9                   | 0.2 | 0.9  | 0,68             | 0 | 0,42 | 0,02 | 0.878            | 2.003          | 1.226          |
| E <sub>h</sub>   | 1   | 0.01                  | 0.5 | 0.01 | 0                | 1 | 0    |      |                  |                |                |
| E <sub>a</sub>   | 0.1 | 0.1                   | 0.1 | 0.1  | 0,32             | 0 | 0,58 |      |                  |                |                |

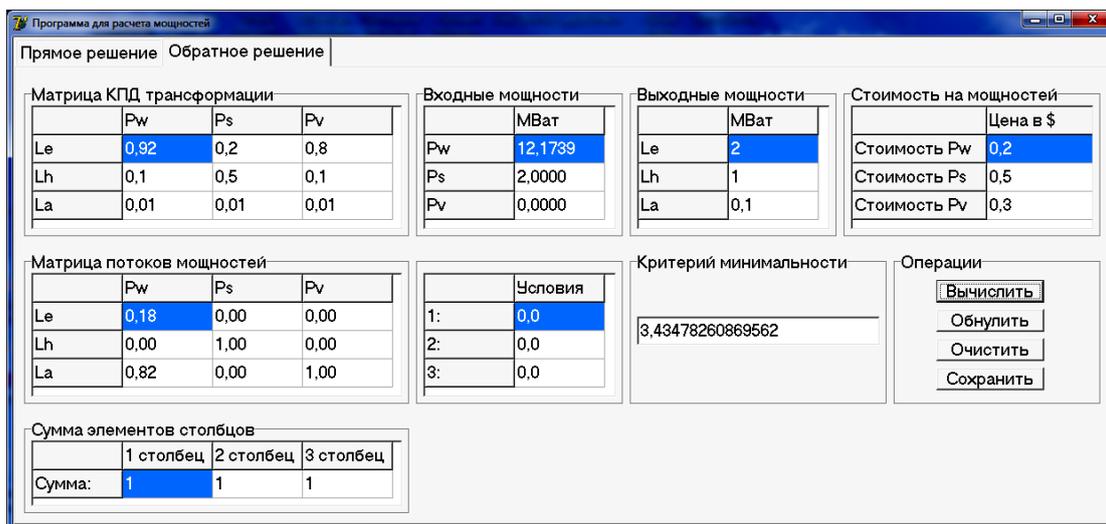


Рисунок 4 – Интерфейс разработанной программы

**Пятый раздел** посвящен оптимизации режимов сетей по реактивной мощности. При этом решение задачи распадается на две составляющие:

- Первая состоит в определении мест установки и принципов размещения источников реактивной мощности в виде конденсаторных батарей (КУ) или статических тиристорных компенсаторов (СТАТКОМ).
- Вторая – предполагает оптимизацию установленной реактивной мощности в узлах сети с помощью алгоритма светлячков (Fair-flai) роевого интеллекта.

Алгоритм светлячков, как и все алгоритмы роевого интеллекта, основан на перемещении агентов (светлячков) в пространстве поиска решений. Рассмотрим, задачу нахождения минимума целевой функции вида  $f(X)$ , где  $X$  – вектор варьируемых параметров, которые могут принимать значения из некоторой области  $D$ . Каждый агент характеризуется значением параметров  $X$  и значением оптимизируемой функции  $f(X)$ , то есть это допустимое решение рассматриваемой задачи оптимизации.

Поскольку алгоритм основан на наблюдении за поведением светлячков, то считается, что каждый агент видит «свет» от своих соседей, но яркость «света» зависит от расстояния между агентами. Чтобы процесс нахождения решения сходил к оптимуму, каждый агент в своих перемещениях учитывает только тех соседей, у которых лучше значение критерия  $f(X)$ .

**Шаг 1.** Случайно распределить агентов в области поиска решения.

**Шаг 2.** Вычислить значения оптимизируемой функции по каждому агенту. Если у некоторого из них это значение окажется лучше, чем наилучшее из найденных ранее, сохранить его.

**Шаг 3.** Для каждого агента найти новую позицию, с учетом формул, приведенных ниже.

**Шаг 4.** Выполнить перемещение каждого агента в новую позицию.

**Шаг 5.** Если выполнено условие завершения, закончить алгоритм, иначе перейти к шагу 2.

Результатом работы алгоритма является наилучшее сохраненное решение.

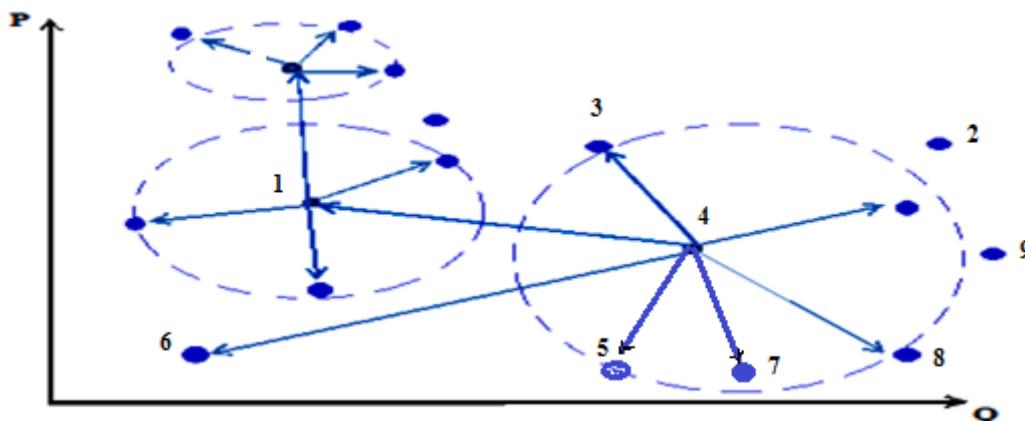


Рисунок 5– Идея алгоритма роевого интеллекта светлячков

Каждый агент испытывает влияние всех агентов, которые лучше хотя бы по одному критерию (минимум потерь или минимум мощностей компенсации). Например, на агента 4 окажут влияние все агенты, кроме агентов 2 и 9. При этом влияние агентов 1, 6, 8 будет меньше влияния агентов 3, 5, 7, так как они находятся на больших расстояниях от агента 4. Наибольшее влияние окажет агент 5. На агента 6 не окажет влияние ни один из агентов, так как он находится в наилучшей по обоим критериям позиции.

Для определения места размещения компенсирующих установок в определенном узле были установлены набор множественных антецедентных нечетких правил. Входами в правила являются уровни напряжений в узлах и потери мощности в ветвях, а выходы - как целесообразность размещения КУ. Нечеткие лингвистические переменные напряжений в узлах представлены функциями принадлежности напряжения: низкое, ниже нормального, нормальное, выше нормального, высокое. Рассмотрена схема, состоящая из 46 узлов и при расчете нормального режима разделена на следующие классы узлов с напряжениями «низкими», «ниже нормального», «нормальными», «нормально высокими» и «высокими». Функции принадлежности представлены на рис. 6.

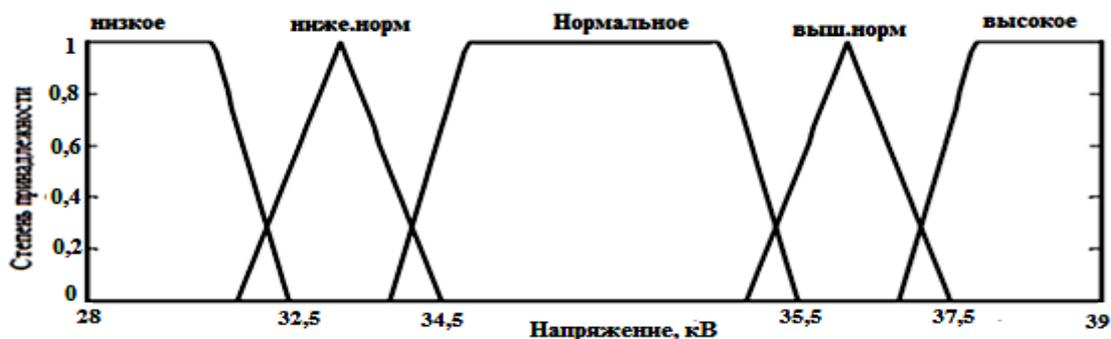


Рисунок 6 – Функция принадлежности для напряжения в узлах

Аналогичным образом дана нечеткая классификация индекса потери активной мощности в сети, которые разделены на классы с помощью

лингвистических переменных потери мощности: «низкие», «ниже среднего», «средние», «выше среднего» и «высокие».

Матрица нечетких отношений между двумя нечеткими переменными напряжениями и потерями мощности представлена в таблице 4. Пересечение нечетких классов дает целесообразность установки КУ в данном узле.

Таблица 4– Матрица нечетких отношений установки КУ

| $\Delta U$<br>$\Delta P$ |                  | Напряжение       |                     |                  |                     |                  |
|--------------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
|                          |                  | низкое           | Ниже<br>нормального | нормальное       | Выше<br>нормального | высокое          |
| Потери мощности          | низкие           | ниже<br>среднего | ниже<br>среднего    | низкая           | низкая              | низкая           |
|                          | ниже<br>среднего | средняя          | ниже<br>среднего    | ниже<br>среднего | низкая              | низкая           |
|                          | средние          | выше<br>среднего | средняя             | ниже<br>среднего | низкая              | низкая           |
|                          | выше<br>среднего | выше<br>среднего | выше<br>среднего    | средняя          | ниже<br>среднего    | низкая           |
|                          | высокие          | высокая          | выше<br>среднего    | средняя          | ниже<br>среднего    | ниже<br>среднего |

Математическая формулировка задачи однокритериальной оптимизации, сформулирована следующим образом:

$$W(Q) = K(Q) + I_{\Delta P}(Q) \rightarrow \min \quad (6)$$

$$K(Q) = c_{cu} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad I_{\Delta P}(Q) = c_p \tau \Delta P \quad (7, 8)$$

где  $K(Q)$  – капитальные затраты на установку КУ;  $I_{\Delta P}(Q)$  – стоимость потерь активной мощности;  $Q$  – вектор мощностей КУ;  $Q_i$  – мощность КУ в  $i$ -м узле;  $n$  – количество потенциальных установит КУ узлов;  $\tau$  – число часов максимальных потерь;  $\Delta P$  – суммарные потери активной мощности в сети;  $Q_{\max i}$  – максимальная установленная мощность КУ в  $i$ -м узле.

При ограничениях:  $Q_{\min i} < Q_i < Q_{\max i}$ ,  $0,1 \leq \text{tg}(\varphi) \leq 0,4$ ,

где  $i$  текущий индекс источника реактивной мощности  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

В результате решения оптимизационной задачи определены оптимальные мощности КУ в выбранных приоритетных узлах. При этом, в работе учитывается дискретность регулируемых параметров и дискретность мощности производимого электрооборудования КУ.

Для повышения эффективности алгоритма светлячков выполнено его соединение с градиентным методом. Вначале запускается алгоритм роя светлячков, и он выполняет поиск по всему пространству допустимых значений. Но при этом алгоритм может найти область глобального экстремума, но не сам

экстремум, из-за своего свойства диверсификации, которое позволяет не «застревать» в локальных областях.

Таблица 5 – Сравнительный анализ методов оптимизации

| Метод                                       | Критерий, тыс. долл.<br>( $\Delta P$ за 4 года +<br>затраты на КУ) | Потери<br>P, кВт. | Мощности<br>КУ, кВар | tg $\varphi$ |
|---|--|-------------------|----------------------|--------------|
| Без компенсации                             | 925,365  | 1298              | 0                    | 0,43         |
| Метод светлячков «Fire Fly»                 | 825,158  | 1112              | 2936                 | 0,33         |
| Градиент (при неудачных начальных условиях) | 938,380  | 1293              | 523                  | 0,42         |
| Градиент (при удачных начальных условиях)   | 834,095  | 1117              | 3618                 | 0,31         |
| Fire Fly + градиент                         | 808,095  | 1112              | 548                  | 0,4          |

Поэтому наиболее эффективным будет такое сочетание алгоритмов, при котором алгоритм роя светлячков относительно быстро выполняет поиск начального приближения (одного или нескольких) по всей области допустимых решений, которые затем используются как начальной позиции для градиентного спуска.

Из представленных результатов можно заключить:

- Градиент при неудачных начальных условиях нашел решение хуже изначального (без компенсации);
- Лучшее решение, градиента заметно уступает решению Fire- Fly;
- Наилучшее решение получено после продолжения решения, найденного Fire-Fly и градиентным алгоритмом;
- Все решения, кроме градиентного метода, стратегически дают одинаковый эффект, но комбинацией Fire-Fly и градиента, требует меньших капитальных вложений в компенсаторные установки.

В работе так же выполнена двухкритериальная постановка задачи оптимизации:

$$\Delta P_{\Sigma} \rightarrow \min \text{ и } K(Q) \rightarrow \min \quad (9)$$

при ограничениях:  $0,1 \leq \text{tg}(\varphi) \leq 0,4$ .

Представленные результаты свидетельствуют о том, что среди любой пары решений одно лучше с точки зрения потерь активной мощности, то есть выгоднее в долгосрочной перспективе. Второе выгоднее с точки зрения необходимой мощности КУ в настоящее время, то есть требует меньше вложений капитала в установку КУ.

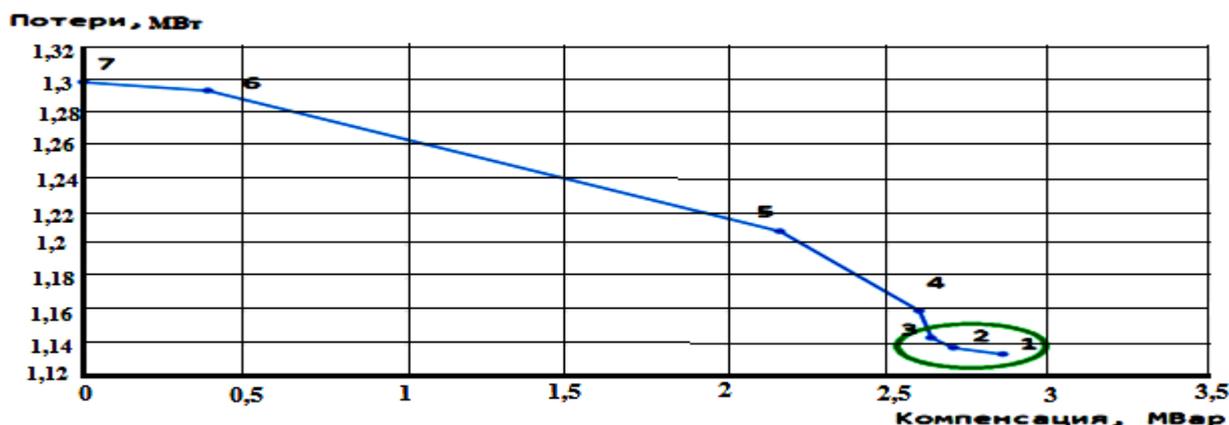


Рисунок 7 – Множество Парето - оптимальных решений

Применение модели с двумя критериями позволило обнаружить, что после определенного уровня эффективность компенсации снижается, как видно из области, ограниченной кругом на диаграмме. Решение 1 ненамного лучше решения 2 с точки зрения снижения потерь, но требует существенно больше затрат на первоначальные вложения в КУ. Таким образом, использование варианта с 2 критериями дает больше информации лицу, принимающему решение, и позволяет сделать выбор исходя из соотношений тактических и стратегических приоритетов.

**В заключении** приведены основные положения и выводы диссертационной работы.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненные исследования свидетельствуют, что Таджикистан обладает большим потенциалом возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, так как в республике практически отсутствуют источники углеводородного способа генерации энергии - нефть, газ и уголь. Необходимость использования распределенной генерации ВИЭ подтверждается тем, что многие населенные пункты чрезмерно удалены и не связаны с объединенной энергосистемой Таджикистана. Почти всегда, особенно в сельской местности, отсутствие малых водотоков может быть компенсировано за счет доступности энергии солнечной радиации и ветровых потоков.

2. Исследования показали, что распределенная генерация ВИЭ существенно зависит от высоты расположения источников генерации над уровнем моря, что обусловлено географическим расположением Таджикистана, где 93% территории являются высокогорной. Для ГЭС имеет место снижение номинальной гарантированной мощности из-за ухудшения условий охлаждения генераторов, для ВЭС, СЭС имеет место некоторое увеличение мощности.

3. Впервые предложена математическая интерпретация лингвистической классификации малых, мини и микро станций распределенной генерации ВИЭ на основе нечетких пересекающихся классов. Предлагаемая классификация несколько отличается от принятой в России, где малыми считаются ГЭС мощностью до 30 МВт. Для Республики Таджикистан более приемлема классификация малых ГЭС до 5 МВт, как в некоторых развитых странах. Этот метод классификации применим для ветро и солнечных установок, что

обеспечивает правильное проектирование источников малой генерации за счет выбора электрооборудования, а также уточнить их функциональную роль в эксплуатационных режимах, которая определяется доступом на оптовый рынок электроэнергии и некоторыми режимными ограничениями.

4. Показано, что дефицит мощности в ЭЭС Таджикистана в течение 5 месяцев (октябрь - февраль) составляет 600 МВт и может, быть покрыт за счет солнечной и ветровой энергии. При этом необходимо установка солнечных панелей на 0,1% территории Таджикистана. Ветровые ресурсы покрывают около 25 МВт, а солнечная энергия примерно - 570 МВт. Таким образом, Таджикистан может стать первой страной в мире, которая может обеспечивать собственное электропотребление на 100% за счет «Зеленой энергии».

5. В локальных энергорайонах необходимо создать энергетические центры, которые выполняют конвертацию и интеграцию энергоносителей, обеспечивая, высокую гибкость и надёжность энергоснабжения. Указанные энергетические центры по терминологии развитых стран характеризуется как HUB. Показано что гибридные энергетические центры с системной точки зрения представляют собой мультikonвертор, который обеспечивает производство, передачу, преобразование, распределение и аккумулялирование энергии.

6. В работе предложена математическая модель энергетического центра, которая представляет систему линейных алгебраических уравнений, основанную на матрице «сцепления». Она отражает коэффициенты преобразования одних видов энергии ВИЭ в: электричество, тепло, аккумулялирование. аккумулялирование позволяет получить дополнительные степени свободы при планировании бездефицитных режимов энергетического центра в связи с непредсказуемостью его выработки источниками генерации ВИЭ.

7. Предложен новый подход для размещения компенсирующих устройств, основанный на матрице нечетких отношений, связывающей уровни напряжений в узлах и потери активной мощности в ветвях. В качестве приоритетных кандидатов на установку КУ выбираются из матрицы нечетких отношений узлы с низким напряжением и напряжением ниже нормального и высокими потерями. Проведенные расчеты подтвердили правильность метода, основанного на нечеткой логике.

8. Адаптирован алгоритм светлячков роевого интеллекта (Fair flay) для решения задачи при двух критериях с возможностью поиска глобального минимума. Оптимальное распределение источников реактивной мощности в распределительных сетях выполнено на основе именно этого алгоритма, который в поиске минимума целевой функции охватывает всю область возможных решений, в отличие градиентного метода. Разработан комбинированный алгоритм роевого интеллекта, включающий в себя поиск некоторой окрестности глобального минимума с помощью роевого интеллекта и последующей дооптимизацией градиентным методом для получения точного решения. Компенсация реактивной мощности в радиальных распределительных сетях реализована с помощью двух видов компенсирующих устройств СТАТКОМ и конденсаторных батарей.

9. Теоретические исследования и экспериментальная апробация предлагаемых мероприятий на физической модели показали достаточно хорошее совпадение результатов для фрагмента радиальной сети. Применение разработанных методов показало, что снижение суммарных потерь активной мощности после оптимизации реактивной мощности позволяет получить экономический эффект 19, 706 тыс. долл/год.

**Основное содержание диссертации изложено в работах:**

***Работы в изданиях, включение в перечень ВАК:***

1. **Киргизов, А.К.** Нечеткие модели распределенной генерации возобновляемых источников энергии Республики Таджикистан/ А.К Киргизов, ДЖ.С. Ахъёев, Э.Г. Ядагаев // Вестник НГТУ №3(64) 2016.–С.117-131.
2. **Киргизов, А.К.** Возобновляемые источники энергии как фактор устойчивого развития сельских территорий Республики Таджикистан / А.К. Киргизов, З.С. Юлдошев, Л.С. Касобов // Вестник Таджикского технического университета имени акад. М.С. Осими - 2014, №26. – С. 59-63.
3. **Киргизов, А.К.** Особенности идентификации матрицы СВП в энергосистемы Таджикистана/ А.К. Киргизов, Л.С. Касобов, М.М. Файзуллоев, Ш.И. Мирзоев , А.М. Курбонов // Кишоварз. 2012. № 1 –С. 39-41.

***Статьи в зарубежных конференциях входящих в базу данных «Web of Science»:***

4. **Kirgizov, A.K.** Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewables and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan) / V.Z Manusov, A.K. Kirgizov, J. Ahyoev// E3S Web of Conferences. Volume 6 (2016) International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016) Ekaterinburg, Russia, May 19, 2016.
5. **Kirgizov, A. K.** The Effective Use of STATCOM in the Electrical System of the Republic of Tajikistan to Reduce the Losses of Active Power in the Electric Network/ V.Z. Manusov, A. K. Kirgizov, J.S. Ahyoev //2016 13 The international scientific technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (apeie) 39281 proceedings apeie 2016 In 12 Volumes Volume 1 Part 3 Novosibirsk 201 6 pp. 60-63.

***В других российских и международных журналах и конференциях:***

6. **Киргизов, А.К.** Оптимизация размещения компенсирующих устройств с помощью алгоритма светлячков и дооптимизация градиентным методом /А.К. Киргизов, Ш.М. Султонов // Материалы научно практической конференции: Электроэнергетика, гидроэнергетика надёжность и безопасность. Душанбе. «Промэкспо».–2016. – С.29-33
7. **Киргизов, А.К.** Методика оптимизации гибридного энергокомплекса для улучшения режима работы локальных электрических сетей / А.К. Киргизов, Л.С. Касобов, В.З. Манусов // Завалишинские чтения 16, сборник докладов 11-15 апрель 2016. –С. 132-135
8. **Киргизов, А.К.** Оптимизация параметров гибридного энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии для улучшения режима работы локальных электрических сетей / А.К. Киргизов, В.З. Манусов, Д.С. Ахъёев//

- Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Рубцовск.– 24-25 ноября 2016.–С. 247-253
9. **Киргизов, А.К.** Потенциал нетрадиционных источников энергии в Таджикистане / А.К. Киргизов, Р. Расулов, У. У. Косимов //Энергетика: Экология, Надежность, Безопасность: материалы восемнадцатой Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет.- Томск: «СПБ Графикс», 2012. –С. 99-101
  10. **Киргизов, А.К.**, Экономическая выгода от использование солнечного теплоснабжения в Таджикистане / М.Б. Иноятов, А.К. Киргизов //Вестник Таджикского технического университета имени акад. М.С. Осими. –2009. №5.– С. 32-34.
  11. **Киргизов А.К.** К вопросу об использования малой гидроэнергетики применительно к условиям республики Таджикистан/ А.К. Киргизов, М.Б. Иноятов // Вестник Таджикского технического университета имени акад. М.С. Осими - 2008, №2 .–С. 38-42.
  12. **Киргизов, А.К.** Водно-энергетический потенциал малых рек Памира / А.К., Киргизов Дж., С.Ахъеев. Ч.Х. Хучасаидов //8-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительство и энергетики “Социально -экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики” ТулГУ. Тула-Донецк-Минск.– 2012.–С.480-485
  13. **Киргизов, А.К.** Оценка гидрологических режимов малых водотоков Памира при проектировании малых ГЭС /Киргизов А.К., Расулов С.Р. // Вестник Донецкого национального технического университета, № 1 (16). – Донецк: «Цифровая типография» – 2014. –С. 75-78.
  14. **Киргизов, А.К.** Расчет оптимального режима работы Вахшского каскада ГЭС по критерию максимума выработки электроэнергии и динамика изменения К.П.Д. гидроагрегатов./ А.К. Киргизов, С. Расулов, У.У. Касимов, М.М. Файзуллоев //Перспективы развития науки и образования в XXI веке. Материалы 3 международной научно-практической конференции. ТТУ. Душанбе:– 2011.–С.84-86.
  15. **Киргизов, А.К.** К вопросу о борьбе с ледообразованием в створе ГЭС в условиях Памира / А.К. Киргизов, М.Б. Иноятов, У.У. Касимов, //Материалы V-Всероссийской научно-технической конференции “Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования” ТПИ. Томск.– 2012
  16. **Киргизов, А.К.** Процесс заиления водохранилища Нурекской ГЭС и его влияние на режим работы каскада Вахшской ГЭС/ А.К., Киргизов, Л.С. Касобов // Материалы докладов семнадцатой все российской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надёжность, безопасность» ТПИ, Томск.–2011.–С.40-42. Том 2.
  17. **Киргизов, А.К.** Расулов, Р. Динамика изменения К.П.Д. ГЭС Вахшского каскада / А.К. Киргизов, С. Расулов, М.Б. Иноятов //Материалы

- республиканской научно-практической конференции «Состояние и будущее энергетика Таджикистана» ИОТТУ. Душанбе:– 2009.–С.71-75
18. **Киргизов, А.К.** Влияние обводнения турбинного масла на эксплуатационные характеристики оборудования электростанции. (тезис)./ А.К. Киргизов, М.Б. Иноятов, М.М. Сафаров //Материалы республиканской научно-технической конференции «Современные проблемы химии химической технологии и металлургии» Министерства Образование Республики Таджикистан. ТТУ им. акад. М. С. Осими. ЧДММ «Вектор» Душанбе.– 2009.–С.205-208
  19. **Киргизов, А.К.** Применения магнитных жидкостей для уплотнения генераторов /А.К. Киргизов, Л.С. Касобов //«Социально – экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» 7–я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики / Материалы конференции ТулГУ, Тула. –2011.–С.470-473 Т.2
  20. **Киргизов, А.К.** Оценка эффективности регламентного контроля обводнения турбинного масла / А.К. Киргизов, М.Б. Иноятов, М.М. Сафаров //Вестник Таджикского технического университета. – 2010. Т. 1 № 1. –С. 37-40