

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НПИ) имени М.И.Платова»

ФАКУЛЬТЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОПРИВОД
НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой

(подпись) (ФИО)
«__» _____ 20 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**НА ТЕМУ «Анализ и прогнозирование максимальных электрических нагрузок
в Южной части энергосистемы Таджикистана»_____**

АВТОР МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ: Махмудов Кароматулло Азизович
(Фамилия, имя, отчество)

(Подпись)

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Профессор кафедры ЭиЭ, д.т.н., проф. Надтока Иван Иванович
(Должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество) (Подпись)

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ

Профессор кафедры ЭиЭ, д.т.н., проф. Надтока Иван Иванович _____
(Должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество) (Подпись)

Новочеркасск, 2019 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НПИ) имени М.И.Платова»

ФАКУЛЬТЕТ **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ**
КАФЕДРА **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОПРИВОД**
НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ **13.04.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И**
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой

(подпись) (ФИО)
«__» _____ 20 г.

ЗАДАНИЕ
на магистерскую диссертацию

Студенту Махмудову Кароматулло Азизовичу
(Фамилия, имя, отчество)

1. Тема магистерской диссертации:
**«Анализ и прогнозирование максимальных электрических нагрузок в Южной части
энергосистемы Таджикистана»**_____

Тема магистерской диссертации утверждена приказом ректора №__лс от _____.2019г.

2. Консультанты магистерской диссертации:

Наименование раздела, должность, ученая степень, ученое звание, ФИО

Профессор кафедры ЭиЭ, д.т.н., проф. Надтока Иван Иванович

3. Научно-исследовательская программа подготовки магистерской
диссертации _____

1. Обзор литературных источников по проблеме прогнозирования
электрических нагрузок. Постановка задачи исследование.

2. Обзор параметров основного электрооборудования и электрической схемы энергосистемы Республики Таджикистана.

3. Прогнозирование максимальных суточных графиков нагрузки Южной части ЭЭС Республики Таджикистан на основе метода главных компонент.

4. Срок сдачи студентом законченной магистерской диссертации 30.05.2019

5. Дата выдачи задания 13.03.2019г

6. Профессор кафедры ЭиЭ, д.т.н., проф. Надтока Иван Иванович _
(Ученая степень, ученое звание должность, фамилия и инициалы)

(Подпись)

Задание принял к исполнению 13.03.2019г .
(Дата)

(Подпись)

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на тему «Анализ и прогнозирование максимальных электрических нагрузок в Южной части энергосистемы Таджикистана» включает в себя пояснительную записку, состоящую из 82 страниц формата А4, графики, рисунки и таблицы.

В выпускной квалификационной работе выполнено исследование электропотребление ЭЭС Республики Таджикистан и её Южной части, а также адаптирована методика долгосрочного прогнозирования максимальных суточных графиков электрической нагрузки региона по методу главных компонент.

Исследованы возможности применения метода главных компонент для моделирования с целью поиска наилучшего приближения модели к фактическому графику и повышения точности прогнозирования суточных графиков нагрузки региона.

Представлены результаты прогнозирования зимних и летних максимальных суточных графиков Южной части энергосистемы Таджикистана.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЕ.....	9
1.1. Обзор литературных источников	9
1.2. Постановка задачи исследование.....	11
1.3. Основные оценки точности прогнозирование временных рядов.....	12
1.4. Выводы.....	14
2. ОБЗОР ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАНА.....	15
2.1. Описание электрических станций и сетей энергосистемы Республики Таджикистан.....	15
2.2. Потребление электроэнергии и темпы развития промышленных потребителей энергосистемы Республики Таджикистана.....	25
2.3. Энергетическая стратегия и реализуемые проекты в Республики Таджикистан.....	34
2.4. Выводы.....	42
3.ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЭЭС РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ	43
3.1. Многомерные модели суточных графиков электрической нагрузки на основе метода главных	

компонент.....	43
3.2. Исследование взаимосвязей главных компонент с формой суточного графика электрической нагрузки Южной части энергосистемы Таджикистана.....	46
3.3. Долгосрочное прогнозирование максимальных суточных графиков электрической нагрузки Южной части ЭЭС Республики Таджикистан в пространстве главных компонент.....	53
3.4. Прогнозирование главных компонент по методу наименьших квадратов.....	56
3.5 Программа для ЭВМ «Ортогональное разложение и прогноз графиков электрической нагрузки» - «Прогноз-МГК. Версия 1.».....	69
3.6. Выводы.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	76
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Республика Таджикистан относится к странам со значительными запасами гидроресурсов, которые используются в энергетике. Свидетельством этого являются мощные гидроэлектростанции, построенные во времена СССР и после его распада. Обладая более половиной водных ресурсов региона, водно-энергетическая политика республики направлена на их рациональное и бережное использование на основе принципов сотрудничества и взаимной выгоды.

В отличие от многих стран мира, Таджикистан имеет в значительном объёме экологически чистые, возобновляемые источники энергии. Основными из них являются гидроэнергоресурсы, которое составляет более 527 млрд. кВт ч. в год [1].

Установленная мощность гидроресурсы Таджикистана составляет более 60 ГВт час. Учитывая этой мощности, в настоящее время используется всего более 8 % гидропотенциала. Гидроэнергетический потенциал реки Вахш определен около 251,15 млрд. кВт ч. в год, при этом технически возможные и экономически целесообразные гидроэнергоресурсы для строительства ГЭС составляют 37 млрд. кВт ч. в год [1,9,23].

Все реальные процессы, с которыми приходится сталкиваться на практике, являются сложными процессами, состоящими, как правило, из большого количества компонент. Например, погода. При анализе графика количества выпавших осадков мы должны помнить, что перед нами график, отражающий взаимодействие большого количества разнообразных процессов. Таких, как смена времен года, глобальные процессы потепления/похолодания, изменения в океанических течениях, динамика развития циклонов и антициклонов, количество выбросов углекислого газа в атмосферу, циклы солнечной активности и так далее. Этот список можно было бы продолжать до бесконечности.

Объектом исследования является Южная часть ЭЭС Республики Таджикистан. **Предметом исследования** являются максимальные почасовые графики активной мощности Южной части ЭЭС Таджикистана.

Целью настоящей работы является адаптация методики долгосрочного прогнозирования максимальных суточных графиков активной мощности, основанной на методе главных компонент, к электрическим нагрузкам Южной части ЭЭС Таджикистана.

Среди множество работ по долгосрочному прогнозированию электропотребления с позиций проблем функционирования ЭЭС РТ наибольший интерес представляют методы, основанные на ортогональных разложениях временных рядов . В электроэнергетике метод главных компонент для целей оперативного и краткосрочного прогнозирования электропотребления применялся еще в 80-е годы прошлого века Гурским С.К.[2]. В настоящее время используются два основных направления прогнозирования суточных графиков с использованием метода главных компонент [3,4]:

- а) регрессионные модели;
- б) прогноз в пространстве главных компонент.

В данной работе изложены результаты использования МГК в задачах моделирования электропотребления и прогнозирования максимальных суточных графиков электрической нагрузки Южной части ЭЭС Республики Таджикистан.

Отличие проведенного исследования от диссертации Махмадджонова Ф. Д. «Анализ режимов работы и повышение устойчивости энергосистемы Республики Таджикистан с учётом увеличения нагрузок в её Северной части» состоит в том, что прогноз строился для Южной части ЭЭС Республики Таджикистана впервые, а также отдельно по зимним графикам и отдельно по летним графикам.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЕ.

1.1. Обзор литературных источников

Сегодня одной из основных отраслей народного хозяйства любого государства считается энергетика, потенциальные возможности и уровень развития которой определяют экономическую мощь государства. Развитие мировой экономики связано с непрерывным ростом производства.

Электроэнергия необходима как для работы любого предприятия, так и для бытового сектора. Производится электроэнергия преимущественно в местах, близких к источникам топлива и гидроресурсов на электростанциях. Для электростанций топливом служат природные богатства – уголь, природный газ, торф, ветер, солнце, вода, атомная энергия и другие природные ресурсы. В зависимости от вида преобразуемой энергии электростанции бывают: тепловые, газотурбинные, атомные, гидроэлектростанции, а также слабой мощности электрические станции местного назначения – ветряные, геотермальные, солнечные, морских приливов и отливов, дизельные и другие. Для выработки необходимых запланированных объемов электроэнергии происходит планирование необходимых ресурсов, которые будут переработаны. Планированием на электростанциях занимаются большие отделы, так как требуется рассчитать необходимое количество природных ресурсов, так чтобы полностью удовлетворить все потребности в электроэнергии. Запасы топливных ресурсов, должны использоваться эффективно и рационально. В настоящее время большое внимание уделяют разработке и внедрению различных программ экономии энергетических ресурсов.

Электрическую энергию после выработки на электростанции необходимо доставить туда, где её начнут потреблять. Для начала необходимо доставить в крупные промышленные центры страны, которые не всегда

территориально находятся возле самих электростанций, а чаще расположены на сотни километров, а иногда и тысячи километров от мощных электростанций [6]. Передача электроэнергии это только первоочередная задача. Далее её требуется распределить среди большого количества различных потребителей – промышленных предприятий, жилых зданий, транспорта и т. д. При передаче электроэнергии происходят потери в линиях электропередач, что тоже необходимо учитывать при выработке объемов электроэнергии. Для передачи электрической энергии на большие многокилометровые расстояния осуществляют с использованием трансформаторов. Электросетевые компании или энергосистемы являются посредниками при передаче электроэнергии от трансформаторных подстанций к приёмникам электроэнергии. Электросетевые компании обслуживают значительное количество предприятий, организаций и частных лиц. На электросетевую компанию так же возлагается ответственная работа по эффективному распределению электроэнергии. Важным процессом является прогнозирование электроэнергии необходимое потребителям. Для этого происходит постоянное отслеживание суммарного количества потребителей в разрезе по населению и предприятиям [6].

Проблеме прогнозированию посвящено не мало исследований. В электроэнергетике метод главных компонент для целей оперативного и краткосрочного прогнозирования электропотребления применялся еще в 80-е годы прошлого века Гурским С.К. [2]. В 90-е годы МГК применялся для краткосрочного прогнозирования суточных графиков мощности энергосистемы Ростовэнерго.

В последнее время представляют особый интерес по долгосрочному и краткосрочному прогнозированию. В этой отрасли представляют свои работы такие учёные как, Надтока И.И., Махмадджонов Ф.Д.[3,5], которые предложили долгосрочные прогнозирование максимальных суточных

графиков электрической нагрузки Северной части энергосистемы Республики Таджикистана. Также актуально занимались данной тематике Соломахо К.Л.[6], с применением метода главных компонент для прогнозирования объёмов электропотребления энергосбытового предприятия.

1.2. Постановка задачи исследований.

На основе выполненного анализа литературных источников и диссертационных исследований, а также поставленной цели настоящей работы можно сформулировать следующие задачи исследований:

- ❖ Анализ статистических моделей и методов прогнозирования электропотребления;
- ❖ Определение наиболее эффективного метода прогнозирования;
- ❖ Разработка математической модели прогнозирования на основе метода главных компонент;
- ❖ Оценка работы модели при прогнозировании максимальных суточных графиков активной мощности Южной части энергосистемы Республики Таджикистана и сравнительный анализ полученных результатов прогнозирования с фактическими данными;
- ❖ Применение и адаптация статистического метода главных компонент для прогнозирования максимальных суточных графиков в Южной части ЭЭС Республики Таджикистан.

Метод главных компонент является важнейшим методом выделения факторов. В то время как дисперсионный и дискриминантный анализ имеют лишь немного общего с факторным анализом, метод главных компонент очень тесно связан с факторным анализом. Этот метод разработан Хотеллингом.[39]

Он позволяет при заданной m -мерной корреляционной матрице найти новую ортогональную m -мерную систему координат и именно так, чтобы

максимум полной дисперсии лежал в направлении первой главной оси, а максимум оставшейся дисперсии — в направлении 2-й главной оси и т.д.

В компонентном анализе применяется такое линейное преобразование p наблюдаемых переменных x_1, x_2, \dots, x_p что получается совокупность p некоррелированных и нормированных переменных z_1, z_2, \dots, z_p ; причем для этого никакие гипотезы о x_1, x_2, \dots, x_p не требуются. Как заметил Барт (Burt, 1949), этот метод был разработан еще Карлом Пирсоном в 1901 г., но применяемая обычно процедура принадлежит Хотеллингу (Hotelling, 1933) [39].

1.2. Основные методы оценки погрешности прогнозирование временных рядов.

Оценка ошибки прогнозирования временного ряда

Работая с многими научными публикациями, сталкиваемся с различными показателями ошибок прогнозирования временных рядов. На практике для получения более объективной оценки качества модели стоит рассчитывать несколько коэффициентов. Анализ применяемых оценок показал, что наиболее широко применяются следующие пять оценочных параметров: MAPE, MAD, MSE, SSE, MPE, MSEN [3,5].

1. MAPE – (the mean absolute percentage error), средний абсолютный процент ошибки (средняя относительная ошибка прогноза):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t \quad (1.1)$$

где n — число ретроспективных наблюдений.

$$e_t = y_t * y_t^{sim} \quad (1.2)$$

где y_t — фактическое значение показателя на момент времени; t -й момент времени;

y_t^{sim} — значение показателя, полученное с помощью модели, на t -й момент времени;

2. MAD (mean absolute deviation) - среднее абсолютное отклонение.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (1.3)$$

3. MSE (Mean square error) - среднеквадратическая ошибка модели регрессии. Хорошее качество приближения данных параметрической модели показывает близость MSE к нулю.

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n-h}} \quad (1.4)$$

где h — это количество параметров, входящих в модель регрессии.

4 SSE - (Sum of Square Error) - квадратическая ошибка.

$$SSE = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (1.5)$$

Близость SSE к нулю говорит о хорошем качестве приближения данных параметрической моделью.

5 MPE – (mean percentage error), средний процент ошибки:

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{e_t}{y_t} * 100\% \quad (1.6)$$

MPE характеризует относительную степень смещенности прогноза. Высокое значение получается, когда связанные с занижением фактического предсказанного значения, потери при прогнозировании, уравновешиваются завышением. Эффективный прогноз должен быть несмещенным, и его

значение МРЕ должно стремиться к нулю. Средняя процентная ошибка показателя не должна превышать 5%.

$$SD_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.7)$$

1.3.Выводы

1. Проведенный обзор литературных источников методов и моделей прогнозирования потребления электрической энергии в Южной части энергосистемы Таджикистана доказал возможность использования метода главных компонент для решения задачи прогнозирования на энергосбытовых предприятиях.

2. Для энергосистемы Таджикистана и Южной части методики долгосрочного прогнозирования суточных графиков активной мощности ранее не разрабатывались. В качестве примера для разработки такой методики можно использовать методику для Северной части разработанную Ф.Д. Махмадджоновым.

3. Приведены оценочные параметры прогнозирования временных рядов для получения более объективной оценки качества модели.

2. ОБЗОР ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАНА

2.1. Описание электрических станций и сетей энергосистемы Республики Таджикистан

Развитие энергетической отрасли, в том числе строительство новых мощностей электростанций, которые будут обеспечивать энергетическую независимость РТ, является одним из приоритетных направлений деятельности правительства.

В настоящее время одной из главных задач электроэнергетики страны является повышение эффективности работы ЭЭС РТ.

Создание электроэнергетической системы (ЭЭС) Республики Таджикистана началось в первой половине XX века. При этом ЭЭС Республики Таджикистан входила в структуру единой электроэнергетической системы СССР. Интенсивное изучение энергетических ресурсов Республики Таджикистан началось в 30-х годах XX века.

В Республике Таджикистан практически нет углеводородного топлива: нефти, газа, конденсата, а имеющиеся большие запасы угля расположены на больших высотах в труднодоступной местности в горах и вдали от обжитых районов. Освоение их потребует огромных капиталовложений, в том числе и дорог для доставки угля, из-за чего стоимость электроэнергии на этих углях будет чрезвычайно высокой.

Таджикистан обладает большими гидроэнергоресурсами, реализованными пока лишь около 8 %. Республика Таджикистан является одной из самых обеспеченных этим возобновляемым и экологически чистым источником энергии. В среднем по территории Таджикистана густота речной сети составляет около 0,6км/км². По общему потенциалу гидроэнергоресурсов

Республика Таджикистан занимает восьмое место в мире после Китая, России, США, Бразилии, Заира, Индии и Канады. Среди стран СНГ по этому показателю страна уступает лишь России [9-11].

Крупные реки протекают по многим территориям РТ, такие как Пяндж, Вахш, Сыр-Дарья, Аму-Дарья, Обихингоу, Сурхоб, Кафарниган, Варзоб. Основную роль среди них играет река Вахш, с которой и началось освоение водно-энергетических ресурсов республики. Река Вахш дает порядка 40% объема воды и до 60%, пограничная с Афганистаном, река Пяндж.

Отсюда и огромный энергетический потенциал РТ. Имея всего 7% равнинных земель (93% - это горы), РТ располагает 9% гидроресурсов всего бывшего СССР. Российская Федерация имеет 80%, и все остальные бывшие Республики СССР 11%. Запасы гидроэнергоресурсов реки Вахш с её притоками составляет около 15 млн. кВт установленной мощности с выработкой 54 млрд. кВт.час электроэнергии в год. Еще большие мощности можно получить на реке Пяндж. Здесь имеется 13 потенциальных створов с общей мощностью ГЭС 17,7 млн.кВт и выработкой электроэнергии 82 млрд.кВт.час в среднемноголетний по водности год. Среди них проект Даштиджумской ГЭС мощностью 4 млн.кВт. Высота плотины 320 м, выработка электроэнергии 15,6 млрд.кВт.час [12]. Распределение запасов гидроресурсов на территории РТ показано на рисунке 2.1

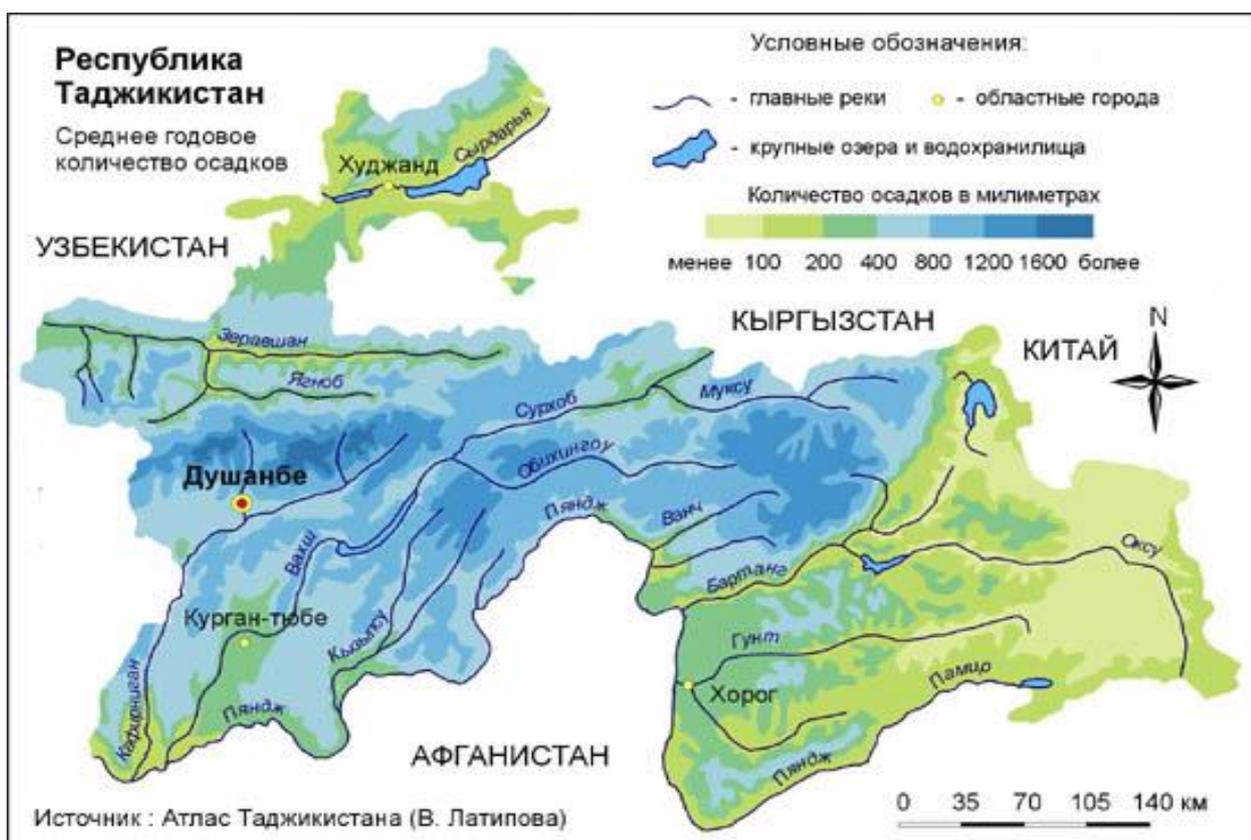


Рисунок 2.1 - Распределение водно-энергетических ресурсов на территории РТ

В республике в 1936 году был введен в действие агрегат первой гидроэлектростанции (ГЭС) Варзоб-1 мощностью 7,44 МВт, построенной неподалеку от столицы республики г. Душанбе на реке Варзоб. Список построенных и действующих электростанций в стране начиная с 30 годов XX века до настоящего времени приведен в таблице П.А.1, а на рисунке 2.2 приведена динамика установленной мощности по годам.

В Республике Таджикистан первая энергетическая программа, учитывавшая сельскохозяйственную направленность экономики, была создана в 1949-1950 годах. Было решено, что развитие энергетики в Республике Таджикистан будет опираться на гидроэнергоресурсы, потому что запаса нефти и газа в регионе практически нет, а запасы угля труднодоступны.

Исходя из этого, можно сказать, что во второй половине минувшего века, особенно с 1950-х по 1980-е годы, энергетика Республики развивалась весьма интенсивно.

Из таблицы П.А.1 и рисунка 1.2 видно, что суммарная установленная мощность всех электростанций республики составляет 5357,686 МВт (на 2015 год).

При этом более 92% электроэнергии в стране вырабатывается на ГЭС. [1,13-16,23]

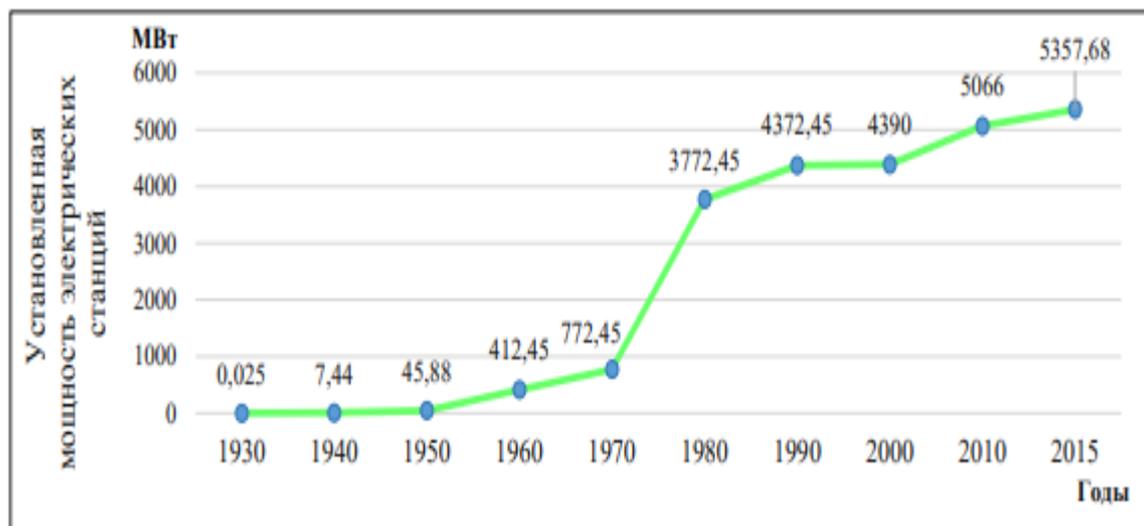


Рисунок 2.2. Динамика развития энергетики Республики Таджикистан. (Рост суммарной мощности)

Крупнейшей гидроэлектростанцией республики, которая входит в состав эксплуатирующей энергетической компании ОАХК «Барки Точик», является Нурекская ГЭС на реке Вахш с установленной мощностью 3000 МВт (девять агрегатов по 335 МВт) и среднегодовой выработкой электроэнергии 11,2 млрд. кВт·ч/год. В эксплуатацию станция принята в 1972 году, последний агрегат введен в строй в 1979 – м году.

Проектирование Байпазинской ГЭС началось в 1970-х. Строительство станции было объявлено Всесоюзной ударной комсомольской стройкой. В эксплуатацию станция принята в 1986 году. Мощность станции составляет 600 МВт (четыре агрегата по 150 МВт) с годовой выработкой электроэнергии в 2,5 млрд. кВт·ч.

Головная ГЭС входит в структурную единицу «Каскад Вахшских ГЭС». На электростанции установлены 3 гидроагрегата мощностью по 35 тыс. кВт и 3 гидроагрегата мощностью по 45 тыс. кВт. Общая установленная мощность электростанции – 240 тыс. кВт.

Сангтудинская ГЭС – 1 установленной мощностью 670 МВт является (четыре агрегатов по 167,5 МВт) пятой ступенью Вахшского каскада гидроэлектростанций и входит в тройку крупнейших ГЭС Таджикистана наряду с Нурекской ГЭС и Байпазинской ГЭС. Первый гидроагрегат ГЭС был введен в строй в январе 2008 года [42].

Сангтудинская ГЭС – 2 (в 120 км юго – восточней Душанбе) мощностью 220 МВт (две агрегатов по 110 МВт) - совместный таджикско - иранский проект. Запуск первого агрегата состоялся 5 сентября 2011 года.

Проектирование Кайраккумской ГЭС началось в 1940-х годах. В эксплуатацию станция принята в 1957 году. Мощность станции составляет 126 МВт, среднегодовая выработка – 600 – 700 млн.кВт·ч. В настоящее время совместно с Европейским Банком Развития, Европейским Инвестиционным Банком и Банком Евросоюза начаты работы по разработке ТЭО реконструкции и модернизации станции.

Душанбинская ТЭЦ – 1 построена и сдана в эксплуатацию в 1957 году. Общая установленная мощность электростанции составляет 198 МВт. На станции установлены 4 турбоагрегатов следующими мощностями: 2 агрегата мощностью 35 МВт, один агрегат 42 МВт, один агрегат 86 МВт.

Душанбинская ТЭЦ – 2 первый пуск 2 агрегатов было в 2014 году. Пуск второй очереди мощностью 300 МВт состоялся 8 декабря 2016 года. На станции установлены 4 генератора: 2 агрегата мощностью 50 МВт и 2 агрегата мощностью 150 МВт. Таким образом установленная мощность электростанции составляет 400 МВт.

По состоянию на 1 января 2018 года, общая установленная мощность электростанций в Республике Таджикистан составляет более 5 757 МВт.[4]

Каскад ГЭС, расположенный на реке Вахш, является основным источником электроэнергии в Таджикистане. Установленная мощность Вахшского каскада составляет 4775 МВт, что составляет более 89% суммарной мощности ЭЭС. Таким образом в Республике Таджикистан производство электроэнергии почти полностью зависит от ГЭС.

В настоящее время ЭЭС РТ испытывает проблемы в электроснабжении потребителей в зимний период. Из-за нехватки электроэнергии в зимний период ограничиваются потребители в некоторых районах страны.

Это объясняется тем, что в зимние месяцы уменьшается таяние снега и ледников, от которых зависит объем воды в реке Вахша. А в летний период в водохранилище НГЭС невозможно накапливать необходимое для зимнего периода количество воды из-за дефицита объема водохранилища, вследствие чего вода летом сбрасывается. Ранее дефицит электроэнергии покрывался за счет экспорта из соседних стран.

Республика Таджикистан географически подразделяется на следующие части:

- 1) Районы республиканского подчинения (центральная часть республики);
- 2) Согдийская область (северная часть республики);
- 3) Хатлонская область (южная часть республики);
- 4) ГБАО (восточная часть республики).

Основная выработка электроэнергии осуществляется в южной части республики, а крупные потребители расположены в центральной и северной части. Производство электроэнергии в Таджикистане зависит от сезона и погодных условий. [17,18,23]

В связи с этим в стране основными являются два режима работы энергосистемы:

- Ограниченный режим работы энергосистемы;
- Нормальный режим работы энергосистемы.

Ограниченный режим вводится на период с декабря по январь путем преднамеренного отключения потребителей для обеспечения надежности

электроснабжения и сохранения живучести энергосистемы в целом. Период нормального режима энергосистемы, когда ограничения на потребление мощности снимаются, ведется с мая по сентябрь.

Динамика производства электроэнергии в ОАХК "Барки Точик" Республики Таджикистан за период 1991-2016 гг., приведена на рисунке 2.3 [1,19,23]

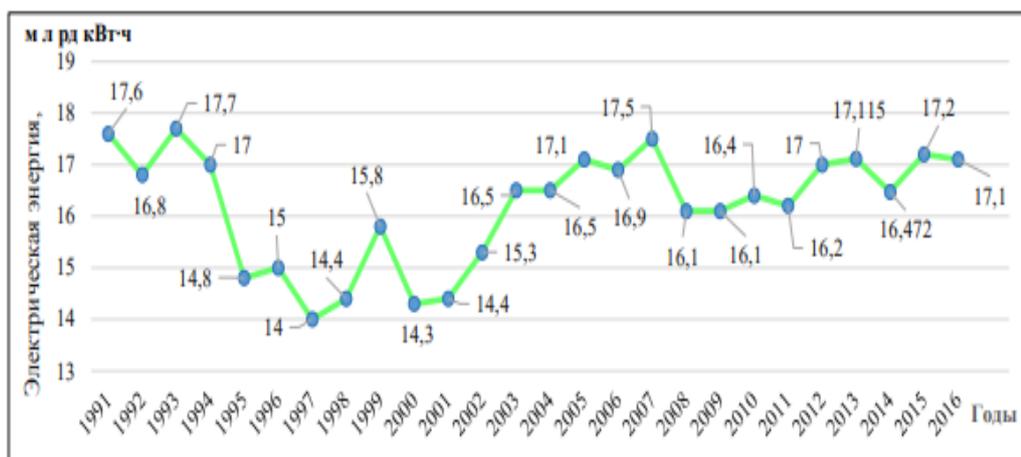


Рисунок 2.3. Динамика производства электроэнергии в ОАХК «Барки Точик» за 1991- 2016 гг.

Рассматривая общую картину изменения выработки электроэнергии в Республике Таджикистан (за исключением ГБАО с 2002 года) за период 1991-2016 гг. (рисунок 2.3), можно отметить, что самый низкий уровень производства электроэнергии был зафиксирован в 1997 г. (14 млрд кВт·ч), а самое максимальное производство электроэнергии было в 1993 г, которое составило 17,7 млрд кВт·ч. В 2007 году выработка электроэнергии в Республике почти достигла максимума и составила 17,5 млрд кВт·ч. После этого в 2008-2009 гг. она снизилась на 8% по сравнению с 2007 годом. Причиной снижения производства электроэнергии в 2008 году являлся мировой экономический кризис, что тоже повлияло на Республику Таджикистан. В 2009 году Республика Узбекистан отсоединилась по электрическим сетям от Республики Таджикистан в результате была нарушена связь с ОЭС Центральной Азии. В связи с этим был ограничен экспорт и импорт электроэнергии, что являлось причиной снижения производства электроэнергии в Республике Таджикистан.[1,23]

Существующий дефицит электроэнергии и введение ограничений на ее потребление обусловлены рядом факторов: высоким спросом на электроэнергию для отопления жилья зимой, потерей источника импорта электроэнергии и газа начиная с 2009 года и снижением выработки электроэнергии на ГЭС, мощность которых снижается в зимний период в связи с низким уровнем речного стока.

Лишь Нурекская ГЭС имеет собственное водохранилище. Все другие гидроэлектростанции- руслового типа, их мощность падает зимой в связи со снижением речного стока. В летний период в стране имеется избыток электроэнергии, что объясняется увеличением стока воды в реках и снижением спроса на электроэнергию в стране. В связи с изолированным режимом работы энергосистемы, этот избыток не может экспортироваться в соседние страны. Избыток воды приводит к значительным масштабам холостых сбросов, которые потенциально означают огромную потерю электроэнергии. При этом летний избыток составляет от 3-7,5 млрд кВт·ч в зависимости от водности года [13,18,20,23].

В составе ЭЭС РТ находятся следующие электрические сети [1,21] : Душанбинские городские ЭС; Центральные ЭС; Турсунзадевские ЭС; Раштские ЭС; Южные ЭС; Кулябские ЭС; Яванские ЭС; Кулябские городские ЭС; Курган – Тюбинские городские ЭС; Дангаринчские ЭС; Нурекские ЭС; Сугдские ЭС; Истаравшанские ЭС; Пенджикентские ЭС; Худжанские городские ЭС; Чкаловские городские ЭС; Исфаринские ЭС.

Общее число подстанций в электрических сетях составляет 425, из них составляют: 3 шт. – 500 кВ; 27 шт. – 220 кВ; 167 шт. – 110 кВ; 228 шт. – 35 кВ. Длина воздушных ЛЭП 500 кВ составляет 489,74 км, 200 кВ – 1727,78 км, 110 кВ – 4317,09 км и 35 кВ – 2916,32 км. Диаграмма подстанций электрических сетей ЭЭС РТ в зависимости от класса напряжений показана на рисунок 2.4.

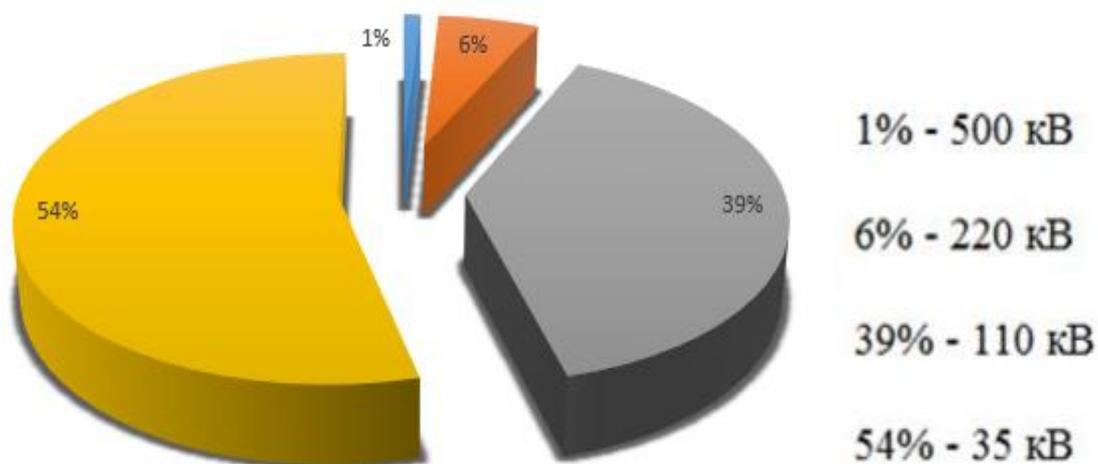


Рисунок 2.4. Диаграмма подстанций электрических сетей ЭЭС РТ

Диаграмма ЛЭП электрических сетей ЭЭС РТ в зависимости от класса напряжений показана на рисунок 2.5.

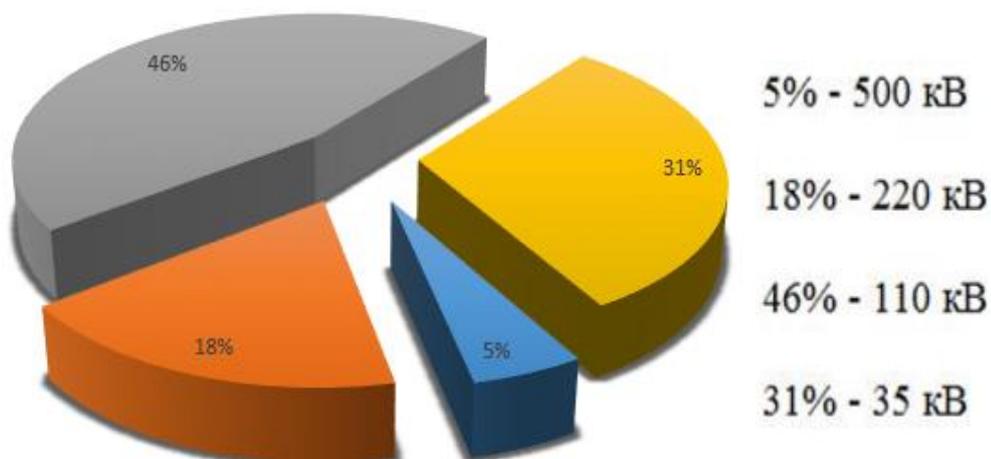


Рисунок 2.5. Диаграмма ЛЭП электрических сетей ЭЭС РТ

Общая мощность трансформаторов, которые находятся на балансе эксплуатирующей энергетической компании ОАХК «Барки Точик» составляют 14815,4 МВА.

Таблица 2.1. Мощность трансформаторов, которые находятся на балансе эксплуатирующей энергетической компании ОАХК «Барки Точик»

№	Подстанций, кВ	штук	S, МВА
1	500	3	3906
2	220	27	4874
3	110	167	4132,1
4	35	228	1903,3
Всего	-	425	14815,4

Диаграмма мощностей трансформаторов электрических сетей ЭЭС РТ в зависимости от класса напряжений показана на рисунок 2.6.

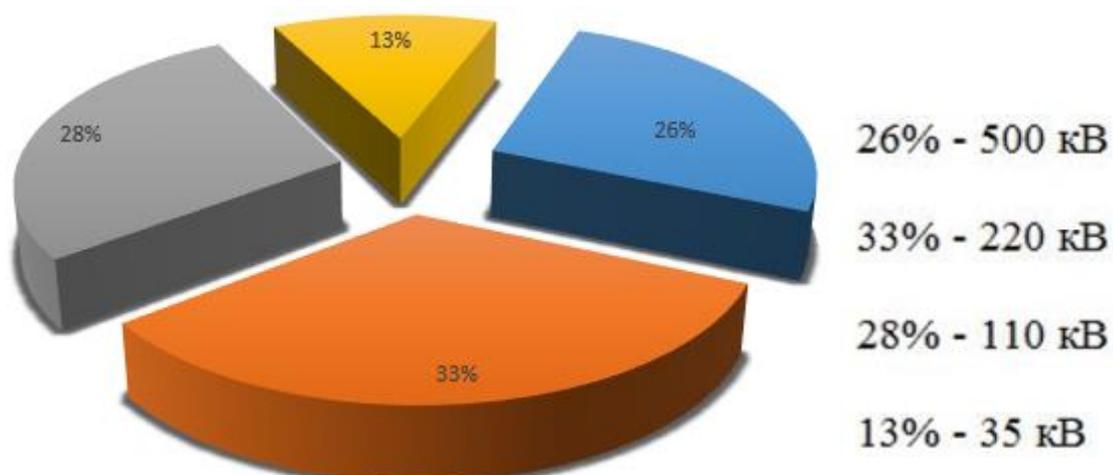


Рисунок 2.6. Диаграмма мощностей трансформаторов ЭЭС РТ

2.2. Потребление электроэнергии и темпы развития промышленных потребителей Республики Таджикистана.

Можно сказать, что производство и потребление электроэнергии по республике в годовом разрезе имеет колебательный характер и зависит от длительности периодов маловодья и многоводья рек. Республика испытывает трудности в связи со значительной нехваткой электроэнергии в зимние месяцы (ноябрь- февраль), дефицит электроэнергии в этот период, составляет 2- 4 млрд кВт·ч, что заставляет страну вводить ограничения на ее потребление. Введение лимита на потребление электроэнергии в некоторых районах страны начинается с октября и длится примерно до апреля. Население в этот период имеет доступ к электроэнергии в течение 3-7 часов в сутки по всем регионам, кроме столицы, где проживает около 10 % населения, и ГБАО. Электроэнергия, потребляемая населением, составляет 40 % от общего объема потребления .

На рисунке 2.7 приведена динамика потребления электроэнергии в Республике за период 1991-2016 гг.

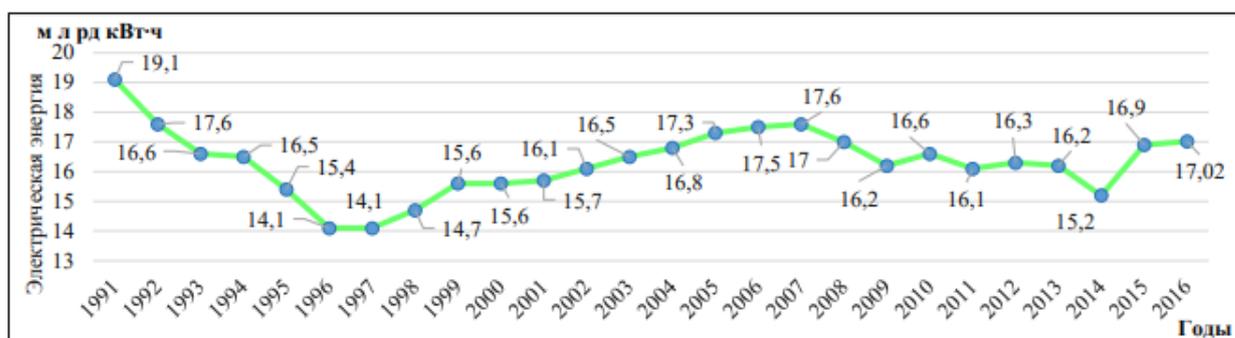


Рисунок 2.7. Динамика потребления электроэнергии в электрических сетях Республики Таджикистан за период 1991- 2016 гг

Из представленной диаграммы видно, что самое максимальное потребление электроэнергии за период 1991-2016 гг., было зафиксировано в 1991 году — 19,1 млрд кВт· ч. Самый низкий уровень электропотребления был в 1996-1997 гг.- 14,1 млрд кВт· ч. В 1996-1997 гг., снижение составило 8,6% по сравнению с 1995 годом, а в 1998 году по сравнению 1996-1997 гг. увеличение составило 4,3%. В дальнейшем наблюдался устойчивый рост потребления

электроэнергии до 2007 года. С 2008 года имеет колебательный характер и за последних 2 года наблюдается рост потребление электроэнергии.

Структура потребления электроэнергии в электрических сетях Республики Таджикистан. Структура потребления электроэнергии в основном определяется двумя факторам: общим уровнем развития и долей энергоёмкости промышленности. Согласно [1], потребители электроэнергии в Республике Таджикистан классифицируются по группам:

1 группа — промышленные, непромышленные, сельскохозяйственные и приравненные к ним потребители.

2 группа — потребители бюджетной сферы, предприятия коммунального хозяйства, и электрифицированный транспорт.

3 группа — водопроводные насосы, насосные станции системы машинного орошения, скважины и мелиоративные насосные станции.

4 группа — население, населённые пункты и общежития[1,18,22].



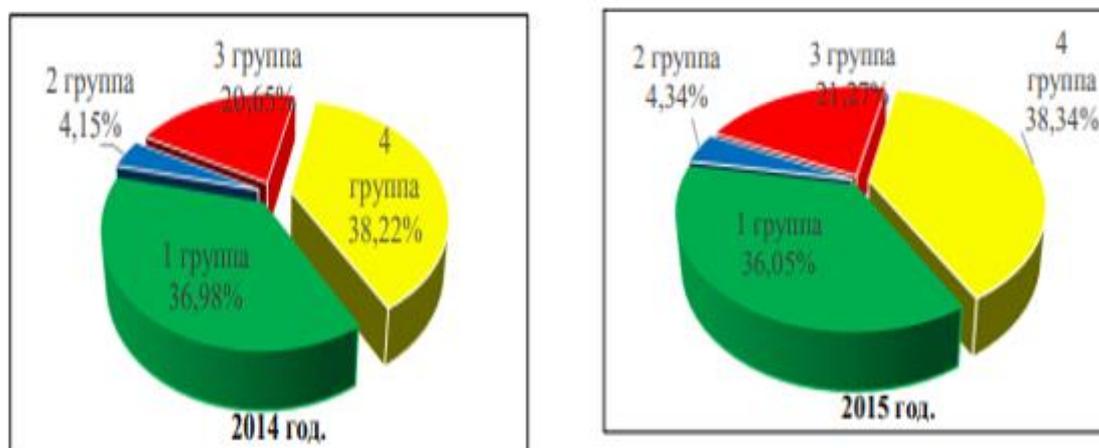


Рисунок 2.8. Структура потребления электроэнергии по отраслям в Республике Таджикистан за период 2010-2015 гг.

Из рисунка 2.8 видно, что в 1-ой группе потребителей потребление за период 2010-2015 гг. снижается каждый год. В 2010 году оно составило 53,12% в 2015 году снизилось до 36,05 %. Это обуславливается тем, что в состав потребителей 1-ой группы входит местная алюминиевая компания ГУП «ТАЛКО» производительность которой сокращается с каждым годом [1].

Во 2-ой группе потребителей зафиксирован рост потребления электроэнергии за период с 2010 по 2015 год. В 2010 году на ее долю приходилось 2,48% от общего потребления, а в 2015 году это значение повысилось до 4,34 % от общего потребления. В первую очередь это связано с развитием в городах электрифицированного транспорта, который влияет на рост электропотребления в этой группе.

3-ая группа потребителей также демонстрирует рост потребления электроэнергии. Её доля в 2010 году составила 15,72%, а 2015 году увеличилась до 21,27%. Так как Республика Таджикистан является сельскохозяйственной страной, то в летние месяцы наблюдается рост потребления электроэнергии насосами для орошения.

Как было отмечено выше, к 4 группе потребителей относятся население (городское и сельское), населенные пункты, общежития.

К крупным городам Республики Таджикистан относятся следующие населенные пункты:

-столица Таджикистана - город Душанбе, расположенный в центре, с населением (802 700 чел.);

- город Ходжент, расположенный на северном части Республики с населением (175 400 чел.);

-город Куляб, расположенный в южном части Республики с населением (104 400 чел.);

-город Курган-Тюбе, расположенный в южном части Республики с населением (102 900 чел.).

Основными потребителями электроэнергии в городах являются электроприемники жилых и общественных зданий, состав которых за последние двадцать пять лет после существенно изменился. Если раньше в основном использовались обычные лампы накаливания, нагревательные приборы и двигатели с прямым пуском, то на сегодняшний день применяется большое количество электронной техники (компьютеры, телевизоры, кондиционеры и т.п.).

Необходимо отметить, что в этих городах была сооружена централизованная система теплоснабжения, построенная в советский период на основе теплоцентралей и котельных. Система централизованного теплоснабжения работала относительно удовлетворительно до 1990- х годов, пока Республика получала значительные объёмы природного газа и мазута из соседних советских республик (также использовался добываемый в стране уголь).

В настоящее время системы теплоснабжения очень изношены, например, в г. Душанбе работают лишь 18 из 181 водогрейных котлов [24]. Поэтому электроэнергия стала основным источником энергии для отопления помещений в хозяйствах подключенных к энергосетям.

Все это способствует росту потребления электроэнергии в 4-ой группе. Так в 2010 году потребление электроэнергии составило 28,68% от общего потребления Республики, а уже в 2015 году это значение равнялось 38,34%.

Государственная политика Республики Таджикистан в области энергетики строится на основе рыночных, институциональных и информационных механизмов в интересах обеспечения её надёжности и развития, а также защиты интересов потребителей энергии.

Государственное регулирование в области энергетики осуществляется путем правового обеспечения, лицензирования, налогообложения, кредитования, финансирования, осуществления инвестиционной, социальной и научно-технической политики, контроля за исполнением предприятиями топливно-энергетического комплекса законодательства Республики Таджикистан.

Энергетические предприятия на территории Республики Таджикистан могут создаваться и функционировать на основе многообразия форм собственности (государственной, частной, акционерной, смешанной, совместной).

Защита интересов потребителей энергии осуществляется согласно законам и другим нормативно-правовым актам Республики Таджикистан.

Для иностранных инвестиций в энергетику законодательством Республики Таджикистан могут устанавливаться налоговые и иные льготы.

Для обеспечения соблюдения всеми юридическими или физическими лицами установленных стандартов, норм и правил в энергетике при производстве, транспортировке, переработке, преобразовании, хранении, потреблении энергетических ресурсов и продуктов, эксплуатации энергетических объектов, установок и оборудования организуется государственный энергетический надзор в порядке, определяемом законодательством Республики Таджикистан.

Промышленность Таджикистана состоит из более 100 видов производства. Большинство предприятий этого сектора с государственной

формы преобразованы в акционерные и частные формы собственности, созданы предприятия с иностранным капиталом. Республика Таджикистан имеет достаточные запасы сырья для легкой, пищевой, химической и других отраслей промышленности. Разведаны крупнейшие месторождения серебра, золота, железа, свинца, сурьмы, угля, поваренной соли, драгоценных камней и других полезных ископаемых. Металлургические, машиностроительные, химические, горно-перерабатывающие, и другие предприятия, обладающим высоким экспортным потенциалом, могут удовлетворить растущий спрос потребителей в производимом высококачественном сырье и продукции как внутри страны, так и за её пределами [25].

Основные показатели работы промышленности

	ед.изм.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Число предприятий, состоящих на самостоятельном балансе	единиц	954	969	1320	1293	1331	1347	1460	1570	1795
Объем промышленной продукции	млн. сомони	7220	7617	8371	8078	7553	8253	8724	9666	10033
Темп роста промышленной продукции (год к году)	%	110,4	105,5	109,9	96,5	93,5	109,2	105,7	110,8	103,8
Численность промышленно- производственного персонала	тыс.чел.	85,1	82,1	80,4	74,2	68,5	77,5	75,4	79,6	76,3
в том числе рабочие	тыс.чел.	66,7	64,0	62,1	57,4	52,7	62,2	60,4	57,6	55,4

Основные показатели работы промышленности

	ед.изм.	2014	2015	2016	2017
Число предприятий, состоящих на самостоятельном балансе	единиц	2150			
Объем промышленной продукции	млн. сомони	10535	12173	15070	
Темп роста промышленной продукции (год к году)	%	105,0	111,2	116,0	
Численность промышленно- производственного персонала	тыс.чел.	81,7			
в том числе рабочие	тыс.чел.	62,8			

Химическая промышленность Таджикистана

В Республике Таджикистан производством химической продукции занимаются несколько промышленных предприятий такие как [25]:

- АООТ «Таджикхимпром» (Яванский Электрохимзавод);
- Совместное таджико-кипрское предприятие (СП) «Таджиказот»;
- Исфаринский химический завод;
- ООО «Тачхизот»;
- АООТ «Кухандиз»;
- ГУП «Заря Востока».

АООТ «Таджикхимпром» (Яванский Электрохимзавод) было построено и введено в действие в 1978 году в городе Яван Хатлонской области. По данным до 2010 года было введено в эксплуатацию 30 электролизеров, мощность которых составляет 20000 тонн обеззараживающих веществ в год. АООТ "Таджикхимпром" является единственным предприятием в стране вырабатывающим такие виды химической продукции, как жидкий хлор, сода каустическая, гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, хлорная известь и другие химические продукты.

Совместное таджико-кипрское предприятие (СП) «Таджиказот» находится в Вахшском районе, городе Сарбанбе Хатлонской области. Завод был построен и введен в действие в 1967 году в Вахшской долине, мощностью 180 тысяч тонн продукции в год. В настоящее время завод производит минеральные удобрения, синтетический аммиак и карбамид. Кроме этого производятся: технический кислород с массовой долей не менее 99,5% давлением не выше 16,5 М Па, жидкий азот, жидкий аммиак, двуокись углерода жидкая и твердая, аммиак водный технический марок А и Б для сельского хозяйства, промышленности и торговли.

Машиностроение Таджикистана

Машиностроение Таджикистана было создано во второй половине XX века для обеспечения потребностей Таджикистана и других стран Средней Азии. В результате развития машиностроительной промышленности в 70-80-х гг. Таджикистан стал вывозить в другие экономические районы страны трансформаторы, ткацкие станки, кабельные изделия, нефтеаппаратуру и т.д.[25].

Производство продукции в натуральном выражении

	ед. изм.	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Трансформаторы силовые	тыс. ква	63,7	22,5	30,6	27,9	19,0	14,0
Холодильники бытовые	тыс. штук		0,5				–
Кабельные изделия по весу меди	тыс. тонн	3,5	2,7	3,6	3,6	0,4	
Арматура промышленно-трубопроводная, включая задвижки, затворы и узлы к ним	тыс. штук	10,4					
Сборка автобусов	штук	2	4	3	2		

«Таджиктекстильмаш» было создано в 1936 в городе Душанбе, которое является одним из крупнейших в Таджикистане машиностроительных предприятий. Завод состоит из литейного цеха (для производства цветного литья (алюминиевого) – 1800 тонн в год, стального литья – 670 тонн в год, чугунного литья – 22,0 тыс.тонн в год). пластмассового цеха (производительностью 950 тонн в год) и две механического цеха для обеспечения цеха инструментами. В заводе производится продукции такие как: шкивы и станины, полумуфты и тормозные колодки, счетчик газовый бытовой, запасные части для мотальных машин, запасные части к насосам и т.д.

ЗАО Торгмаш Душанбе было создано в 1930 в городе Душанбе. Завод производит оборудования для предприятий торговли и ресторанов,

закусочных и стационарных лечебниц. Основная продукция завода является электрошкаф жарочный, сковорода электрическая, электроплита.

Завод “Трактородеталь” было создано в 1945 году в городе Душанбе, а в 1976 году был переименован в ПО “Таджикгидроагрегат”. На заводе производили детали и узлов для сельскохозяйственных машин и являлось крупнейшим изготовителем гидравлической аппаратуры в СССР. С 2001 года предприятие предприятия называется АООТ “Хумо”.

Пищевая промышленность Таджикистана

Пищевая промышленность Таджикистана имеет мощной и перспективной сырьевой базой, которая обладает мощным экспортным потенциалом и имеет стабильный спрос на мировом рынке.

Пищевая промышленность Таджикистана включает в себя такие предприятия[25]:

- АООТ «Худжантский консервный комбинат»
- АООТ «Табак»
- АООТ «Шахринав»
- АООТ «Сиёма»
- СП «Оби Зулол»
- АООТ «Душанбинская табачная фабрика»
- ОАО «Ширин»

Основная выпускаемая продукция:

- Кондитерские изделия;
- Безалкогольные напитки;

- Масло растительное;
- Колбасные изделия;
- Консервные изделия.

2.3. Энергетическая стратегия и реализуемые проекты в Республики Таджикистан.

Энергетическая стратегия Республики Таджикистан направлена на достижение энергетической независимости страны и отражена во многих действующих программах и документах.

Программа среднесрочного развития Республики Таджикистан на 2016-2020 годы, который действует от 28 декабря 2016 года [26], и имеет следующие основные приоритеты в области энергетики:

- диверсификация источников энергии, как за счет освоения имеющегося гидроэнергетического потенциала, так и сооружения ТЭС, использования энергии солнца, ветра и биомассы, реализация комплекса мер по энергосбережению и повышению энергетической эффективности национальной экономики;
- стимулирование превентивного устойчивого роста смежных отраслей и энергетической инфраструктуры;
- достижение позитивных количественных и качественных изменений в отечественной энергетике, что позволит обеспечить эффективное устойчивое развитие всех подсистем Топливо-энергетического комплекса, важнейшей составляющей которого будет не только природно-ресурсный, но человеческий и инновационный потенциалы;
- строительство и восстановление новых и существующих электрогенерирующих объектов, и электрических сетей, уменьшение потерь энергии и развитие регионального рынка реализации электроэнергии.

Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года [27,28], одной из ключевых целей которой является обеспечение энергетической безопасности и эффективное использование электроэнергии в Республике Таджикистан. В данной стратегии поставлена цель, трёхкратного увеличения энергетической мощности страны (с 17 до 45 млрд. кВт/ч), что даст мощный рывок для развития энергетического сектора республики [29]. Согласно [30], основным целям Республики Таджикистан в рамках инициативы ООН «Устойчивая энергия для всех»:

1. Доступ к энергии: Обеспечение круглогодичного надежного доступа к электроэнергии для 5,6 миллионов человек, проживающих в сельских районах Таджикистана.
2. Энергоэффективность: снижение энергетических потерь в электрических сетях до 10% и в тепловых сетях до 20%, а также повышение эффективности использования электроэнергии во всех секторах экономики, включая ирригационные системы и потребителей, как минимум на 20% от базового уровня.
3. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ): увеличение выработки электроэнергии с использованием ВИЭ на 20% от существующего уровня.

Для реализации этих целей необходимо:

1. Совершенствование нормативно-правовой базы и институциональной реформы энергетической отрасли, в том числе создание независимого регулирующего органа в секторе электроэнергетики;
2. Реформирование тарифной политики, обеспечение прозрачности принятия решения, вовлечение общественности, уязвимых слоев населения и других групп потребителей в процесс принятия решений;
3. Привлечение частных инвестиций и развитие рыночных отношений в энергетическом секторе;
4. Создание Национального Целевого Фонда поддержки ВИЭ и энергоэффективности;

5. Разработка долгосрочной программы и целенаправленной политики энергоэффективности во всех секторах экономики;
6. Развитие местной производственной и ремонтно-эксплуатационной базы, материалов и оборудования для энергетического сектора;
7. Региональное сотрудничество и кооперация в энергетическом секторе.

В Республике в области электроэнергетики, одной из главных целей которой является надежное функционирование электрических сетей и снижения потерь электроэнергии, в перспективе намечается строительство новых станций больших, средних и малых мощностей, строительство новых ЛЭП высокого напряжения (220- 500 кВ). Наиболее значимыми проектами развития в области электроэнергетики являются [1]:

- до 2019 года, за счет собственных средств и привлечения к участию международных финансовых институтов, будет реализован проект «Системы диспетчерского управления и сбора данных в главном центре диспетчерского управления»
- проект «Снижение потерь электроэнергии в Согде»;
- Строительство ЛЭП -500 кВ в рамках проекта CASA -1000 (2016-2018г.);
- Завершение строительства Рогунской ГЭС (мощностью 3600 МВт,);
- Шурабской ГЭС (850 МВт); Зерафшанской ГЭС (160 МВт); ТЭЦ Шуроб-1 (300 МВт); ТЭЦ Шуроб-2 (300 МВт); ТЭЦ Фон-Ягноб (500 МВт). (2015-2025г.).

Также в Таджикистане поддерживается развитие малой энергетики. Правительством Республики Таджикистан принято Постановление № 795 от 30 декабря 2015 года о «Программе освоения возобновляемых источников энергии и строительства малых гидроэлектростанций на 2016-2020 годы». Согласно этой Программе к 2020 году должны быть построены 64 малых ГЭС общей установленной мощностью от 5 до 10000 кВт. Потенциальными источниками для финансирования этих объектов определены министерства и ведомства республики, местные и международные инвесторы,

международные и общественные организации и частные лица. В настоящее время в республике зарегистрированы более 285 действующих малых ГЭС мощностью от 5 до 4300 кВт. Из этого количества 16 единиц малых ГЭС построены и эксплуатируются ОАХК «Барки Точик», т.е. являются Государственными.

Были построены такие малые ГЭС как «Спондж» на реке Бартанг, «Савноб» на роднике кишлак «Савноб», «Техарв» на притоке реки Ванч, «Андорбак» на реке Камочдара, «Памир-1» на реке «Гунт», «Хазора» на реке Зидды, «Марзич» (4300 кВт) Айнинский район, «Сангикар» Раштский район (1000кВт), «Питовкул-2» Джиргитальский район (1100 кВт), «Кухистон» ГорноМатчинский район (500 кВт), реконструкция ГЭС «Ак-Су» в Мургабском районе, строительство «Мотравн» в Ванджском районе и ряд других, которые способствовали электрификации населенных пунктов, расположенные в децентрализованных районах[11].

В Республике в настоящее время одним из успешных проектов считается проект «Снижение потерь электроэнергии в Согде». В процессе реализации этого необходимого проекта ОАХК «Барки Точик» были достигнуты хорошие результаты в плане прозрачного использования электроэнергии и сокращения ее потерь. Основной целью проекта «Снижение потерь электроэнергии в Согде», который реализуется при финансовой поддержке Европейского банка развития и реконструкции, Инвестиционного банка Европы и Европейской комиссии на общую сумму 35,8 миллиона долларов, является экономия электроэнергии, снижение технических и коммерческих потерь, урегулирование процесса оплаты использованной энергии, частичной реконструкции сетей, внедрение биллинговой системы регистрации, а также установка электронных счетчиков[1,11].

Проводится реконструкция части электрических сетей среднего напряжения. Ведется строительство подстанций «Вахдат-110/10 кВ» и «Темурмалик» 110/10 кВ и нескольких трансформаторных подстанций на

территории Согдийской области. Необходимо отметить, что подобный проект в системе ОАХК «Барки Точик» считается экспериментальным[1].

В рамках Регионального проекта передачи электроэнергии на основе Грантового соглашения, подписанного между Правительством Республики Таджикистан и Азиатским Банком Развития, 17 августа 2017г была сдана в эксплуатацию подстанция 220\110\10 кВ «Геран-2» [11].

Основная цель строительства новой подстанции «Геран-2», прежде всего, заключается в расширении и обновлении системы электропередачи южной части Республики Таджикистан, что способствует региональной торговле электроэнергией.

Одновременно, этот объект играет важную роль в снижении потери электроэнергии и улучшении надежности обеспечения электричества в южном регионе Таджикистана. Новая подстанция «Геран-2» расположена на площади 7га, на ее строительство в целом потрачено более 21 млн. 500 тыс. долларов.

Строительные и монтажные работы на подстанции «Геран-2» осуществлены в соответствии с международными нормами Консорциумом «Алстом-Генсер» и подрядчиками проекта Обществами с ограниченной ответственностью «Интеграл», «Точиккурортстрой» и «Барксоз» Республики Таджикистан. Оборудование ввезено из развитых государств мира, в том числе Франции, Италии, Турции, Китая и Республики Казахстан. Две линии электропередачи 220 кВ подстанции «Геран-2» соединены с ГЭС «Сангтуда-1» и одна линия 220 кВ – с подстанцией «Колхозобод».

Республика Таджикистан является бенефициаром ряда региональных проектов по сотрудничеству в области энергетики. В рамках ЦАРЭС (Центрально Азиатское региональное экономическое сотрудничество), разработан План инвестиций в энергетический сектор стран региона на 10 лет (2012-2022г.г.). Таджикистану для реализации плана требуется привлечение внешних инвестиций в объеме 3,73 млрд. долларов США [1]. Партнёрами по проекту являются: Кыргызская Республика, Казахстан, Узбекистан и

Афганистан. Приоритетными проектами на период до 2030 года, от своевременной реализации которых зависит энергетическая безопасность страны, является реабилитация генерирующих мощностей на Нурекской, Кайракумской и Сарбандской гидроэлектростанциях, а также завершение строительства Рогунской ГЭС и реализация проекта CASA-1000.

В октябре 2006 года Центрально Азиатские страны – Республика Таджикистан и Кыргызская Республика, и Южно-Азиатские страны – Исламская Республика Пакистан и Исламская Республика Афганистан подписали в г.Душанбе четырёхсторонний Меморандум взаимопонимания по созданию Регионального рынка торговли электроэнергией между странами Центральной и Южной Азии (CASAREM), который обязал страны-участницы осуществить строительство необходимой инфраструктуры и куплю-продажу электроэнергии в рамках соответствующей институциональной и правовой базы [1,11,31].

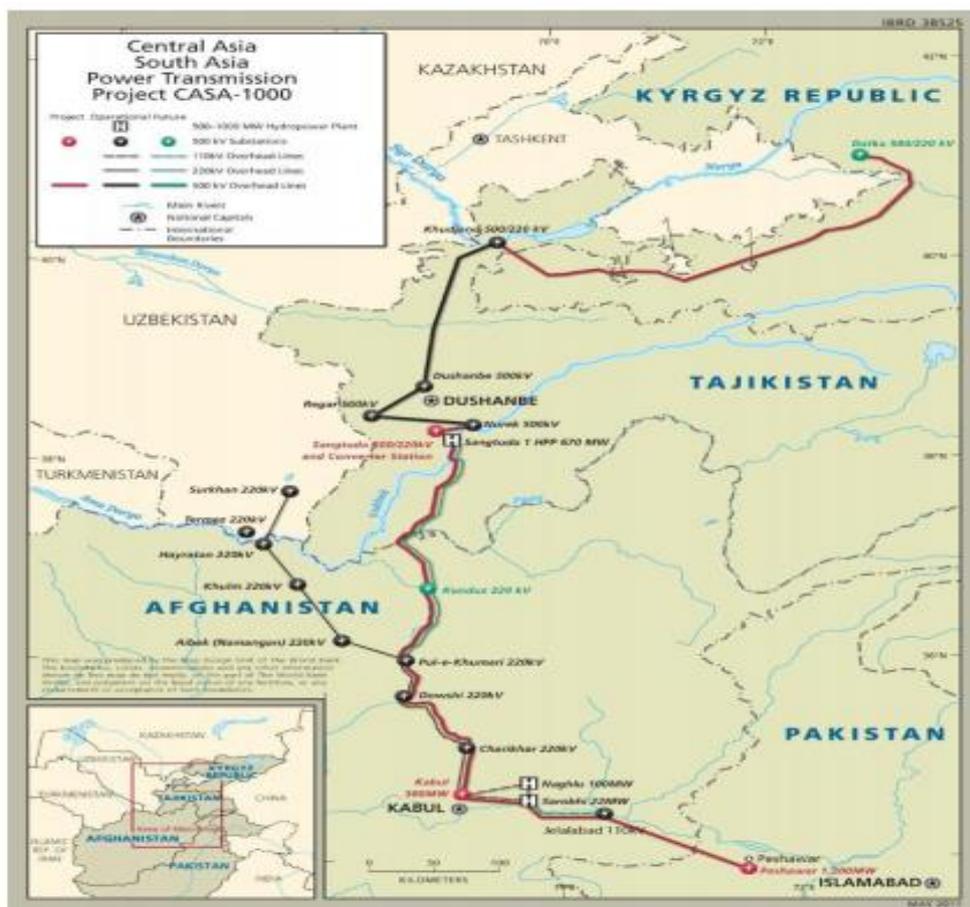


Рисунок 2.9. Схема проекта CASA-1000

CASAREM предусматривает создание технических, экономических и правовых условий по торговле электроэнергией между странами Центральной и Южной Азии, посредством реализации ряда проектов и сопутствующих им инвестиций, поддерживаемых соответствующими институциональными механизмами и правовыми договоренностями. Проект «CASA-1000» является одной из составных частей CASAREM.

ЛЭП – 500 кВ постоянного тока, свяжет энергосистемы Кыргызстана–Таджикистана – Афганистана – Пакистана. На первом этапе будет экспортироваться до 1 300 МВт в Пакистан (5 млрд. кВт. час в летние периоды ежегодно, в том числе 3 млрд. кВт. час из Таджикистана и 2 млрд. кВт. час из Кыргызстана).

В рамках реализации данного Проекта предусматривается задействовать действующие и строящиеся в Республике Таджикистан и Кыргызской Республике электрические станции, подстанции и линии электропередачи. При этом предусматривается строительство дополнительных высоковольтных линий электропередачи переменного и постоянного тока, подстанций и преобразовательных станций в государствах-участниках Проекта.

Учитывая график ввода в эксплуатацию новых ГЭС в Таджикистане, а также высокий спрос на электроэнергию в зимний период на внутреннем рынке страны, предполагается, что в течение первых лет реализации проекта «CASA-1000» (до запуска рассматриваемых ГЭС) будут наблюдаться лишь небольшие объемы избыточной энергии для экспорта в Пакистан и Афганистан, особенно в зимние месяцы. Однако после ввода в эксплуатацию указанных ГЭС энергии для экспорта будет достаточно.

12 мая 2016 года в Турсунзаде состоялась церемония запуска регионального энергетического проекта CASA-1000 с участием Президента Таджикистана Эмомали Рахмона, Премьер-министра Пакистана Наваза Шарифа, Премьерминистра Афганистана Абдулло Абдулло и Премьер-министра Кыргызстана Сооронбая Жээнбекова.

Проект CASA – 1000, показанный на рисунок 2.10, включает в себя строительство следующих ЛЭП и ПС [1,31,32]:

- ЛЭП переменного тока 500 кВ от ПС Датка до ПС Сугда (477 км);
- ЛЭП переменного тока 500 кВ от ПС Регара до Сангтуда – 1;
- ЛЭП переменного тока 220 кВ (около 80 км) от ПС Нурек до ПС Сангтуда – 1;
- ЛЭП постоянного тока 500 кВ мощностью 1300 МВт от ПС Сангтуда-1 до ПС Пешавара через Кабул (750 км);
- Преобразовательная электрическая ПС в Сангтуде - 1 для преобразования 1300 МВт переменного тока в постоянный ток;
- Преобразовательная электрическая ПС в Пешаваре на 1300 МВт;
- Преобразовательная электрическая ПС в Кабуле на 300 МВт.

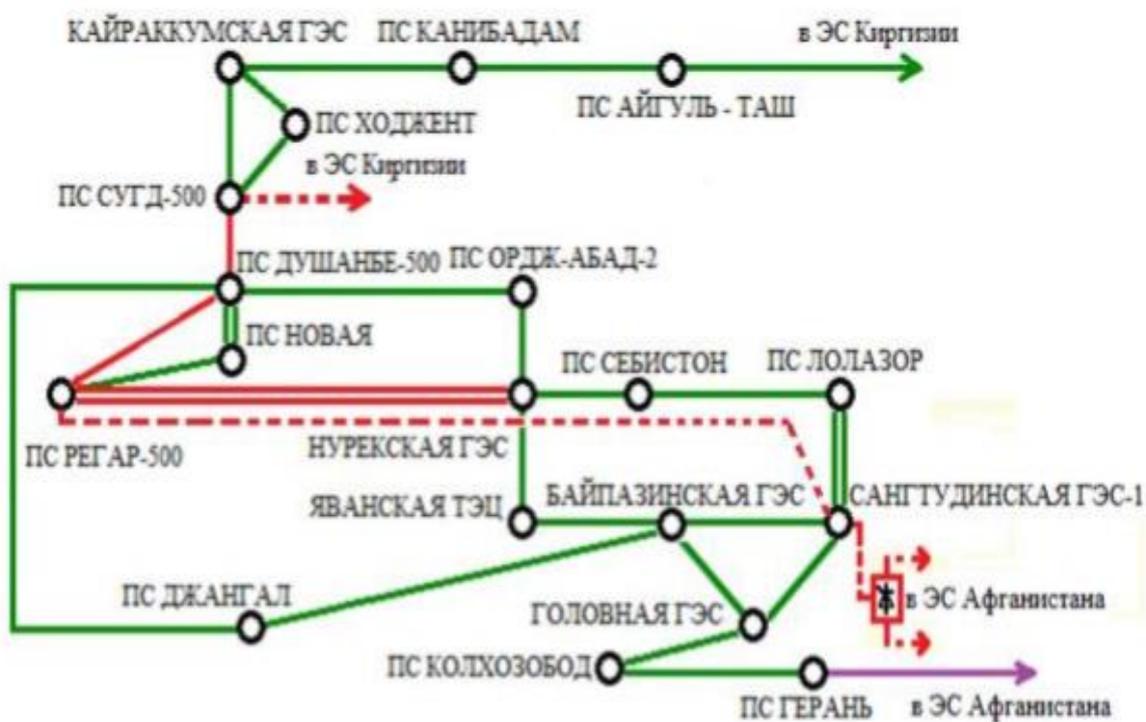


Рисунок 2.10. Схема ЭЭС РТ после реализации проекта CASA-1000

Правительство Таджикистана активно работает над завершением строительства Рогунской ГЭС. Рогунская ГЭС с установленной мощностью

3600 МВт станет самой крупной станцией в Таджикистане, со среднегодовой выработкой электроэнергии 13,1 млрд. кВт·ч. Рогунский гидроэнергетический узел является наиболее крупным на р.Вахш, обеспечивающий наиболее эффективную работу всего каскада

Таким образом, ввод в эксплуатацию Рогунской ГЭС, а также реализация проекта CASA – 1000, позволят достичь РТ энергетической независимости, а также значительно повысят экономический потенциал страны.

2.4.Выводы

На основании приведенного можно сделать следующие выводы:

1. Таджикистан обладает большими запасами гидроэнергоресурсов, из которых реализованы всего лишь 8 %. Практически отсутствуют запасы нефти и газа, а добыча угля не рентабельно. Установленная мощность ГЭС составляет 96 %. Основная доля электроэнергии в стране вырабатывается на ГЭС (98 %). ТЭЦ работают только в зимнем периоде на них вырабатывается почти 2 % электроэнергии в стране. Почти 97 % мощностей всех ГЭС расположены на реки Вахш.
2. Существует дефицит электроэнергии (около 2-4 млрд кВт·ч) в зимний период, связанны с уменьшением стока воды в реках, что заставляет страну вводить ограничение на её потребление. В летнем периоде существует избыток электроэнергии.
3. Основные источники энергии расположены в Южной части страны, а крупные потребители в Центральной и Северной.

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЭЭС РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ.

3.1. Многомерные модели суточных графиков электрической нагрузки на основе метода главных компонент.

Если исследуются реализации суточных графиков электрической нагрузки $P_j(t)$, где j - это номер суток, а $P_j(t_i) = p_{ji}$ - значение мощности j -х суток в сечении t_i , то в качестве объектов будут выступать реализации суточных графиков, а параметрами будут значения мощности в сечениях t_i решетчатой модели (рис.3.1а, рис. 3.1б). Результаты измерений решетчатых графиков $P_j(t_i)$ можно представить в виде следующей матрицы наблюдений:

$$P = \left. \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} p_{11}, p_{12} \cdots p_{1j} \cdots p_{1N} \\ p_{21}, p_{22} \cdots p_{2j} \cdots p_{2N} \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \\ p_{i1}, p_{i2} \cdots p_{ij} \cdots p_{iN} \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \\ p_{241}, p_{242} \cdots p_{24j} \cdots p_{24N} \end{array} \right| \\ \left. \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{Сечения } t_i, \quad P_j = \left| \begin{array}{c} p_{1j} \\ p_{2j} \\ \cdots \\ p_{24j} \end{array} \right|, j = 1, 2, \dots, N. \quad (3.1)$$

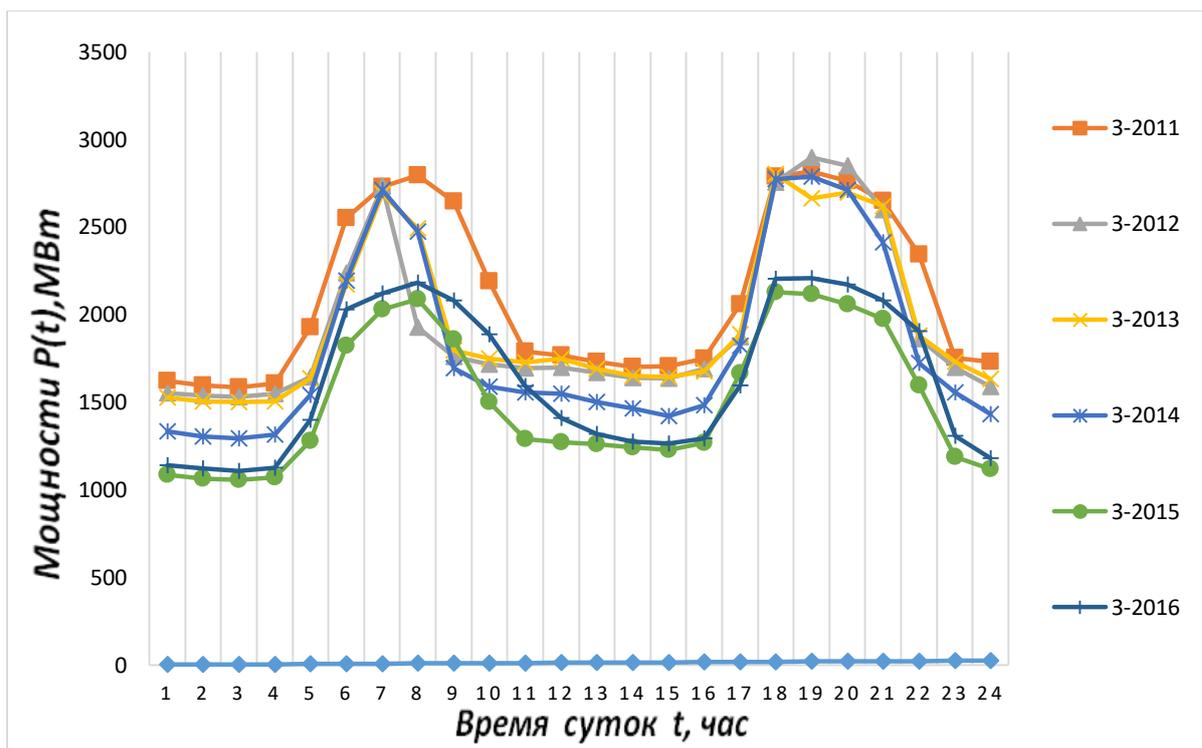
суточные графики $1, 2, \dots, j, \dots, N$.

Столбцы матрицы P являются дискретными реализациями N графиков нагрузки $P_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, N$, а строки – это совокупности значений реализаций для i -го сечения (i -го часа суток).

Следовательно, совокупность N решетчатых моделей суточных графиков нагрузки с $n=24$ степенями (n сечениями) можно представить как векторное пространство L_n .

В зависимости от целей исследования матрица исходных данных P в преобразованиях метода главных компонент используется непосредственно или преобразуется в матрицу центрированных [8, 33-36] данных \dot{P} , элементы которой определяются следующим образом $\dot{P}_{ij} = P_{ij} - \bar{P}_i$, где \bar{P}_i – среднее значения по i -ой строке матрицы P .

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N P_{ij}. \quad (3.2)$$



В случае, когда параметры объектов имеют различные размерности, используется матрица нормализованных данных Z , элементы которой определяются следующим образом:

$$Z_{ij} = \frac{\dot{P}_{ij}}{\sigma_{P_i}}, \quad \text{где} \quad \sigma_{P_i} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \dot{P}_{ij}^2} \quad (3.3)$$

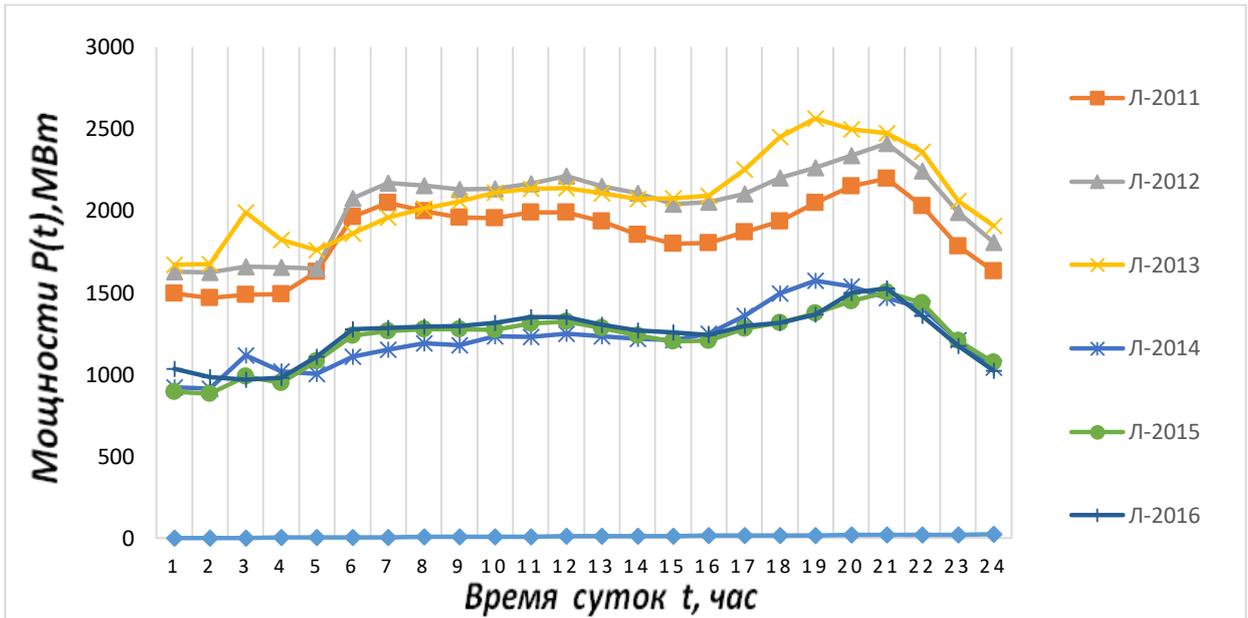


Рисунок 3.1 - Реализации решетчатых моделей максимальных суточных графиков электрической нагрузки $P_j(t)$ Южной части ЭЭС РТ за период с 2011 по 2016 годы: а) зимние графики; б) летние графики

Фактические данные о потреблении максимальных зимних и летних электрических нагрузок в период 2011-2016 годы приведены на рисунке 3.1 а), б).

Графики сезонов имеют свои особенности:

- Зимние графики имеют два ярко выраженных пика (8 утра и 19 вечера) и провалы в ночные и дневные часы, что объясняется нехваткой воды с тающих ледников на ГЭС, которые вырабатывают 80% электроэнергии в регионе.

- Летние графики отличаются равномерностью, т.к. летом реки, текущие с ледников, становятся полноводнее, и необходимости в ограничении потребления нет.

3.2. Исследование взаимосвязей главных компонент с формой суточного графика электрической нагрузки Южной части энергосистемы Таджикистана.

Задача классификации объектов исследования (например, реализаций графиков нагрузки) на устойчивые классы или кластеры, обладающие общими свойствами, решается с использованием методов теории распознавания образов, согласно которой измеряемому процессу ставится в соответствие минимальный набор признаков, характеризующих этот процесс. В качестве признаков выбираются точечные или интегральные характеристики процесса. Интегральными признаками могут быть выбраны, например, моменты различных порядков случайных процессов (дисперсия, среднее значение, эксцесс), либо коэффициенты при разложении процесса по системе ортогональных функций. В качестве ортогональных функций могут быть выбраны функции разложения Фурье, но если разлагаемый процесс является нестационарным и непериодическим (что имеет место в ряде задач), то коэффициенты разложения Фурье становятся линейно – зависимыми, что уменьшает их информативность в смысле классификации и требуется большая размерность признакового пространства. Точки или образы в пространстве признаков группируются в кластеры, на которые разбивается множество реализаций исследуемого процесса. В данной работе фактические максимальные суточные графики Южной части ЭЭС РТ разбиваются на два кластера: зимние и летние графики.

В данной работе для классификации и распознавания образов объектов применяется ортогональное разложение метода главных компонент (дискретное разложение Карунена – Лоэва). Приведены примеры классификации суточных графиков нагрузки Южной части ЭЭС Республики Таджикистан в пространстве главных компонент. В методике долгосрочного прогнозирования, представленной в

данной работе [34], прогноз суточных графиков выполнялся в пространстве главных компонент, т.е. прогнозировались главные компоненты f_1 , f_2 , f_3 , по которым строились прогнозируемые суточные графики $P(t)$. В связи с этим представляет интерес выявление закономерностей во взаимосвязях главных компонент f_i с параметрами (формой) прогнозируемого максимального суточного графика $P(t)$ энергосистемы или ее части.

Для нецентрированных суточных графиков мощности первая компонента связана с величиной среднего за сутки значения графика нагрузки, а вторая и третья компоненты – с ординатами на отдельных временных интервалах максимальных суточных графиков энергосистемы (утренний и вечерний максимумы, дневные и ночные часы). Для центрированных данных определяющими являются взаимосвязи с ординатами суточного графика для первой и второй компонент и в меньшей степени для третьей компоненты. Выявленные закономерности могут использоваться для повышения точности долгосрочного прогнозирования максимальных нагрузок энергосистемы.

В данные матрицы использовались максимальные зимние и летние суточные графики нагрузки Южной части энергосистемы Таджикистана за период с 2011 по 2016 гг. В данной работе в качестве исходных данных использована матрица P из примеры зимних и летних суточных графиков.[33,34]. Примеры зимних и летних суточных графиков за 2011 и 2016 гг. из матрицы P приведены на рис. 3.1а и 3.1б. откуда видно, что за рассматриваемый период произошел общий рост нагрузок в зимние максимумы от 500 до 850 МВт и в летние максимумы - от 600 до 810 МВт.

Значительный дневной провал в зимних графиках объясняется ограничениями, связанными с недостаточными объемами воды в водохранилищах ГЭС в этот период.

При ортогональном разложении использовался ортогональный базис (матрица собственных векторов), полученный по общей матрице данных, состоящей из зимних и летних максимальных суточных графиков. По мере накопления матрицы данных можно будет перейти к исследованиям зависимостей и прогнозированию на двух ортогональных базисах, т.е. для двух вариантов разложения: по собственным векторам для зимних графиков и, аналогично, для летних графиков, что позволит провести более детальный анализ взаимосвязей получать более точные прогнозы.

Ортогональное преобразование МГК в [37,41] выполнялось для нецентрированных суточных графиков $P(t)$, из которых формировалась матрица исходных данных P размера $(n*N)$, где $n = 24$ - количество часовых замеров в суточном графике, а N - количество исследуемых суточных графиков.

Для матрицы K по методу Якоби определяются собственные числа k_i , соответствующие им собственные векторы u_i и формируется матрица собственных векторов U . Собственные u_i векторы матрицы U являются ортогональным базисом, в котором выполняется преобразование как зимних, так и летних максимальных суточных графиков.

Ортогональное преобразование матрицы P выполняется следующим образом:

$$P = UF, \quad (3.4)$$

где F - матрица главных компонент.

Матрица F получается из обратного преобразования:

$$F = U^T P. \quad (3.5)$$

Исследование взаимосвязей главных компонент f_1 ортогонального разложения суточных графиков $P_i(t)$ с формой суточного графика мощности с целью выявления существующих закономерностей [38] выполнялось следующим образом.

Выбиралось минимальное значение исследуемой компоненты f_1 min , шаг изменения Δf_i , максимальное значение f_{max} . Выбранное значение f_i записывалось в вектор f_j вместо фактического значения $f_{j\text{фактич.}}$. По измененному таким образом вектору f_j строился график P'_j . Затем рассматривались значения $f_i + \Delta f_i$, $f_i + 2\Delta f_i$ и т. д. до $f_{i\text{max}}$. Для каждого из новых значений f_{ji} строились графики P'_j . Графики P'_j показаны на рисунках 3.2а, 3.2б, 3.2в и 3.3а, 3.3б, 3.3в. Рассмотрено влияние трёх главных компонент (f_{j1} , f_{j2} , f_{j13}) на примере зимнего и летнего максимального суточного графика 2017 года.

Из рисунка 3.2а видно, что первая компонента f_1 связана со средним значением суточного графика. При увеличении значения компоненты f_1 от 8000 МВт до 8400 МВт с шагом 200 МВт все ординаты графика пропорционально увеличиваются.

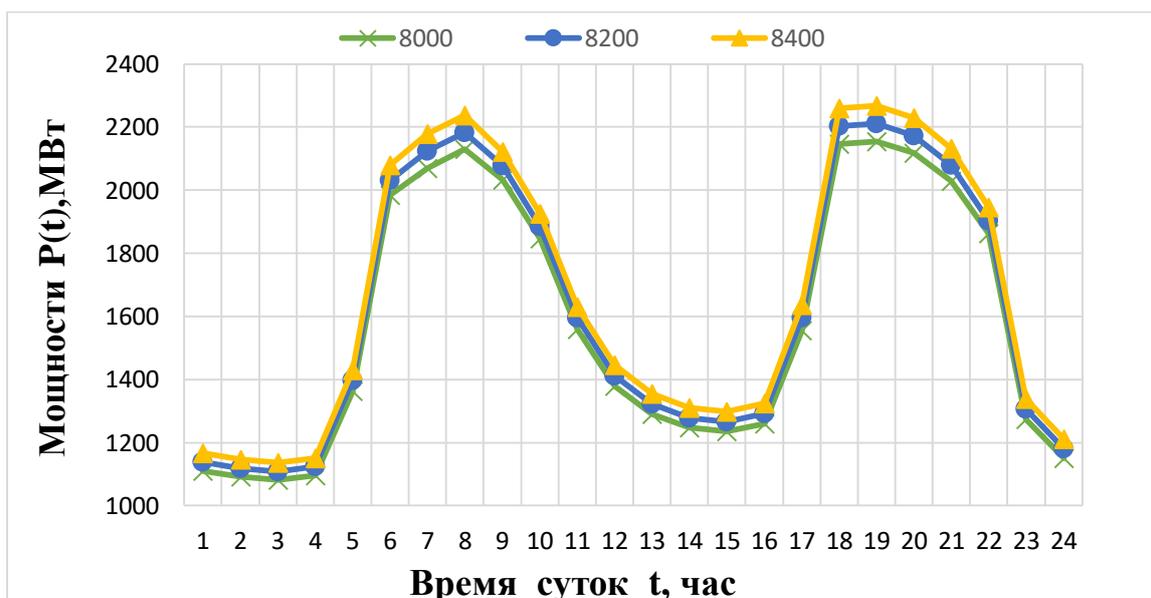


Рисунок 3.2а - Взаимосвязь главной компоненты f_1 с формой суточного графика $P(t)$ зимнего периода.

Из рис.3.26 видно, что при увеличении значений главной компоненты f_2 от 412 до 612 МВт с шагом 100 МВт уменьшаются значения графика $P(t)$ в часы суток с 06:00 до 08:00 от 2152 до 2095 МВт, а также с 17:00 до 21:00 от 2237 до 2183 МВт, и увеличиваются с 08:00 до 12:00 от 2019 до 2136 МВт.

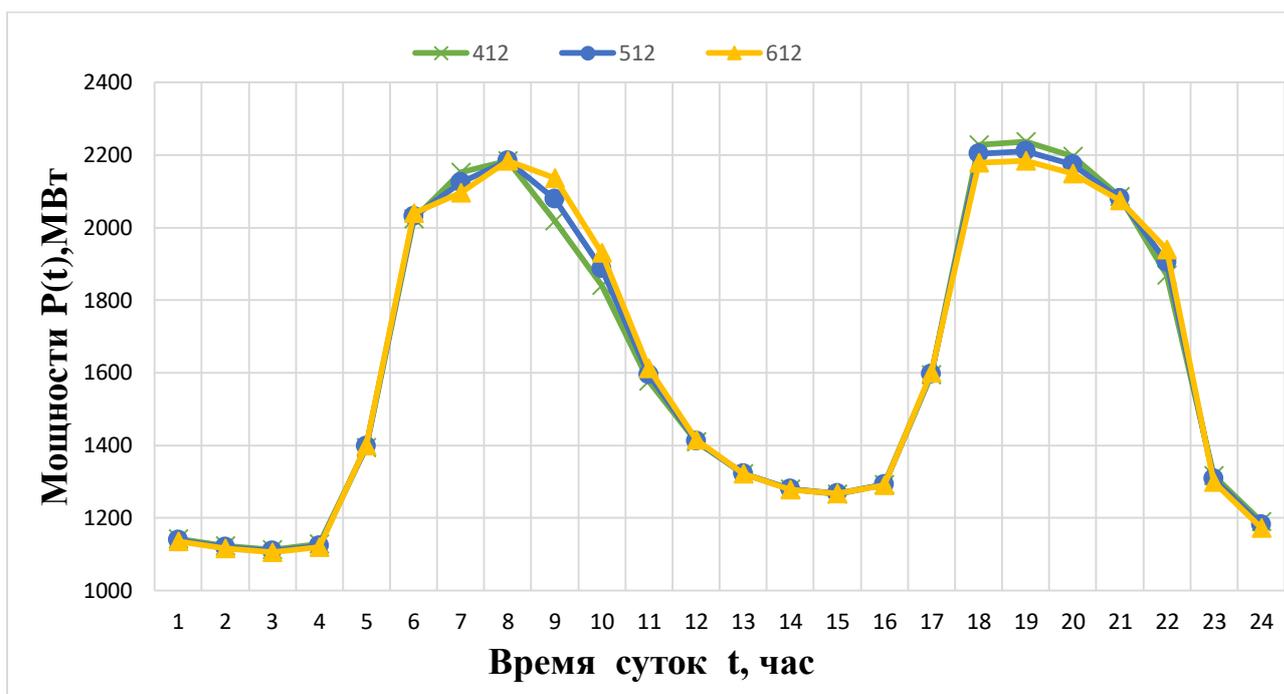


Рисунок 3.26 - Взаимосвязь главной компоненты f_2 с формой суточного графика $P(t)$ зимнего периода.

При увеличении значений главной компоненты f_3 от -227 до -27 МВт с шагом 100 МВт значения ординат суточного графика в часы с 24:00 до 04:00 и с 08:00 до 09:00 пропорционально увеличиваются, а также в часы с 06:00 до 08:00, с 18:00 до 20:00 и с 22:00 до 24:00 пропорционально уменьшаются.

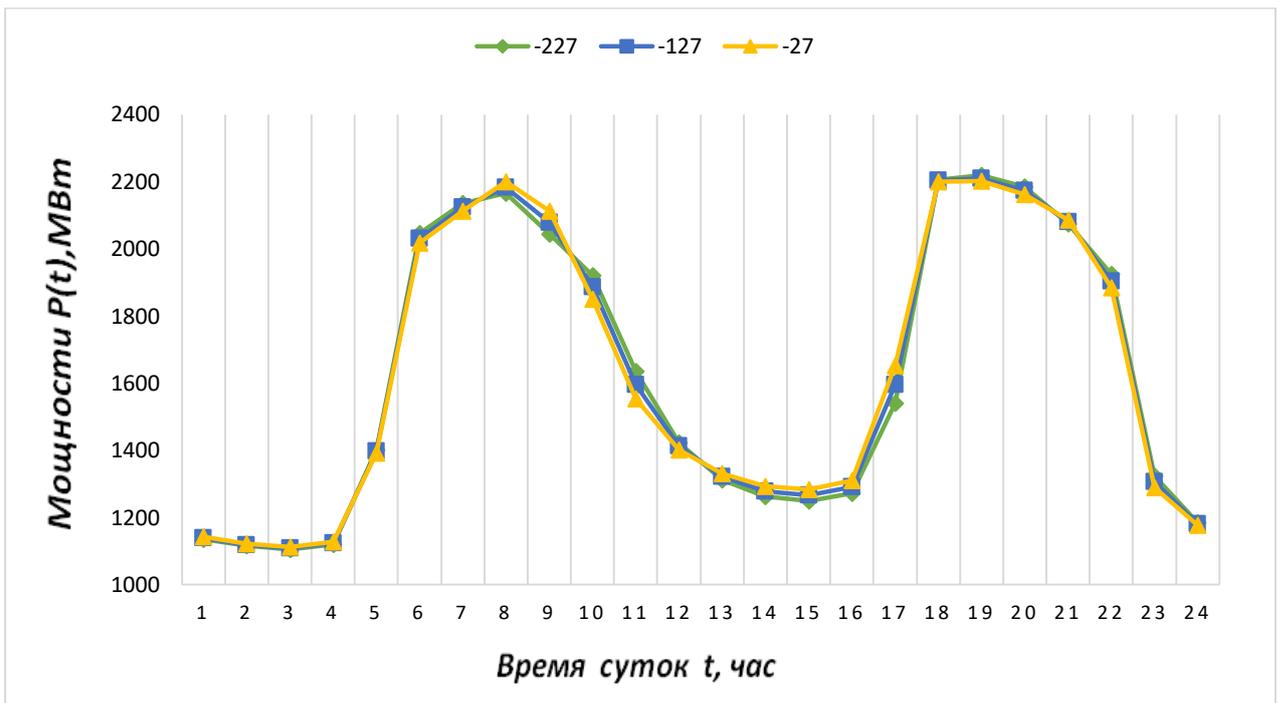


Рисунок 3.2в - Взаимосвязь главной компоненты f_3 с формой суточного графика $P(t)$ зимнего периода.

Из рисунка 3.3а видно, что первая компонента f_1 связана со средним значением суточного графика. При увеличении значения компоненты f_1 от 5900 МВт до 6300 МВт с шагом 200 МВт все ординаты графика пропорционально увеличиваются.

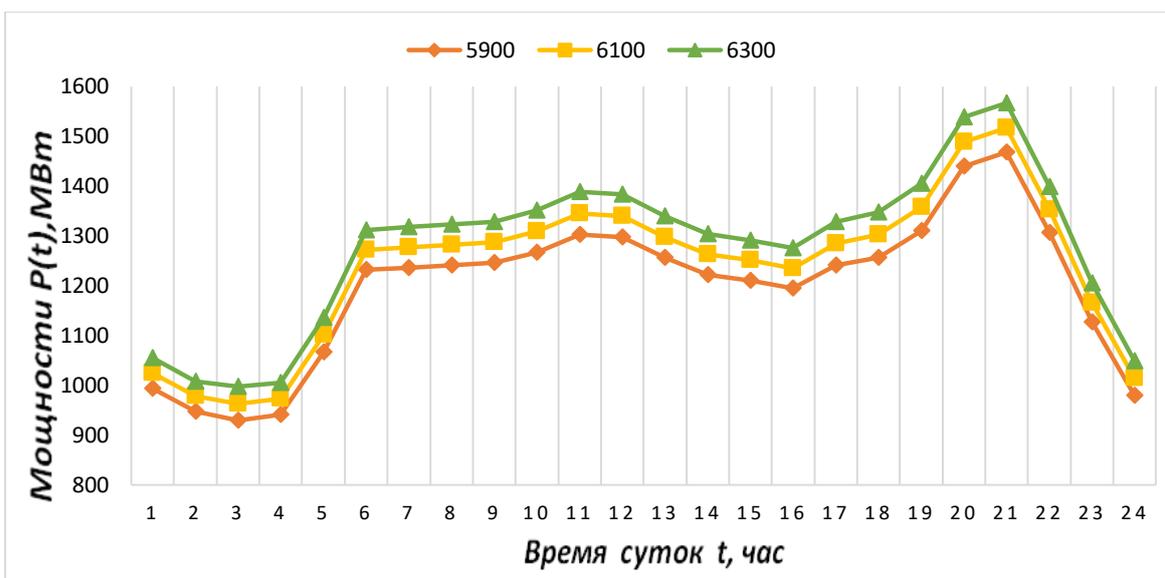


Рисунок 3.3а - Взаимосвязь главной компоненты f_1 с формой суточного графика $P(t)$ летнего периода.

Из рис.3.3б видно, что при увеличении значений главной компоненты f_2 от 90 до 290 МВт с шагом 100 МВт уменьшаются значения графика $P(t)$ в часы суток с 02:00 до 04:00 от 996 до 930 МВт, а также с 16:00 до 20:00 от 1344 до 1260 МВт, и увеличиваются с 05:00 до 15:00 от 1324 до 1365 МВт.

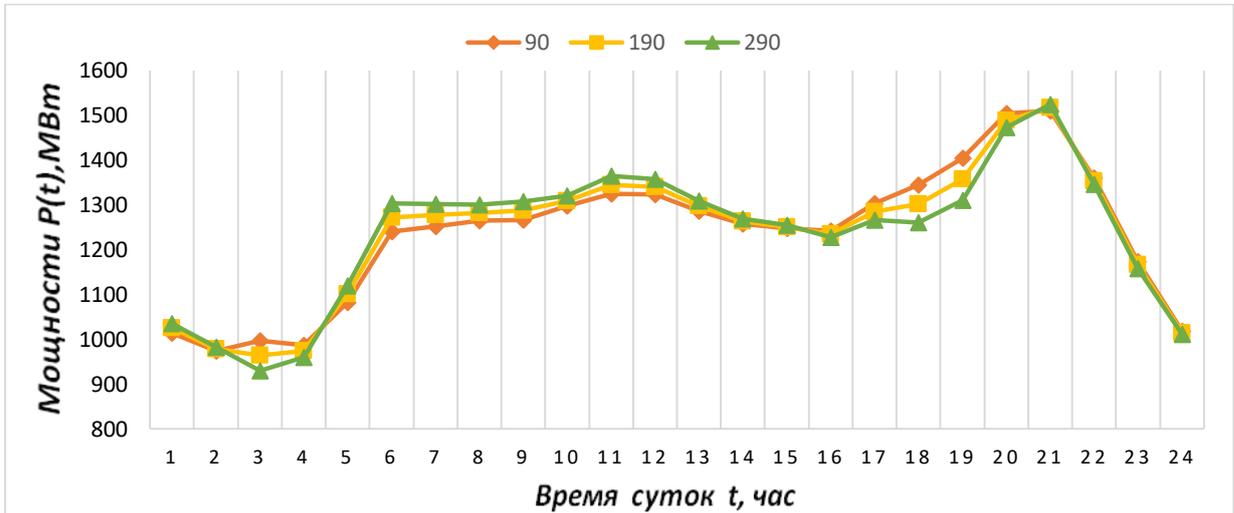


Рисунок 3.3б - Взаимосвязь главной компоненты f_2 с формой суточного графика $P(t)$ летнего периода.

При увеличении значений главной компоненты f_3 от -10 до 190 МВт с шагом 100 МВт значения ординат суточного графика в часы с 24:00 до 04:00 пропорционально и с 14:00 до 20:00 от 1468 до 1588 увеличиваются, а также в часы с 21:00 до 24:00 пропорционально уменьшаются.

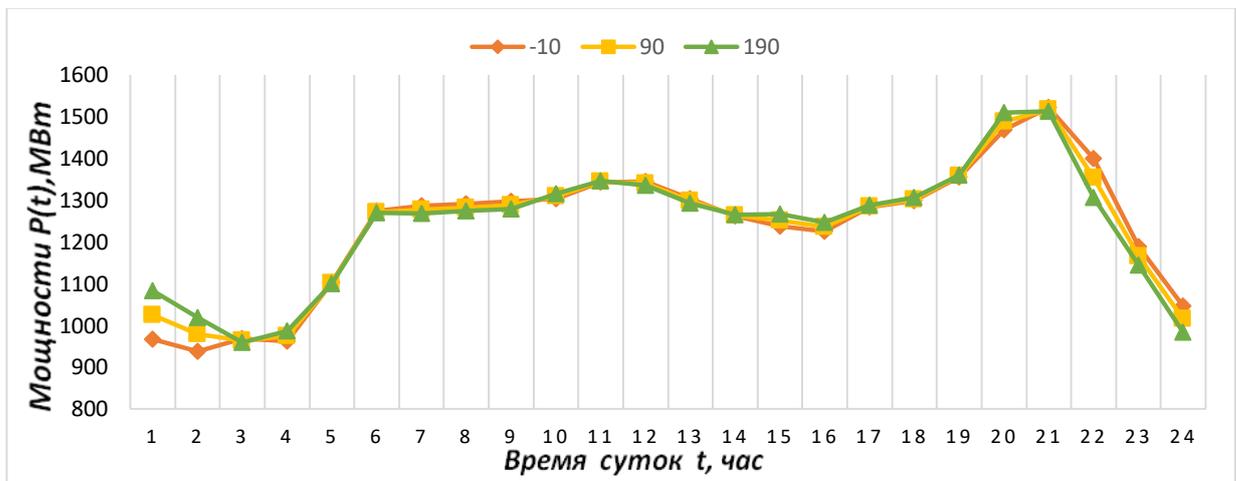


Рисунок 3.3в - Взаимосвязь главной компоненты f_3 с формой суточного графика $P(t)$ летнего периода.

3.3. Долгосрочное прогнозирование максимальных суточных графиков электрической нагрузки Южной части ЭЭС Республики Таджикистан в пространстве главных компонент.

Суточные графики электрической нагрузки Южной части энергосистемы Республики Таджикистан имеют особенность, заключающуюся в том, что в летний период потребители получают электроэнергию без ограничений, а в зимний период между утренним и вечерним максимумом вводятся ограничения.

Вид максимальных суточных графиков нагрузки Южной части энергосистемы Республики Таджикистан за 2011-2016 годы показаны на рисунках 3.1а и 3.1б.

При планировании режимов работы энергосистемы на долгосрочную перспективу необходимо выполнять прогнозирование максимальных суточных графиков нагрузки на несколько лет вперед. В данной работе предлагается для прогнозирования использовать метод главных компонент.

Прогнозирование по методу главных компонент может выполняться с использованием регрессионных моделей и непосредственно по главным компонентам ортогонального разложения максимальных суточных графиков.

Исходными данными для прогнозирования являются максимальные суточные графики нагрузки периодов с 2011 по 2016 годы, из которых формируется матрица данных P .

По исходным данным максимальных летних и зимних суточных графиков за 2011:2016 годы выполнено прогнозирование максимальных суточных графиков электрической нагрузки Южной части ЭЭС РТ на 2017 год с использованием МГК. Первый вариант

прогнозирования летних и зимних максимальных суточных графиков электрической нагрузки на 2017 года, выполнен с учетом экспертных оценок f_1, f_2, f_3 и проиллюстрирован на рисунках 3.2а, 3.2б, 3.2в и 3.3а, 3.3б, 3.3в.

Прогнозный график P_j определяется по формуле:

$$P_j = U * f_j$$

где $f_j = (f_j, f_{1j}, f_{2j}, f_{3j}, \dots, f_{ij}, \dots, f_{24j})$ прогнозный вектор главных компонент, в котором $f_{ij} = 0$ при $i \geq 4$.

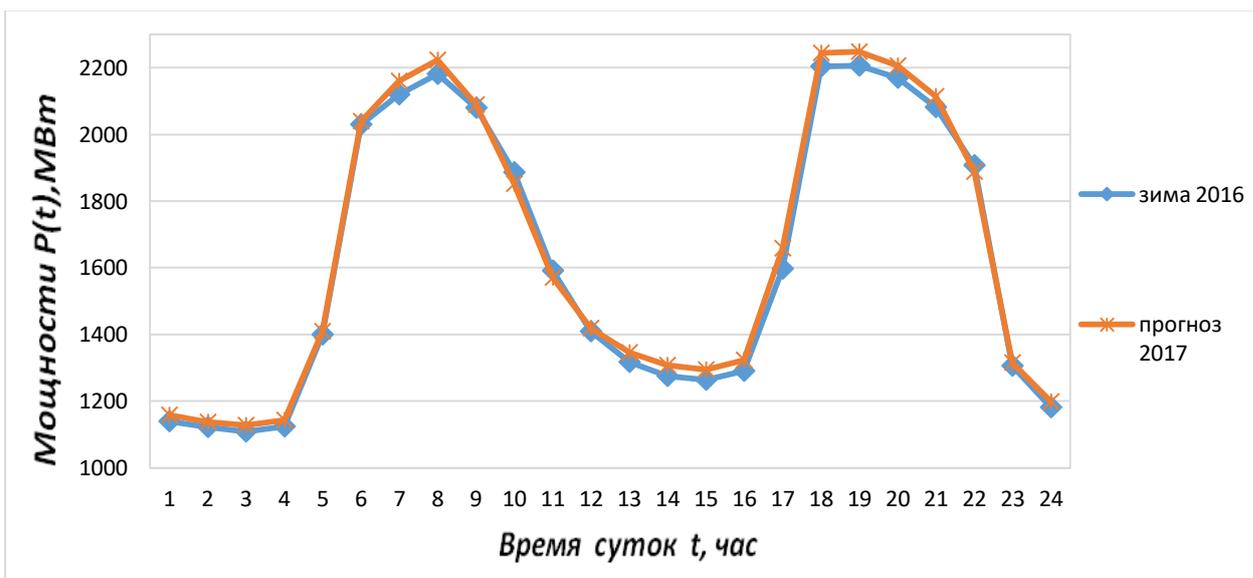


Рисунок 3.4а - Фактический (2016 г.) и прогнозный (2017 г.) зимний максимальный суточный график электрической нагрузки. Вариант прогноза

1.

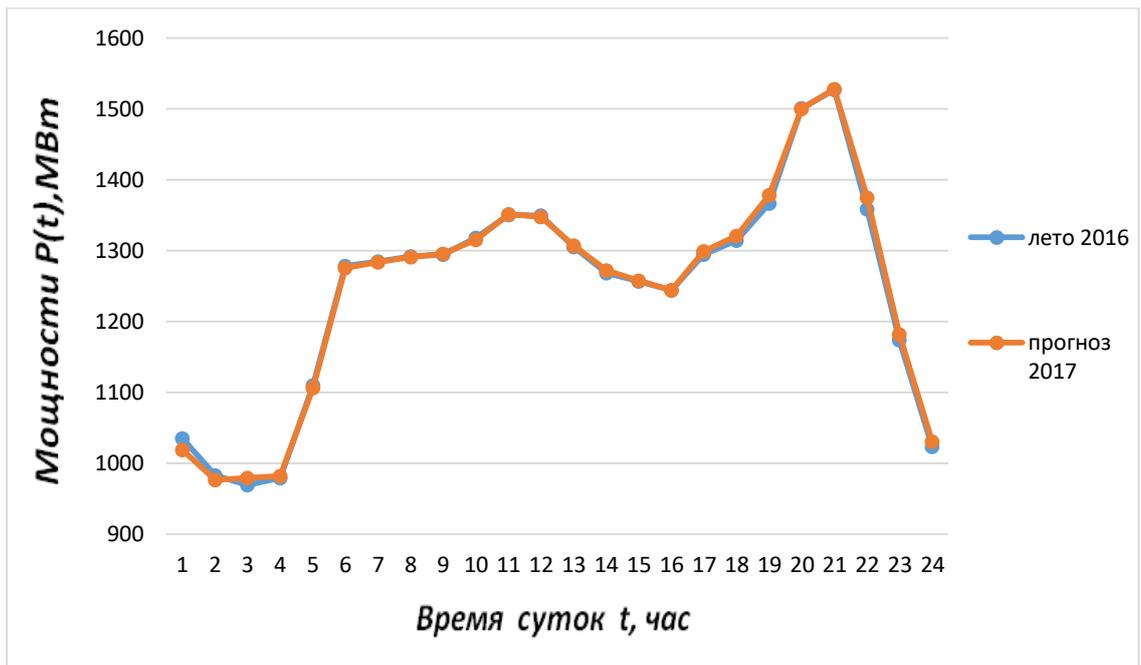


Рисунок 3.4б - Фактический (2016 г.) и прогнозный (2017 г.) летний максимальный суточный график электрической нагрузки. Вариант прогноза 1.

Выполнено два варианта прогноза: по первому варианту прогнозные оценки f_j , f_{1j} , f_{2j} представлены группами экспертов, а во втором варианте оценки получены по методу наименьших квадратов.

Выбраны только три первых главных компоненты, f_1 , f_2 , f_3 потому, что сумма трех первых относительных собственных чисел λ_i составляет:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0,964867 + 0,031998 + 0,001462 = 0,998 \text{ o.e.}$$

Сумма трех первых собственных чисел составляет 99,8 %. Таким образом, погрешность восстановления суточного графика по главным компонентам составляет 0,2%. Поэтому, как допущение принимается, что остальные главные компоненты и тем самым они не учитываются при расчетах.

Для оценки точности результатов прогноза значений электропотребления применялась величина средней относительной ошибки. Расчет средней относительной ошибки выполнялся для всей тестовой выборки по формуле:

$$\delta = \frac{1}{24 \cdot N} \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^N \frac{|P_{i,j}^{\text{прогн}} - P_{i,j}^{\text{факт}}|}{P_{i,j}^{\text{факт}}} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

где $P_{i,j}^{\text{прогн}}$, $P_{i,j}^{\text{факт}}$ – прогнозные и фактические значения потребляемой мощности для i -го часа j -го дня тестовой выборки; N – количество дней тестовой выборки.

При построении графиков рассчитывалась средняя относительная ошибка для отдельного i -го часа тестовой выборки:

$$\delta_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{|P_{i,j}^{\text{прогн}} - P_{i,j}^{\text{факт}}|}{P_{i,j}^{\text{факт}}} \cdot 100\%. \quad (3.7)$$

3.4. Прогнозирование главных компонент по методу наименьших квадратов.

Метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомым переменных. Он может использоваться для «решения» переопределенных систем уравнений (когда количество уравнений превышает количество неизвестных), для поиска решения в случае обычных (не переопределенных) нелинейных систем уравнений, для аппроксимации точечных значений некоторой функции. МНК является одним из базовых методов регрессионного анализа для

оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным.

Нахождение и анализ линейной регрессии $y=ax+b$ для данных:

i	1	2	3
x_i	9239,156	7632,095	8196,545
y_i	-578,922	150,792	512,154

1. Составим таблицу вспомогательных величин

i	x_i	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	9239,156	-578,922	-5348750,67	85362003,59	3542.5114
2	7632,095	150,792	1150858,869	58248874,09	20829.7056
3	8196,545	512,154	4197893,308	67183349,94	11542.0644
Σ	25067,796	84,024	1,507338	210794227,6	60594.0968

Вычислим коэффициенты a и b уравнение линейной регрессии $y=ax+b$ по известным формулам:

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} \quad (3.8)$$

$$b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} \quad (3.9)$$

Прогноз максимальных суточных графиков Южной части ЭЭС РТ на 2017 год выполнялся в пространстве компонент f_1 , f_2 и f_1, f_3 по методу наименьших квадратов с учетом экспертной оценкой роста нагрузки. На рисунках 3.5а, 3.5б, 3.6а, 3.6б показаны построенные по методу наименьших квадратов прямые уравнений линейной регрессии по значениям f_1 , f_2 , f_3 для известных максимальных суточных графиков зимних и летних нагрузок за 2011-2016 годы и прогнозные точки на 2017 год [7]. Прогнозные точки с координатами f_1 , f_2 , f_3 в пространстве главных компонент f_1 , f_2 и f_1, f_3 выбраны на прямых линейной регрессии с учетом ожидаемого роста электропотребления в Южной части ЭЭС РТ. Ожидаемый рост потребления электроэнергии в работе определялся по методу экспертных оценок.

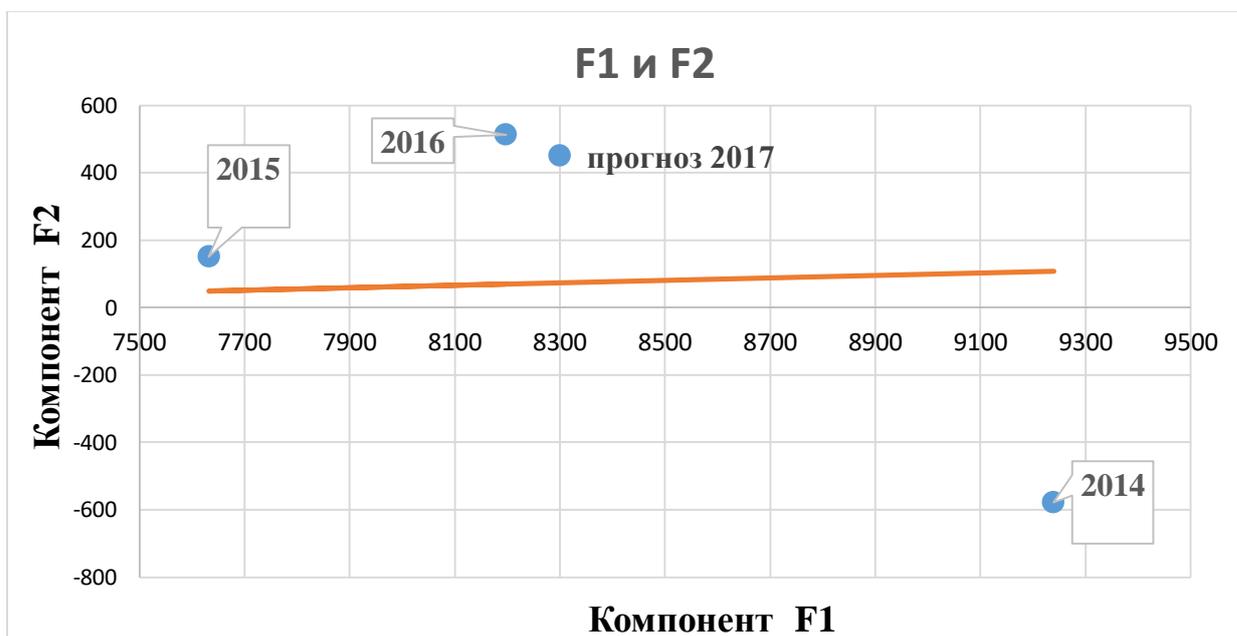


Рисунок 3.5а - Образы зимних максимальных суточных графиков нагрузки с 2014 по 2016 годы и образ прогнозного графика на зиму 2017 года в пространстве главных компонент f_1, f_2 ,

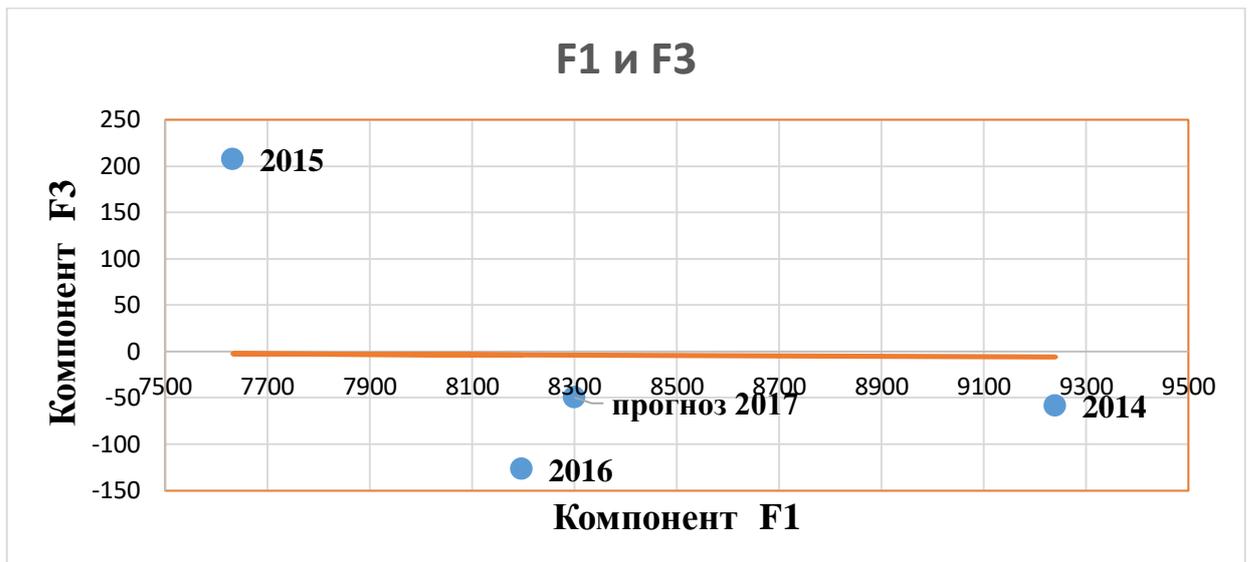


Рисунок 3.5б - Образы зимних максимальных суточных графиков нагрузки с 2011 по 2016 годы и образ прогнозного графика на зиму 2017 года в пространстве главных компонент f_1, f_3 .

На рисунках 3.5а и 3.5б значение главной компоненты f_1 на 2014 имеет максимальное и оно неравномерно уменьшается на 2015 и увеличивается на 2016 году. Значение главной компоненты f_2 неравномерно увеличивается фактическому росту нагрузок в Южной части ЭЭС РТ в эти годы.

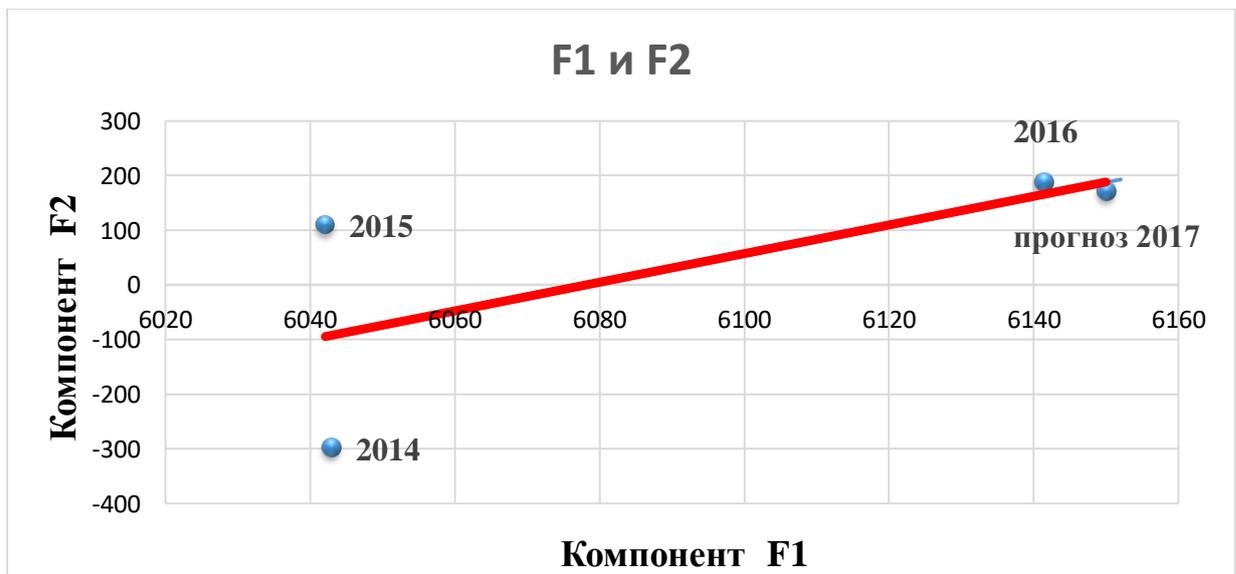


Рисунок 3.6а - Образы летних максимальных суточных графиков нагрузки с 2014 по 2016 годы и образ прогнозного графика на лето 2017 года в пространстве главных компонент f_1, f_2 .

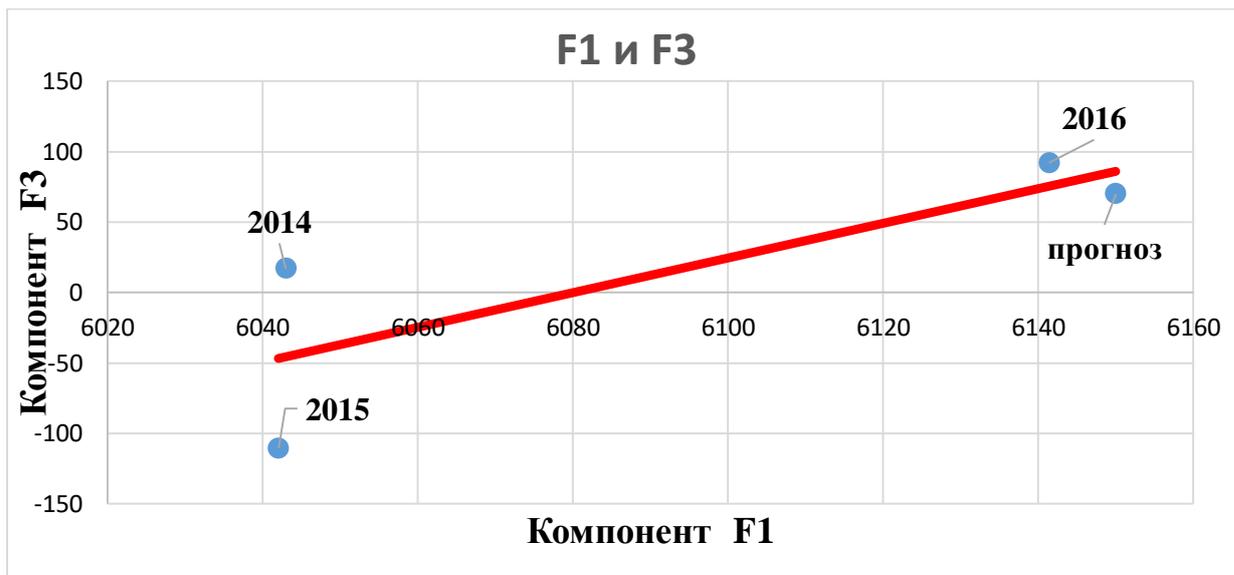


Рисунок 3.6б - Образы летних максимальных суточных графиков нагрузки с 2011 по 2016 годы и образ прогнозного графика на зиму 2017 года в пространстве главных компонент f_1, f_3 .

На рисунках 3.6а и 3.6б значение главной компоненты f_1 и f_2 на 2016 имеет максимальное и оно неравномерно увеличивается фактическому росту нагрузок, а значение главной компоненты f_3 неравномерно уменьшается на 2015 году и увеличивается на 2016 году.

После определения прогнозных значений точек на плоскостях компонент координаты (f_1, f_2) , (f_1, f_3) методом наименьших квадратов, как это показано на рисунках определяются прогнозные графики по формуле. Погрешности прогнозирования для зимних и летних нагрузок Южной части ЭЭС РТ рассчитываются.

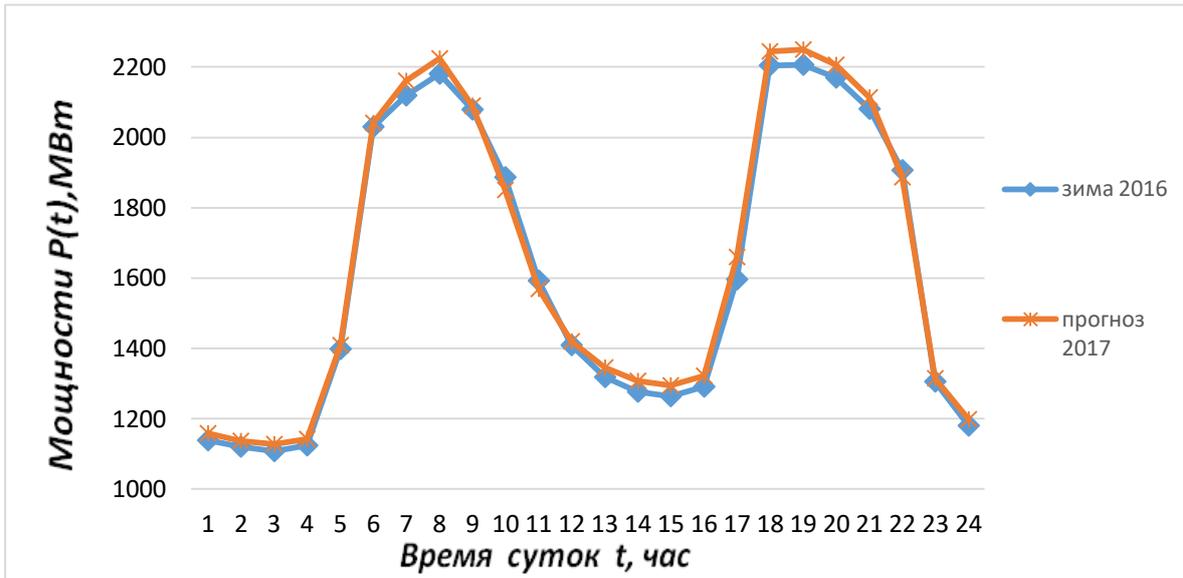


Рисунок 3.7а - Фактический (2016 г.) и прогнозный (2017 г.) зимний максимальный суточный график электрической нагрузки.

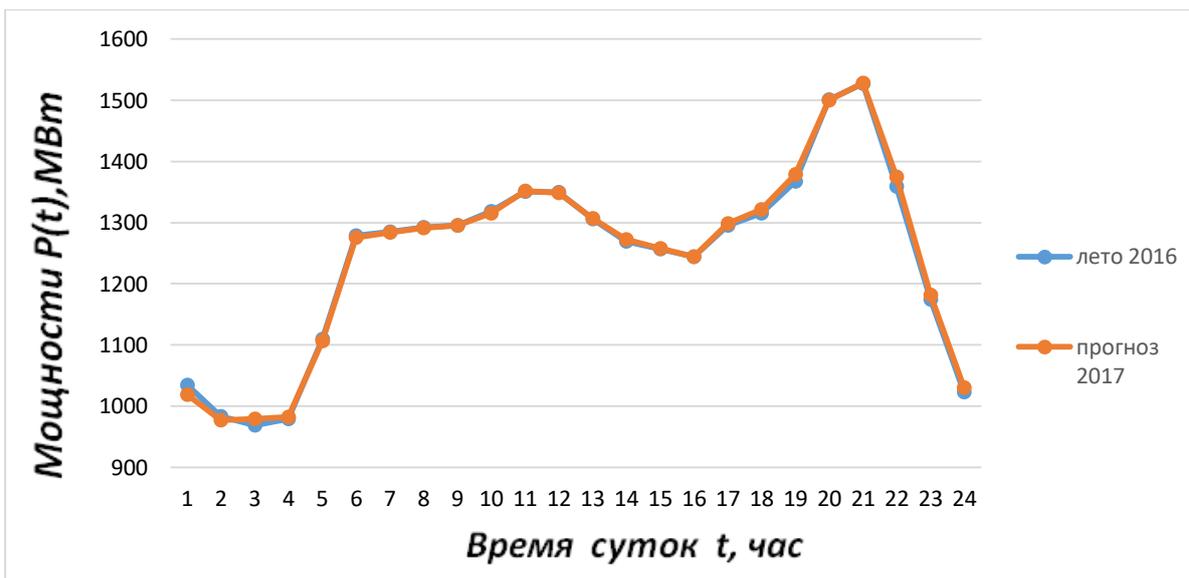


Рисунок 3.7б - Фактический (2016 г.) и прогнозный (2017 г.) летний максимальный суточный график электрической нагрузки.

МГК с использованием МНК выполнено на рисунках 3.7а и 3.7б показаны фактические за 2016 год и прогнозные на 2017 год максимальные суточные графики Южной части ЭЭС РТ.

Сравнение результатов прогнозирования зимних максимальных суточных графиков электрической нагрузки на 2017 год по двум вариантам главных компонент прогнозирования

Таблица 3

Главные компоненты	Варианты прогнозирования главных компонент	
	1-й вариант экспертных оценок	МНК
f_1	8200	8300
f_2	512	450
f_3	-127	-50

Сравнение результатов прогнозирования летних максимальных суточных графиков электрической нагрузки на 2017 год по трем вариантам главных компонент прогнозирования

Таблица 4

Главные компоненты	Варианты прогнозирования главных компонент	
	1-й вариант экспертных оценок	МНК
f_1	6100	6150
f_2	190	170
f_3	90	70

На таблицах 3,4 приведены данные сравнения результатов прогнозирования двух вариантов с помощью МГК для зимних и летних максимальных суточных графиков электрической нагрузки.

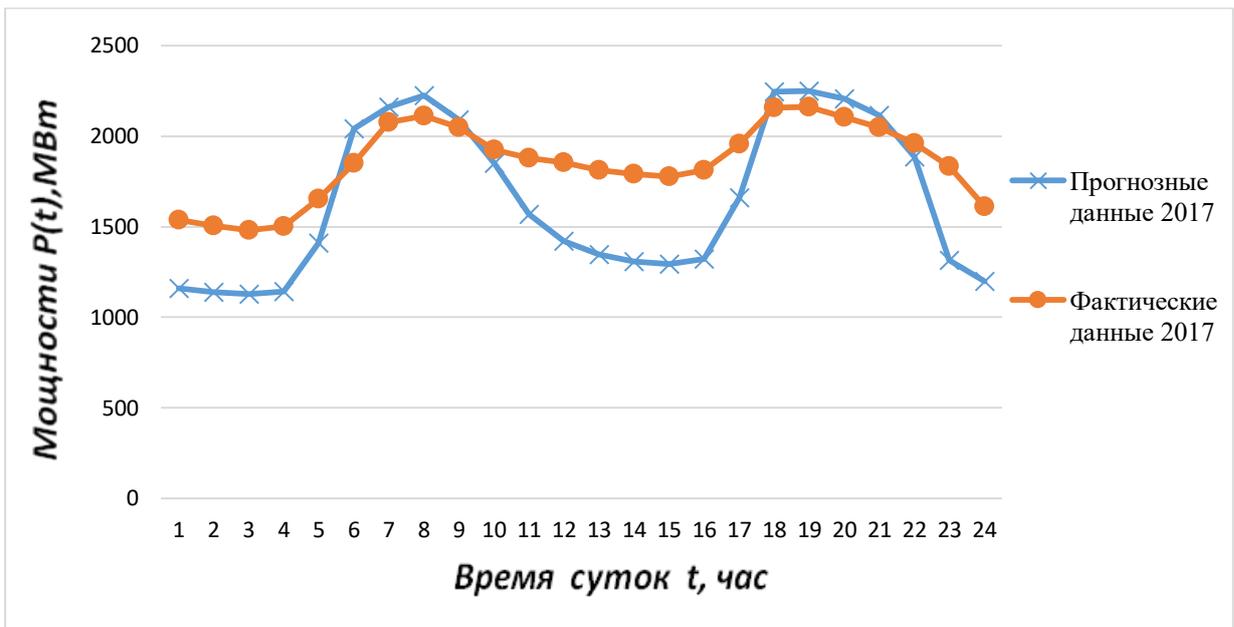


Рисунок 3.8а - Фактические (2017 г.) и прогнозные (2017 г.) зимние максимальные суточные графики электрической нагрузки Южной части ЭЭС РТ.

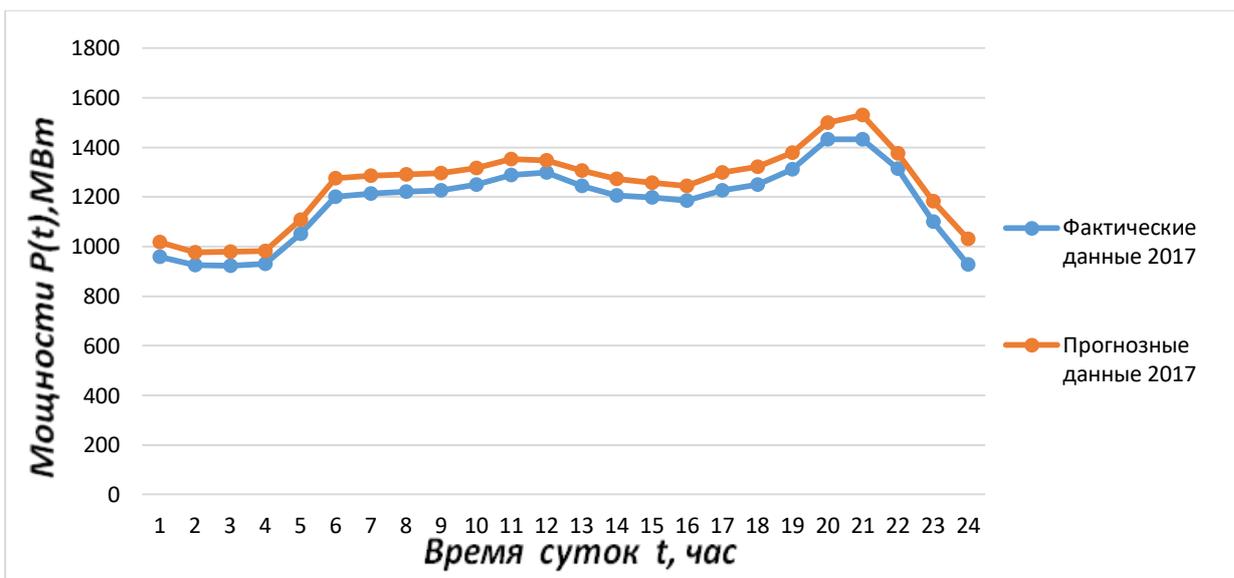


Рисунок 3.8б - Фактические (2017 г.) и прогнозные (2017 г.) летние максимальные суточные графики электрической нагрузки Южной части ЭЭС РТ.

На рисунках 3.8а и 3.8б показаны прогнозные и фактические потребление электрических нагрузок Южной части ЭЭС РТ

Фактическое потребления нагрузки Южной части ЭЭС РТ получено от ОАХК «Барки Точик».

В таблицах 5,6 приведены фактические максимальные зимние и летние нагрузки в период 2011-2016 года, а также прогнозные данные максимальных зимних и летних нагрузок на 2017 год. В таблицах 7,8 приведены прогнозные и фактические данные максимальных зимних и летних нагрузок Южной части ЭЭС РТ на 2017 год, а также результаты погрешности по часам.

Летние максимальные суточные графики и прогноз электрической нагрузки Южной части ЭЭС РТ в период с 2011 до 2016 годы

Таблица 5

Час	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Прогноз 2017
1	1495	1630	1671	922	894	1035	1018,76
2	1468	1623	1675	916	883	983	976,67
3	1486	1659	1991	1118	987	969	979,49
4	1490	1656	1825	1019	949	979	981,92
5	1629	1648	1760	1004	1081	1110	1106,79
6	1964	2077	1864	1108	1240	1279	1275,75
7	2051	2170	1961	1151	1265	1285	1284,23
8	1999	2154	2014	1192	1276	1292	1290,86
9	1959	2131	2057	1181	1278	1295	1295,54
10	1958	2137	2111	1236	1275	1318	1315,77
11	1991	2168	2137	1231	1311	1351	1351,39
12	1993	2214	2141	1248	1325	1350	1348,4

13	1935	2151	2108	1234	1287	1306	1307,17
14	1856	2107	2073	1219	1240	1269	1272,08
15	1800	2040	2076	1211	1205	1257	1257,79
16	1802	2055	2093	1249	1207	1244	1244,52
17	1870	2103	2251	1361	1283	1295	1298,9
18	1935	2203	2452	1494	1317	1315	1321,13
19	2048	2265	2566	1572	1375	1367	1378,72
20	2151	2340	2499	1538	1448	1501	1500,28
21	2198	2414	2474	1470	1505	1527	1528,76
22	2032	2245	2362	1407	1437	1359	1375,34
23	1784	1992	2062	1210	1207	1174	1182,09
24	1634	1807	1908	1045	1073	1023	1030,2

Зимние максимальные суточные графики прогноз электрической нагрузки
Южной части ЭЭС РТ в период с 2011 до 2016 годы.

Таблица 6

Час	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Прогноз 2017
1	1622	1550	1526	1334	1086	1139	1158,3
2	1596	1536	1503	1304	1064	1121	1137,4
3	1583	1529	1499	1291	1057	1108	1128,3
4	1606	1548	1506	1315	1071	1124	1142,65

5	1927	1641	1637	1541	1280	1399	1409,05
6	2551	2236	2172	2192	1820	2030	2040,3
7	2729	2734	2688	2709	2028	2120	2160,25
8	2795	1927	2493	2474	2087	2181	2223,65
9	2645	1758	1796	1695	1856	2080	2089,8
10	2191	1714	1750	1587	1500	1887	1851,35
11	1788	1693	1726	1554	1290	1592	1569,85
12	1765	1697	1747	1549	1271	1409	1419,8
13	1731	1670	1691	1500	1259	1318	1345,6
14	1701	1639	1649	1464	1241	1276	1307,2
15	1704	1637	1642	1420	1227	1264	1293,95
16	1749	1691	1677	1483	1266	1291	1322,5
17	2060	1874	1887	1820	1664	1597	1659
18	2788	2755	2801	2773	2127	2204	2245,35
19	2815	2895	2664	2788	2115	2206	2249,35
20	2762	2851	2698	2710	2059	2170	2206,7
21	2649	2597	2621	2412	1976	2081	2114,3
22	2344	1861	1880	1722	1596	1907	1887,65
23	1753	1696	1730	1556	1187	1306	1315,1
24	1732	1588	1630	1431	1116	1181	1198,6

Реальные данные и прогнозные максимальные зимние нагрузки Южной части
ЭЭС РТ на 2017 года.

Таблица 7.

Час	2017	Прогноз 2017	Погрешность, %
1	1538	1158,3	24,69
2	1507	1137,4	24,53
3	1481	1128,3	23,81
4	1502	1142,65	23,92
5	1654	1409,05	14,81
6	1851	2040,3	10,23
7	2078	2160,25	3,96
8	2113	2223,65	5,24
9	2048	2089,8	2,04
10	1926	1851,35	3,88
11	1879	1569,85	16,45
12	1855	1419,8	23,46
13	1813	1345,6	25,78
14	1792	1307,2	27,05
15	1776	1293,95	27,14
16	1811	1322,5	26,97
17	1956	1659	15,18
18	2159	2245,35	4,00
19	2161	2249,35	4,09
20	2106	2206,7	4,78

21	2049	2114,3	3,19
22	1962	1887,65	3,79
23	1834	1315,1	28,29
24	1612	1198,6	25,65

Реальные данные и прогнозные максимальные летние нагрузки Южной части
ЭЭС РТ на 2017 года.

Таблица 8.

Час	2017	Прогноз 2017	Погрешность, %
1	958	1018,76	5,96
2	925	976,67	5,29
3	923	979,49	5,77
4	931	981,92	5,19
5	1050	1106,79	5,13
6	1200	1275,75	5,94
7	1214	1284,23	5,47
8	1220	1290,86	5,49
9	1225	1295,54	5,44
10	1250	1315,77	5,00
11	1287	1351,39	4,76
12	1298	1348,4	3,74
13	1243	1307,17	4,91
14	1206	1272,08	5,19

15	1199	1257,79	4,67
16	1186	1244,52	4,70
17	1225	1298,9	5,69
18	1250	1321,13	5,38
19	1312	1378,72	4,84
20	1432	1500,28	4,55
21	1431	1528,76	6,39
22	1314	1375,34	4,46
23	1100	1182,09	6,94
24	928	1030,2	9,92

3.5 Программа для ЭВМ «Ортогональное разложение и прогноз графиков электрической нагрузки» - «Прогноз-МГК. Версия 1.»

Программа для ЭВМ «Ортогональное разложение и прогноз графиков электрической нагрузки» - «Прогноз-МГК. Версия 1.» предназначена для выполнения прогнозирования графиков электрической нагрузки на основе метода главных компонент. На рисунке 3.9 показано блок схема алгоритма ортогонального разложения графика электрической нагрузки и прогнозирования программы «Прогноз-МГК. Версия 1.».

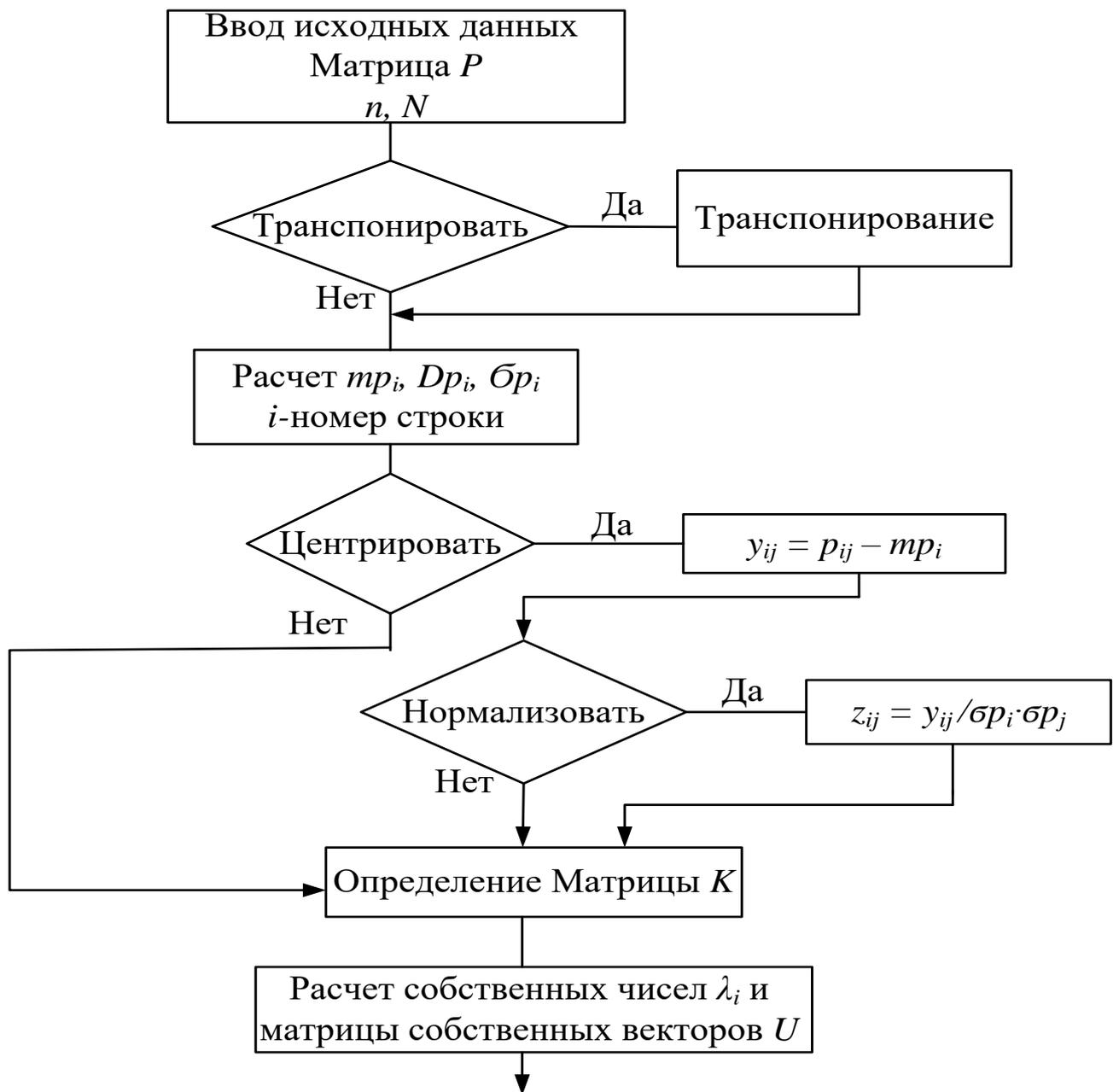




Рисунок 3.9 - Блок схема алгоритма расчетов программы «Прогноз-МГК.

Версия 1.»

Моделирование графиков электрических нагрузок в программе «Прогноз-МГК. Версия 1.» выполняется по формулам, которые приведены в выше в данной главе. Программа предназначена для распознавания, классификации и прогнозирования графиков электрической нагрузки, а также влияющих на электропотребление факторов, на основании предыстории, хранящейся в базе данных.

Исходными данными являются суточные, часовые или получасовые графики мощности, температуры воздуха, освещенности или других факторов, влияющих на электропотребление. В программе определяется корреляционная матрица для нецентрированных, центрированных или нормализованных данных, представленных в виде прямоугольных матриц.

Для выбранного типа данных вычисляется корреляционная матрица, для которой определяется собственные числа и собственные векторы. По полученным собственным векторам корреляционной матрицы, которые являются координатными осями в новом пространстве главных компонент, выполняется ортогональное преобразование исходных данных в главные компоненты.

В пространстве главных компонент выполняются распознавание и классификация рассматриваемых суточных графиков, а также их прогнозирование посредством прогнозирования значений главных компонент, количество которых может быть не более пяти.

Прогноз главных компонент выполняется на основе экспертных оценок или с помощью метода наименьших квадратов в пространстве главных компонент. Возможно в данной программе, выполнение прогнозирования как минимальных, так и максимальных графиков нагрузки.

Тип ЭВМ: IBM PC

Язык: Object Pascal, Delphi.

ОС: Windows XP, Vista, 7, 8, 10.

Объем программы: 1 МБ

3.6. Выводы

В процессе моделирования и прогнозирования максимальных суточных графиков Южной части ЭЭС Таджикистана по методу главных компонент получены следующие результаты:

1. Погрешность прогнозирования зимних максимальных суточных графиков электрической нагрузки Южной части ЭЭС РТ по варианту метода наименьших квадратов не превышает 5,24%. Наибольшая погрешность прогнозирования по методу наименьших квадратов на 23 часа ночи, как это показано на рисунке 3.8а составила 28,29 %, что объясняется отсутствием ограничений электропотребления в 2017 году.

2. Погрешность прогнозирования летних максимальных суточных графиков электрической нагрузки Южной части ЭЭС РТ по варианту метода наименьших квадратов не превышает 5%. Наибольшая погрешность прогнозирования по методу наименьших квадратов на 24 часа ночи, как это показано на рисунке 3.8а составила 9,92 %.

3. Из рисунков 3.2а и 3.3а видно, что первая компонента f_1 связана со средним значением суточного графика. При увеличении значения компоненты f_1 от 8000 МВт до 8400 МВт зимнего периода и от 5900 МВт до 6300 МВт летнего периода с шагом 200 МВт все ординаты графика пропорционально увеличиваются.

4. При увеличении значений главной компоненты f_2 от 412 до 612 МВт с шагом 100 МВт уменьшаются значения графика $P(t)$ зимнего периода в часы суток с 06:00 до 08:00 и с 18:00 до 21:00, и увеличиваются с 08:00 до 12:00. При увеличении значений главной компоненты f_2 от 90 до 290 МВт с шагом 100 МВт уменьшаются значения графика $P(t)$ летнего периода в часы суток с 02:00 до 04:00 и с 16:00 до 20:00, и увеличиваются с 05:00 до 15:00.

5. При увеличении значений главной компоненты f_3 от -227 до -27 МВт с шагом 100 МВт значения ординат суточного графика зимнего периода в часы с 24:00 до 04:00 и с 08:00 до 09:00

пропорционально увеличиваются, а также в часы с 06:00 до 08:00, с 18:00 до 20:00 и с 22:00 до 24:00 пропорционально уменьшаются. При увеличении значений главной компоненты f_3 от -10 до 190 МВт с шагом 100 МВт значения ординат суточного графика летнего периода в часы с 24:00 до 04:00 пропорционально увеличиваются, а также в часы с 21:00 до 24:00 пропорционально уменьшаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная доля электроэнергии в стране вырабатывается на ГЭС (98 %). ТЭЦ работают только в зимнем периоде на них вырабатывается почти 2 % электроэнергии в стране. Почти 97 % мощностей всех ГЭС расположены на реки Вахш. Существует дефицит электроэнергии (около 2-4 млрд кВт·ч) в зимний период, связанной с уменьшением стока воды в реках, что заставляет страну вводить ограничение на её потребление. В летнем периоде существует избыток электроэнергии. Проведенный анализ методов и моделей прогнозирования максимальных суточных графиков электрической нагрузки в Южной части ЭЭС РТ доказал возможность использование метода главных компонент для решения задачи прогнозирования.

1. По предложенному в работе методу прогнозирования максимальных суточных графиков электрических нагрузок энергосистемы можно выполнять прогнозы не только на один год, но и на более длительный период, как для Южной части, так и для всей ЭЭС РТ.
2. Выполнено исследование взаимосвязей главных компонент ортогонального разложения суточных графиков с формой прогнозного суточного графика мощности в отдельные часы суток. Результаты

исследований необходимо использовать при долгосрочном прогнозировании.

3. Для выполнения прогнозов максимальных суточных графиков зимнего и летнего периодов можно использовать программу для ЭВМ на основе метода главных компонент «Ортогональное разложение и прогноз графиков электрической нагрузки»-«Прогноз-МГК. Версия 1».
4. В диссертационной работе использовано методика долгосрочной прогнозирования максимальных электрических нагрузок на основе МГК и выполнено прогнозирование максимальных суточных графиков электрической нагрузки. Погрешность прогноза утренних и вечерних максимальных нагрузок на январь и июль 2017 года не превышает 5,4%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ОАХК «Барки Точик» [электронный ресурс]. – URL: <http://www.barqitojik.tj/>.
2. Гурский С.К. Адаптивное прогнозирование временных рядов в электроэнергетике. Минск: - Наука и техника, 1983. – 271 с.
3. Махмадджонов Ф.Д. Анализ режимов работы и повышение устойчивости энергосистемы Республики Таджикистан с учётом увеличения нагрузок в её северной части: дис. ... канд .техн. наук: 05.14.02 / Ф.Д. Махмадджонов/ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова. –Новочеркасск, 2016–198 с.
4. Велигура С.А. Применение ортогональных разложений графиков электрической нагрузки в задачах прогнозирования электропотребления: дис. ...магистр: / Велигура С.А./ ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск; 2017.–93 стр.
5. Надтока И. И. Развитие теории и методов моделирования и прогнозирования электропотребления на основе данных средств автоматизации учета и телеизмерений : дис. ... док .техн. наук : 05.14.02 / И. И. Надтока / НГТУ. – Новочеркасск, 1998. – 346 с.
6. Соломахо К. Л. Применение метода главных компонент для прогнозирования объемов электропотребления энергосбытового предприятия: дис. ... канд .техн. наук : 05.09.03 / К. Л. Соломахо / ЮУГУ. – Челябинск, 2015. – 141 с.
7. Надтока И.И. Прогнозирование максимальных электрических нагрузок для Северной части энергосистемы Республики Таджикистан на основе метода главных компонент /И.И. Надтока, Ф.Д. Махмадджонов// Современные энергетические системы и комплексы и управление ими материалы XIII Междунар. Науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 24 июня 2015 г. //Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) им. М. И. Платова. – Новочеркасск, 2015. – С. 55-60.

8. Надтока И.И. Многофакторное моделирование электропотребления промышленного предприятия//Изв. вузов, Электромеханика, 1998, N 2-3. с.72-74.

9. Официальный сайт Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mewr.gov.tj/?page_id=61&lang=ru.

10. Водно-энергетические ресурсы Центральной Азии: проблемы использования и освоения: Отраслевой обзор [Электронный ресурс] / Евразийский банк развития. – Алматы, 2008. – 44 с. – URL: http://www.eabr.org/general/upload/docs/publication/analyticalreports/obzor_water_final_rus.pdf.

11. Официальный сайт Электроэнергетический Совет Содружества Независимых Государств: Электроэнергетика Республики Таджикистан [электронный ресурс]. – URL: <http://energo-cis.ru/tadjikistan/>.

12. Энергетическая компания ОАХК «Барки Тоҷик» состояние и концептуальная развитие на период 2009-2020г. – Душанбе, 2013.

13. Султонов Ш. М. Оптимизация режимов работы энергосистемы с высокой долей гидроэлектростанций (на примере энергосистемы Таджикистан):дис...канд.техн.наук: спец. 05.14.02 / Султонов Шерхон Муртазокулович/НГТУ — Новосибирск,2016. — 163 с.

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

15. Абдуллаева Ф. С. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР/ Ф.С. Абдуллаева, Г.В. Баканин, С.М. Гордон. – Л.: Изд-во «Недра», 1965 г.– 658 с.

16. 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.

17. Назиров Х.Б. Разработка системы управления качеством

электрической энергии в электрических сетях: дис... канд.техн.наук: спец. 05.14.02 / Назиров Хуршед Бобоходжаевич. — М., 2012. — 201 с.

18. Чоршанбиев С.Р., Шведов Г.В., Анализ выработки, передачи и потребления электрической энергии в национальной энергетической компании ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. №4.(44). С. 27 – 35.

19. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stat.tj/ru/analytical-tables/real-sector/> .

20. Central Asia Regional Economic Cooperation: Power Sector Regional Master Plan: Final Report / Fichtner GmbH & Co. KG. – Stuttgart, Germany. Project Number: 43549/ Volume 1 – 2012. –536 pp.

21. Современное состояние электрических сетей Республики Таджикистан по качеству электрической энергии / Ю. В. Шаров [и др.] // Вестник ТТУ. – 2011. - № 4. С. 20-24.

22. Назиров Х.Б., Халимджанова М.К., Чоршанбиев С.Р., Сангов Х.С. Анализ потребления электроэнергии по отраслям Республики Таджикистан», /Материалы Республиканской научно- практической конференции: «Электроэнергетика, гидроэнергетика, надежность и безопасность» – 24 декабря 2016 г – Душанбе: 2016 – С. 63 – 64.

23. Чоршанбиев С.Р. Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан):дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.

24. Таджикистан: углубленный обзор энергоэффективности / Секретариат Энергетической Хартии [Электронный ресурс] // Boulevard de la Woluwe, 56 B-1200 Brussels, Belgium, 2013г. – URL: http://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/IDEER/IDEERTajikistan_2013_ru.pdf.

25. Информационно-познавательный портал о Таджикистане./

[Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tajik-gateway.org/wp/history/>.

26. Программа среднесрочного развития Республики Таджикистан на 2016-2020 годы. Утверждением постановлением Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан от 28 декабря 2016 года, №678.

27. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года. Утверждено постановлением Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан от 1 декабря 2016 года, №636.

28. Официальный сайт Президент Республики Таджикистан [электронный ресурс]. – URL: <http://www.president.tj/ru>.

29. Чоршанбиев С.Р. Энергетическая стратегия и реализуемые проекты в Республики Таджикистан / Чоршанбиев С.Р., Назиров Х.Б., Наимов Ш.Б. // Материалы 1-ой международной научно-практической конференции «Внедрения инновационных технологий для повышение энергетической эффективности электроэнергетики Республики Таджикистан», Душанбе, 17-сентября 2018 – С. 32– 37.

30. Официальный сайт группа Всемирного банка [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.worldbank.org/>.

31. Официальный сайт проекта CASA – 1000 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.casa1000.org/>.

32. Худжасаидов Дж.Х., Рахимов Дж.Б., Султонов Ш.М., Ахъёев Дж.С. Взаимовлияние режимов электрической сети Таджикистана с введением проекта CASA – 1000. Материалы трудов XIX Всероссийской научно – технической конференции. Том 2. Томск, 2013. Стр. 59 – 61.

33. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Герасименко А.А. Применение метода главных компонент для моделирования нагрузок электрических систем в задаче оптимальной компенсации реактивной мощности. Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1980, N 12. С.18-23.

34. Арзамасцев Д.А., Липес А.В. Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях.- М.: Высшая школа, 1989.-127 с.

35. Гурский С.К. Адаптивное прогнозирование временных рядов в электроэнергетике. Минск: - Наука и техника, 1983. – 271 с.
36. Надтока И.И., Седов А.В., Холодков В.П. Применение методов компонентного анализа для моделирования и классификации графиков электрической нагрузки. //Изв. вузов, Электромеханика, 1993, N 6. С. 21-29.
37. Помощь по эмпирическим модам [Электронный ресурс]: <http://matlab.exponenta.ru/forum/signal-processing-toolbox-signal-processing-blockset-f5/ehmpiricheskie-mody-emd-imf-sos-t6751.html>.
38. Ying-Yi Hong and Ching-Ping Wu, Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using a Hybrid Principal Component Analysis Network, *Energies*, Vol 5, p 4711-4725, 2012.
39. Иберла К. Факторный анализ. - М.: Статистика, 1980. – 398 с.
40. I. Nadтока , S. Vyalkova, Firuz Makhmaddzonov, “ Maximal electrical load modeling and forecasting for the Tajikistan power system based on principal component analysis” 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) pp. 330–334, 2017.
41. Ортогональное разложение и прогноз графиков электрической нагрузки «Прогноз-МГК. Версия 1.0». Свид-во о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016618234 РФ/ Роспатент. - Заявл. 26.05.2016. Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 25.07.2016. Надтока И.И., Безъязычный В.С., Махмадджонов Ф.Д.
42. Махмудов К.А., Гозиев Б.Н., Надтока И.И., Махмадджонов Ф.Д. Анализ режимов Сангтудинской ГЭС-1 с АРВ пропорционального и сильного действия. Материалы 14-ой Международной научно-практической конференции. 30 августа 2017. г.Новочеркасск. ЮРГПУ(НПИ),2018-с.76-79.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Основные данные электроэнергетической системы Республики Таджикистан

Таблица П.А.1 — Характеристика основных источников электрической энергии в Республики Таджикистан

№ п/п	Название электростанций	$P_{уст}$, МВт	Напряжение распределения, кВ	Год ввода	Назначение
1	Варзобская-1 ГЭС	7,44	35	1936	Выработка электрической энергии
2	Варзобская-2 ГЭС	14,44	6	1949	Выработка электрической энергии
3	Варзобская-3 ГЭС	3,52	6	1952	Выработка электрической энергии
4	Кайракумская ГЭС	126	220/35	1956-1957	Выработка электрической энергии, ирригация
5	Центральная ГЭС	15,1	35	1960	Выработка электрической энергии, ирригация
6	Перепадная ГЭС	29,95	110/10	1960	Выработка электрической энергии
7	Головная ГЭС	240	220 /110	1962-1963	Выработка электрической энергии
8	Байгазинская ГЭС	600	220	1970-1986	Выработка электрической энергии, ирригация
9	Нурекская ГЭС	3000	550/220	1972-1979	Выработка электрической энергии, ирригация
10	Сангтудинская-2 ГЭС	220	220	2006-2014	Выработка электрической энергии
11	Сангтудинская-1 ГЭС	670	220	2008-2009	Выработка электрической энергии
Суммарная мощность ГЭС					4926,45 МВт

Продолжение таблицы П.А.1

12	Душанбинская ТЭЦ-1	198	110/35	1957	Выработка электрической и тепловой энергии для текстильного комбината г. Душанбе
13	Яванская ТЭЦ	120	220/35	1969	Выработка электрической и тепловой энергии для Яванского района.
14	Душанбинская ТЭЦ-2	100	220/35	2014	Выработка электрической и тепловой энергии для текстильного комбината г. Душанбе
Суммарная мощность ТЭЦ					418МВт
15	Малая ГЭС:	11,436	10/0,4	1992-2015	Выработка электрической энергии
16	Ветровые электростанции:	0,3	0,4	1992-2015	Выработка электрической энергии
17	Солнечные электростанции:	1,5	0,4	1992-2015	Выработка электрической энергии
Суммарная мощность системы					5357,686 МВт