

на правах рукописи



Аль Зухаири Али Мохаммед Кадхим

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ИРАКА**

Специальность 05.14.02 – Электрические станции и
электроэнергетические системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2015

Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Белгородский государственный технологический университет» имени В. Г. Шухова

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
ВИНОГРАДОВ Анатолий Алексеевич

Официальные оппоненты:

ГОРЮНОВ Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», заведующий кафедрой

ХАРЛОВ Николай Николаевич – кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», региональный учебно-научно-технологический центр ресурсосбережения, ведущий инженер

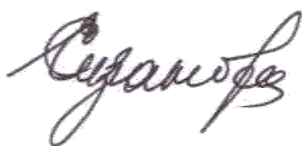
Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный аграрный университет»

Защита состоится 24 июня 2015 года в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.099.07 на базе Сибирского федерального университета по адресу: 660049, г. Красноярск, ул. Ленина, д.70, ауд. 204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» <http://www.sfu-kras.ru>.

Автореферат разослан _____ 2015 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сизганова Евгения Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время производство электроэнергии в каждой провинции Ирака осуществляется на основе использования природных ресурсов: воды, нефти или газа. Энергетическая система и распределительные сети Республики Ирак существенно пострадали в результате военных действий, а оставшиеся в работе сети на сегодняшний день значительно перегружены. Поэтому актуальной задачей для развития экономики Ирака является увеличение пропускной способности существующих сетей при минимизации затрат на строительство новых.

Для развития электроэнергетической системы (ЭЭС) Ирака требуется применение новых подходов и методов управления режимами ЭЭС, а также подключение современных устройств, позволяющих обеспечить выполнение непрерывно растущих требований к качеству электроэнергии и надёжности энергоснабжения. Сегодня в электроэнергетике Ирака планируется создание и развитие интеллектуальных сетей (FACTS) и использование преимуществ цифровых и контролирующих технологий для повышения надежности, безопасности и эффективности электрических распределительных сетей.

Чтобы обеспечить растущие потребности Ирака в электроэнергии необходимо строительство новых электростанций, однако это требует значительного времени и немалых финансовых затрат. Альтернативой сооружению дополнительных станции и линий электропередач, при соблюдении требований по качеству электроэнергии и надежности электроснабжения, являются устройства FACTS, использование которых предполагает установку активно-адаптивного сетевого электрооборудования, способного превращать электрическую сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей. Дополнительно с этими устройствами в работе предлагается применить микрогидротурбины с синхронными или асинхронными генераторами, установив их в гидравлических сетях для использования потенциальной энергии воды водонапорных башен, что позволит получить дополнительные мощности для оптимального регулирования режимов работы сетей электроснабжения напряжением 11 и 33 кВ.

Степень разработанности темы. Вопросы повышения энергоэффективности распределительных сетей отражены в многочисленных исследованиях российских и зарубежных ученых, к наиболее значимые из которых принадлежат работы Д.С. Александрова, Е.Ф. Щербакова, С. С. Ананичева, А. Л. Мызина, А. П. Бурмана и В.А. Строева, И. К. Валерия, В. Э. Воротницкого, С. В. Заслонова, М. А. Калинкиной, Dr. Suad Ibrahim Shahl, Fang Lin Luoand, G. Heydt, S. Kalsi, E. Kyriakides, Leff Larkin, Pfrsons Brinckerhoff, Mladen Kezunovic, James D. McCalley, Thomas J. Overbye и др. Вместе с тем, несмотря на серьезный интерес ученых и практиков к данной проблематике и огромное количество посвященных ей публикаций, не теряют актуальности вопросы повышения энергоэффективности распределительных сетей.

Целью работы является разработка способов и средств повышения пропускной способности и улучшения технико-экономических показателей распределительных сетей Ирака за счет применения активного электротехнического сетевого оборудования.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ распределительных сетей Ирака, а также существующих способов и средств повышения их энергетической эффективности.
2. Выполнить сравнительную оценку эффективности отдельных компонентов «умных сетей» (Smart Grid) для применения в электрических сетях Ирака.
3. Разработать математическую (компьютерную) модель распределительной сети Ирака с использованием средств, обеспечивающих баланс реактивной мощности, снижающих потери мощности (электроэнергии) и улучшающих показатели качества электроэнергии в системе электроснабжения.
4. Проанализировать влияние на работу электрических распределительных сетей Ирака предлагаемых источников энергии и сформулировать рекомендации по их практическому применению.

Основная идея диссертации заключается в том, что в качестве активного электротехнического сетевого оборудования (FACTS) предлагается использовать микрогидротурбины с синхронными генераторами, установленные в системах регионального водоснабжения и использующих потенциал энергии воды водонапорных башен.

Объект исследований. Электрические распределительные сети Ирака.

Предмет исследований. Методы и средства повышения пропускной способности распределительных сетей 11 и 33 кВ в Ираке.

Методы исследований. Применительно к проблематике диссертации использованы математическое моделирование работы предложенных устройств FACTS, включая модели электрической сети, системы возбуждения и управления генераторов микротурбин, а для проверки в режиме реального времени законов управления предложенными FACTS – программный комплекс ETAP.

Научная новизна работы:

- на основании анализа состояния и специфики иракских распределительных сетей, расположенных параллельно системе водоснабжения, предложена и обоснована возможность использования потенциала воды водонапорных башен в качестве элемента FACTS для управляемой генерации дополнительной электрической энергии;
- путём моделирования в программном комплексе ETAP показана возможность использования дополнительной реактивной мощности указанных источников FACTS для повышения пропускной способности распределительных электрических сетей напряжением 11 и 33 кВ и выполнена оценка энергетического потенциала вводимых источников;
- для расчёта предложенной системы коррекции пропускной способности распределительных сетей и качества электроэнергии, адаптирована методика расчета гидроаккумулирующих электростанций.

Достоверность результатов обусловлена корректным использованием положений теоретической электротехники, методов решения уравнений установленных режимов электроэнергетических систем, основ теории гидравлики, методов управления элементами FACTS для повышения пределов передаваемой мощности электропередач, методов расчета и построения схем замещения систем электроснабжения. Экспериментальные исследования проводились с использованием схем замещения реальных электрических сетей Ирака по сертифицированным программным комплексам.

Теоретическая значимость состоит в развитии методов и средств повышения качества электроэнергии и пропускной способности распределительных сетей с использованием нетрадиционных управляемых источников и устройств генерирования корректирующей мощности.

Практическая значимость. Использование разработанных методов регулирования режимов распределительных сетей в энергосистеме Ирака на основе микроГЭС позволит при минимальных капиталовложениях повысить пропускную способность сети и обеспечить необходимое качество напряжения у потребителей.

Реализация результатов работы. Основные результаты работы приняты к использованию в проектных и проектно-изыскательских организациях в области электроэнергетики Республики Ирак, что подтверждено актами, представленными электроэнергетическими компаниями Ирака «Barakt Alqateef Co.» и «Arty Almthabra Co.», а также используются в учебном процессе подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии») на кафедре электроэнергетики и автоматики Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова.

Основные положения, выносимые на защиту:

– специфика топологического положения распределительных сетей Ирака, заключающаяся в их параллельном с системой водоснабжения расположении, позволяет использовать потенциал воды водонапорных башен для управляемой генерации дополнительной электроэнергии;

– потенциал предлагаемых управляемых источников корректирующей электроэнергии достаточен для увеличения пропускной способности распределительных сетей на 3-5% и повышения качества электроэнергии до приемлемого уровня;

– методика расчета гидроаккумулирующих электростанций может быть адаптирована к расчету предлагаемой системы коррекции пропускной способности распределительных сетей и качества электроэнергии путем использования в расчетных формулах реальных параметров системы водоснабжения: сечения водопроводных труб, напора воды, высоты водонапорной башни и т.п.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях «Энергетика и энергоэффективные технологии», БГТУ им. В.Г. Шухова (Белгород, 2012); «От

плана ГОЭЛРО к энергетике будущего», Московский государственный открытый университет им. В.С. Черномырдина (Москва, 2012); «Молодежь и глобальные проблемы современности», Московский государственный открытый университет им. В.С. Черномырдина (Москва, 2013); «Энергетика и энергоэффективные технологии», БГТУ им. В.Г. Шухова (Белгород, 2014).

Публикации. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы изложены в 7 научных публикациях, в том числе в 2 статьях ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК для публикации по диссертационным исследованиям.

Личный вклад автора. Научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены автором. Общая научная идея, направления исследований были разработаны и реализованы при участии научного руководителя. Личный вклад в каждой работе, опубликованной в соавторстве, составляет более 50%

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка литературы из 101 наименования и 2 приложений. Работа изложена на 163 страницах, включает 73 таблицы, 62 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертации, а так же определены методы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе проведен анализ современного состояния ЭЭС Ирака, выявлено, что развитие электроэнергетических сетей республики несомненно ведет к получению сложнозамкнутой и многоуровневой системы, которая не может функционировать без жестких механизмов управления. Даны предложения по использованию элементов интеллектуальных сетей в системе электроснабжения Республики Ирак.

Электричество в Ираке появилось в 1917 году с приходом британской армии, построившей первую электростанцию Alaboukhana. В 1931 году в Ираке открыта первая национальная электростанция. В 1952 году мощность всех электростанций страны достигла 41 МВт. В семидесятых годах прошлого века создана централизованная система генерации и распределения электроэнергии, охватившая большую часть территории страны. Количество производимой электроэнергии в Ираке вдвое превышало потребности страны, избыток её экспортировался в соседнюю Турцию. После 1991, из-за войны и экономической блокады, электроэнергии для внутреннего потребления стало не достаточно (рис. 1).

ЭЭС Республики Ирак включает в себя 24 подстанции напряжением 400/132 кВ, общей мощностью 17000 МВА; 208 подстанций 132/33 кВ общей мощностью 27000 МВА; подстанции напряжением 33/11 кВ; распределительные сети различных классов напряжения (400кВ, 132кВ, 33кВ, 11кВ), общая протяженность которых представлена на рисунке 2.

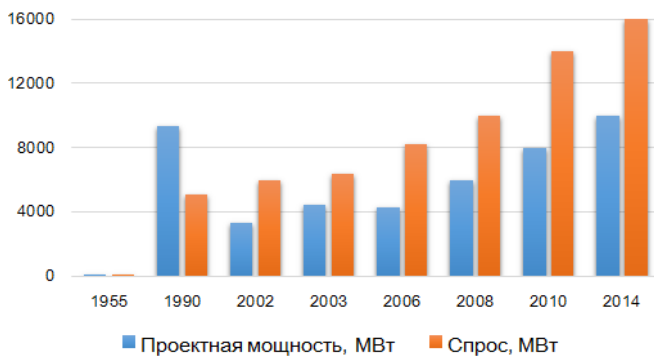


Рис. 1. Динамика проектной и необходимой мощности в Ираке по годам

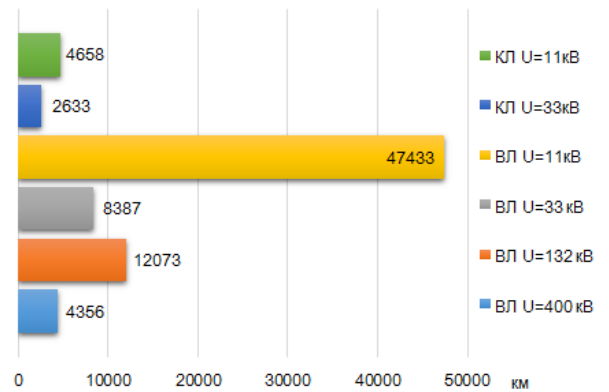


Рис.2. Протяженность линий электропередачи в Ираке

В ЭЭС Республики Ирак для производства электроэнергии используются природные ресурсы (нефть, вода, газ). После 2003 года, в связи с увеличением спроса на электроэнергию, были введены дополнительные источники энергии, такие как баржи, мобильные генераторы, кроме того осуществлен импорт энергии из соседних стран. Процентное соотношение источников энергии в Ираке показано на рисунке 3.

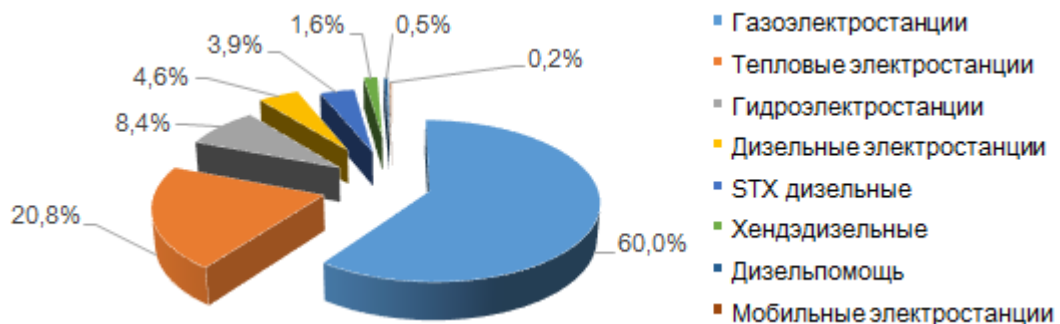


Рис. 3. Уровень участия, %, в производстве электроэнергии различных типов электростанций

Уровень технологических потерь в Иракской ЭЭС значительный. Так в системе производства электроэнергии он составляет 10-17%, транспортировки – 13-44%, распределения – до70% (рис. 4).

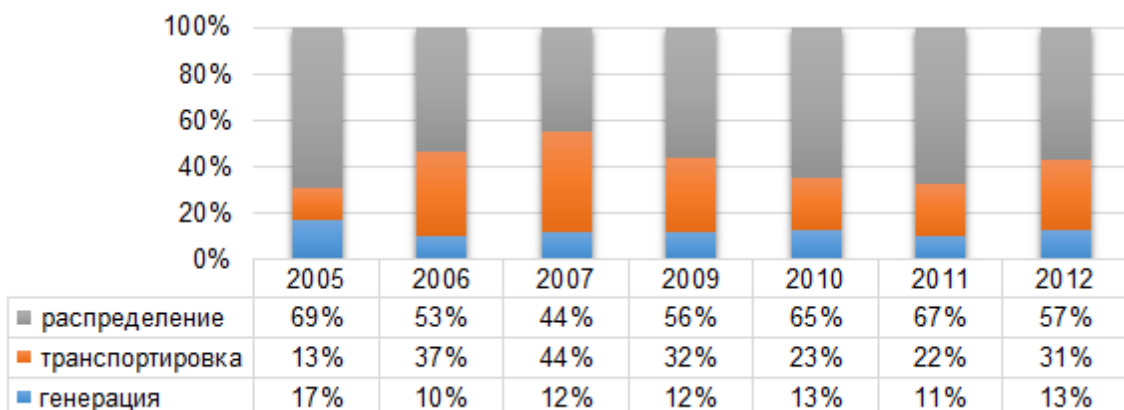


Рис. 4.Динамика уровня технологических потерь в ЭЭС Ирака

Современные электрические сети Ирака состоят из радиальных линий с односторонним потоком энергии. В настоящее время развиваются и закольцованные электрические сети. Согласно концепции интеллектуальной сети будущая сеть уже не будет иметь иерархическую структуру, и крупные потребители будут в ней перемешаны с большим количеством относительно маломощных источников энергии, а также и регуляторов напряжения, единичных мощных станций, компенсаторов реактивной мощности и т.д. Перетоки мощности по такой сети не будут строго детерминированными. Очевидно, что такая сложно неструктурированная сеть (сравнимая с сетью Интернет) должна иметь мощную управляющую систему, согласовывающую между собой работу всех этих многочисленных компонентов сети. Для подключения всех сетевых компонентов необходимо «общение» их друг с другом и с центром управления, разработка юрисдикций телекоммуникационных сетей, которым предполагается стать беспроводными. Разработка сетевых полностью управляемых компонентов, снабжённых системами самодиагностики и мониторинга, а также надёжными каналами передачи и приема информации – все это является одним из направлений концепции интеллектуальной сети Республики Ирак.

В сложившихся условиях перспективной представляется возможность использования интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной электрической сетью (Smart Grid), которая позволяет обеспечить управляемость и повысить передающую способность сетей.

Во второй главе предлагается усовершенствовать существующие распределительные сети Республики Ирак путем создания управляемых линий электропередачи и оборудования для них, в связи с этим в работе выполнен аналитический обзор активного электротехнического сетевого оборудования (FACTS), которое способно гибко менять характеристики передачи или преобразования электроэнергии и, тем самым, оптимизировать режимы сети сразу по нескольким критериям: пропускной способности, уровню технологических потерь, устойчивости, перераспределению потоков мощности, качеству электроэнергии и другим.

Рассмотрены устройства FACTS-1 (первого поколения), к которым относятся устройства, обеспечивающие регулирование напряжения (реактивной мощности), а также требуемую степень компенсации реактивной мощности в электрических сетях, и устройства FACTS-2 (второго поколения), к которым относят устройства, обеспечивающие векторное регулирование (когда регулируется не только величина, но и фаза вектора напряжения электрической сети) режимных параметров на основе управляемых приборов силовой электроники – IGBT-транзисторов или IGCT-тиристоров.

Вариантно (без элементов FACTS и с их различной комбинацией) проведены расчеты режимов работы системы электроснабжения Ирака на примере распределительных сетей провинции Дияла (рис.5), по результатам которых определено влияние устройств FACTS на изменение уровней напряжения и потери мощности в электрических сетях.

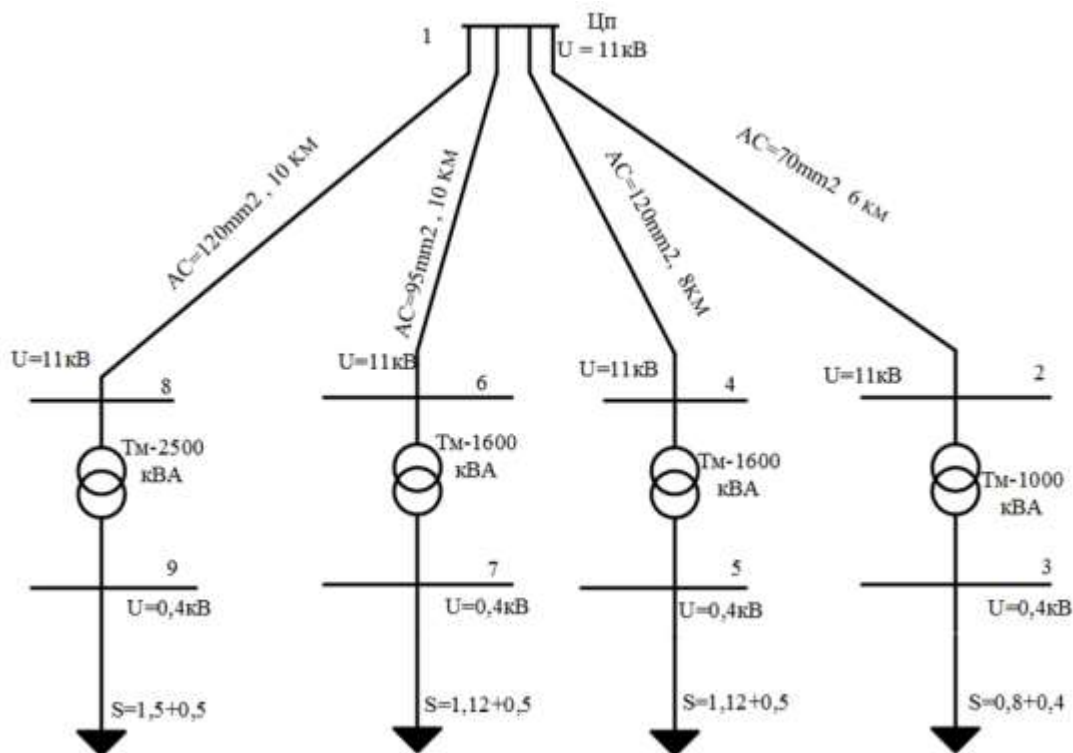


Рис. 5. Модель системы электроснабжения провинции Дияла

Анализ режимов электрической сети провинции Диала при использовании различных типов FACTS проведен с помощью программного комплекса RS-3. В моделируемой схеме электроснабжения девять узлов и восемь ветвей. Узел 1 базисный по напряжению и балансирующий по току, узлы 2, 4, 6, 8 промежуточные, узлы 3, 5, 7, 9 нагрузочные. Ветви схемы представлены воздушными линиями с проводом марки АС 70 мм², АС 95 мм² и АС 120 мм² и трансформаторами ТМ-1000-11/0,4 кВА, ТМ-1600-11/0,4 кВА и ТМ-2500-11/0,4 кВА. Номинальное высокое напряжение 11 кВ и номинальное низкое напряжение 0,4 кВ.

Полученные результаты расчета исходной модели показали, что напряжения в узлах нагрузки 3, 5, 7, 9 ниже указанных предельных значений и не соответствует требованиям по качеству электроэнергии у потребителя, потери напряжения в этих узлах превышают 5% от $U_{ном}$, следовательно напряжение в данных узлах необходимо регулировать. Суммарные потери мощности в исходной модели составили: активные 185,43 кВт и реактивные 366,40 кВАр.

Допустимые уровни напряжения в электросетях Ирака, которые должны обеспечиваться в нормальных режимах соответствуют диапазону от 11,5 кВ до 10 кВ в сети ВН, от 0,42 кВ до 0,38 кВ в сети НН. Чтобы увеличить значения напряжения у потребителя и уменьшить суммарные потери мощности в системе электроснабжения рассмотрены три варианта применения устройств FACTS:

Вариант 1. В узлах 3 и 5 устанавливаем батареи статических конденсаторов (БСК), а в узлах 7 и 9 подключаем синхронные компенсаторы (СК).

Вариант 2. Для уменьшения общего реактивного сопротивления линий, согласно выражению $X_{эф} = X - X_c$, в ветвях 1-2, 1-4, 1-6, 1-8 устанавливаем устройства продольной компенсации (УПК).

Вариант 3. Рассматриваем систему электроснабжения с совместной установкой УПК, БСК и СК.

В результате моделирования доказано, что потери напряжения уменьшаются (увеличивается напряжение в узлах потребителя), отклонение напряжения в узлах потребителя (узлы 3, 5, 7, 9) не превышает 5% от номинального напряжения, значения напряжения на шинах потребителя 3, 5, 7, 9, соответствуют требованиям по качеству электроэнергии. Результаты расчета потерь мощности по вариантам представлены на рисунке 6.

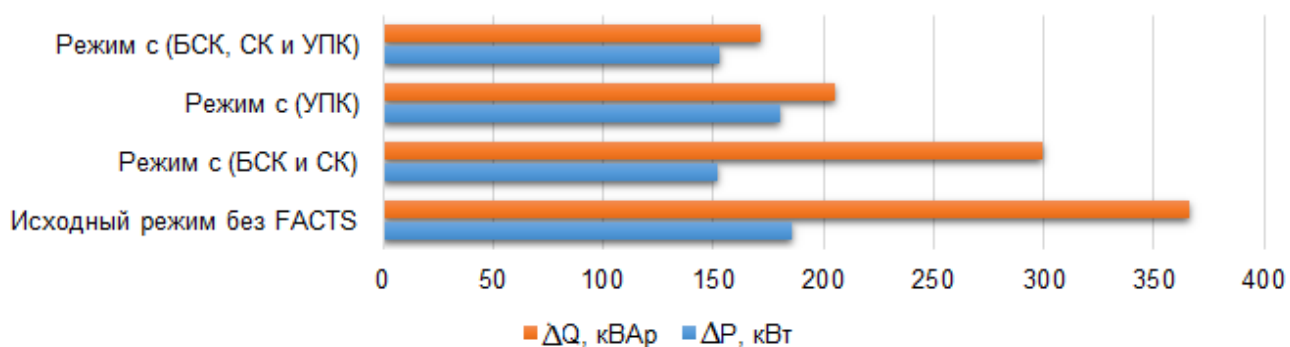


Рис. 6. Потери мощности для различных расчетных режимов

Из диаграммы (рис. 6) видно, что все рассмотренные варианты использования элементов FACTS приводят к снижению потерь мощности в распределительных сетях. Наилучшее решение для снижения потерь активной (на 17%) и реактивной (на 53%) мощности достигается совместным применением БСК, СК, УПК.

В третьей главе предложен способ использования систем накопления воды и распределённой генерации для улучшения режимов работы электрических сетей.

Большинство систем водоснабжения в Ираке имеют в своем составе водонапорные сооружения в виде резервуаров большой ёмкости, обеспечивающих транспортировку воды по водопроводным сетям (рис.7). В городской инфраструктуре водопроводные сети и распределительные электрические сети напряжением 11 кВ систем электроснабжения расположены параллельно на небольшом расстоянии друг от друга. В работе изучена возможность использовать потенциальную энергию воды водонапорных башен для повышения качества электрической энергии распределительных электрических сетей путем установки гидравлических микротурбин, соединенных с генераторами, что позволит получить необходимые активную и реактивную мощности для оптимального регулирования (управления) режимами работы систем электроснабжения напряжением 11 кВ в часы наибольшего спроса электрической нагрузки, которые совпадают с временем наибольшего расхода воды в водопроводных сетях.

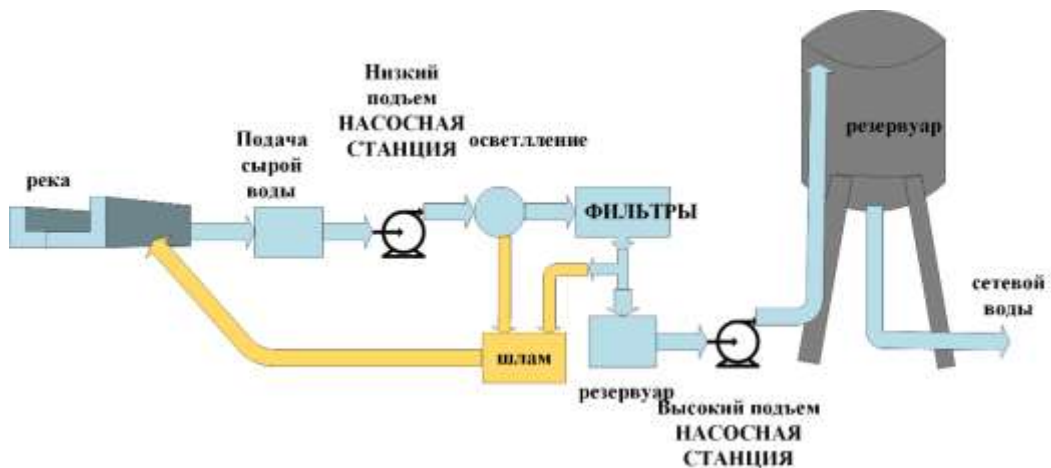


Рис.7. Система водопроводной сети с использованием в качестве источника реки

Использовать водопроводные сети для улучшения режима электрических распределительных сетей 11 кВ можно двумя способами: применить микроГЭС, и использовать синхронный генератор или двигатель переменного тока (рис. 8).

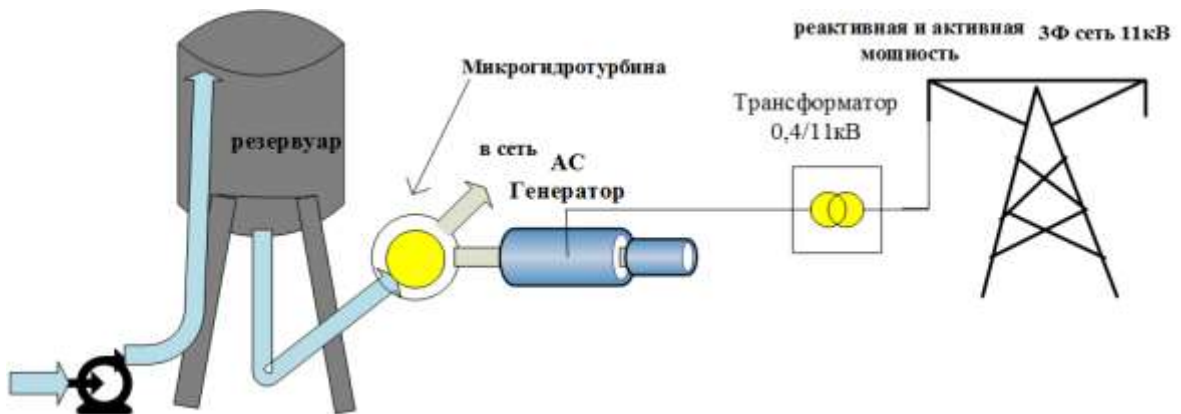


Рис. 8. Использование резервуара водопроводной сети для улучшения режима электрической сети с генератором переменного тока

Поскольку идея использования потенциальной энергии воды водонапорных башен по своей физической сущности близка к идее гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), то для расчётов, связанных с определением гидроэнергетических характеристик таких микроГЭС, адаптированы методики и аналитические выражения, используемые для соответствующих расчётов ГАЭС.

Гидроэнергетический ресурс микроГЭС можно оценить по ее располагаемой мощности. Мощность является функцией гидравлического напора и скорости потока воды. Статический напор пропорционален разнице в высоте, с которой падает вода. Динамический напор связан со скоростью движения воды. Каждая единица массы воды может выполнить работу пропорциональную ее весу и напору, активная мощность всего гидроагрегата определяется по формуле:

$$P_T = \eta_b \rho Q_T g H_b, \quad (1)$$

где P_T – мощность на валу гидротурбины, кВт; η_b – КПД турбины при соответствующих H , Q_T и частоте вращения; ρ – плотность воды, кг/м³; Q_T – расход воды, м³/сек; g – ускорение свободного падения (9,81 м/сек²); H_b – напор нетто, м. Приняв, что $\eta_b \cdot \rho \cdot g = 8,5$ кН/м³имеем

$$P_T = 8,5Q_T H_b. \quad (2)$$

Электрическая мощность гидроагрегата P_G на выводах генератора

$$P_G = P_T \eta_G, \quad (3)$$

где η_G – КПД гидрогенератора (0,9–0,98).

В качестве гидротурбины предлагается использовать турбину LucidPipe. На основе ее технических характеристик получено уравнение, позволяющее определить мощность гидротурбины в зависимости от диаметра водопроводной трубы

$$P = 0,022d^2 + 0,572d - 12,222. \quad (4)$$

Расход воды в водопроводной сети, для выработки мощности генератором с микротурбиной в зависимость от диаметра трубы показан на рисунке 9.

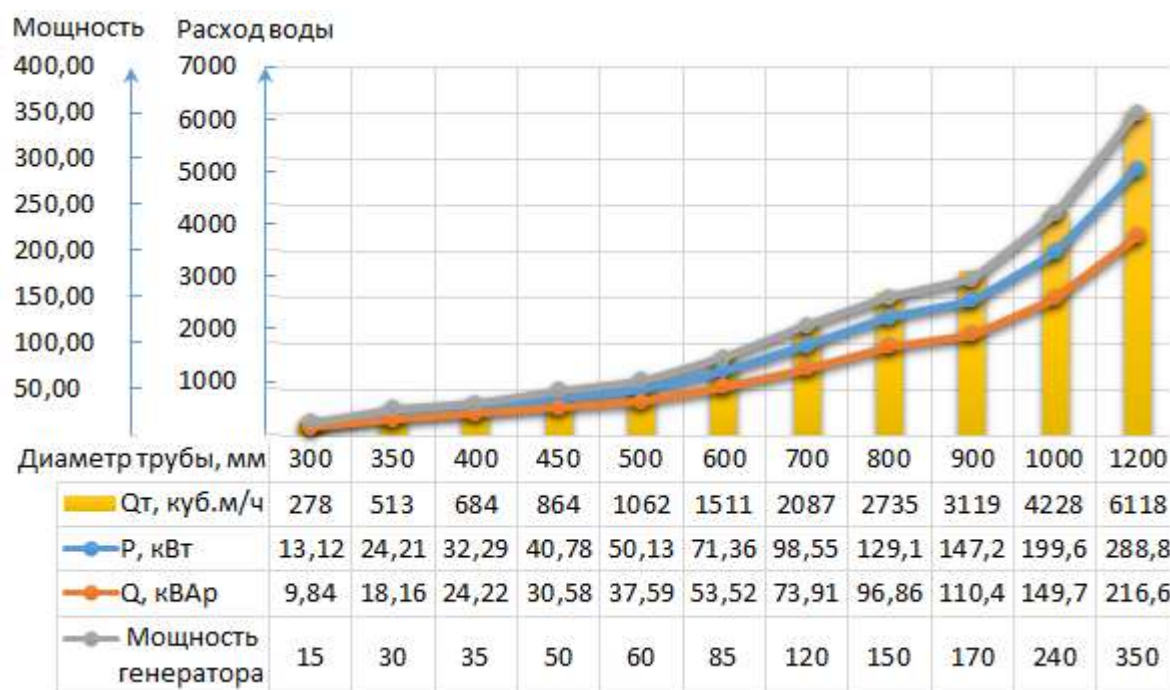


Рис. 9. Расход воды в водопроводной сети для выработки мощности генератором

Системы водоснабжения в Ираке содержат большое количество резервуаров для воды, установленных практически во всех районах. Такая схема (рис. 8) позволяет уменьшить стоимость производства электроэнергии традиционными источниками и обеспечить большой запас статической устойчивости установившегося режима сети.

Оценка экономической эффективности использования двух микроГЭС с турбинами типа LucidPipe, общей мощностью около 200 кВт в качестве генерации дополнительной мощности показала, что стоимость произведенной ими электроэнергии в год составит 35,04 млн. иракских динаров или 28032,8 \$.

Моделирование в программе ЕТАР электрической сети с заданными электрическими нагрузками (рис. 10), по предварительным расчетам (без дополнительной генерации), показало, что напряжение в конце линии не соответствует требованиям, установленным стандартом на его качество. Для дополнительной генерации мощности в сеть предлагается использовать установленные в водопроводной системе две микрогидротурбины. После расчета нового установившегося режима электросети было выявлено, что предложенный способ использования системы водоснабжения улучшает показатели качества напряжения и баланса реактивной мощности в сети, обеспечивая заданные стандартом требования (рис. 11).

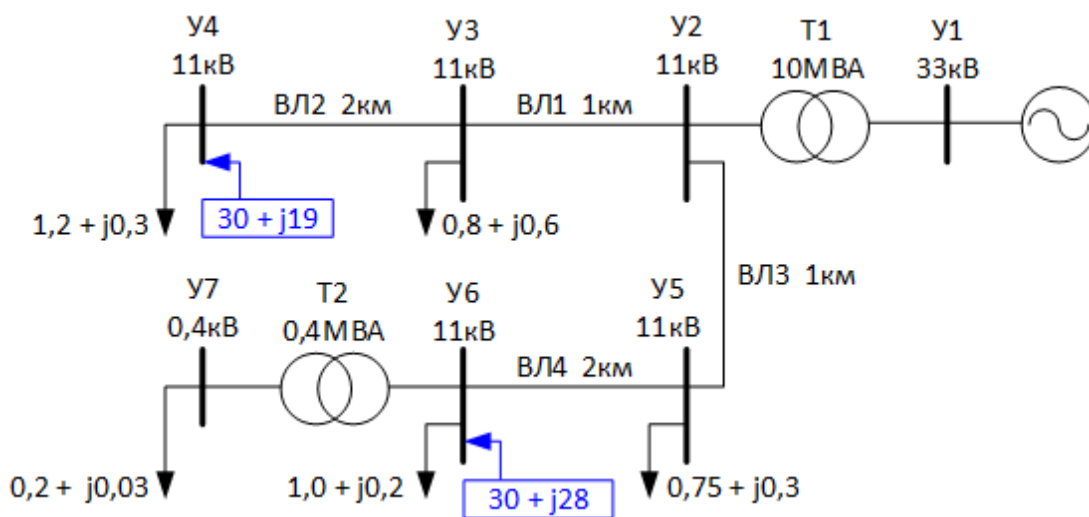


Рис. 10. Модель электрической сети для расчета в программе ЕТАР

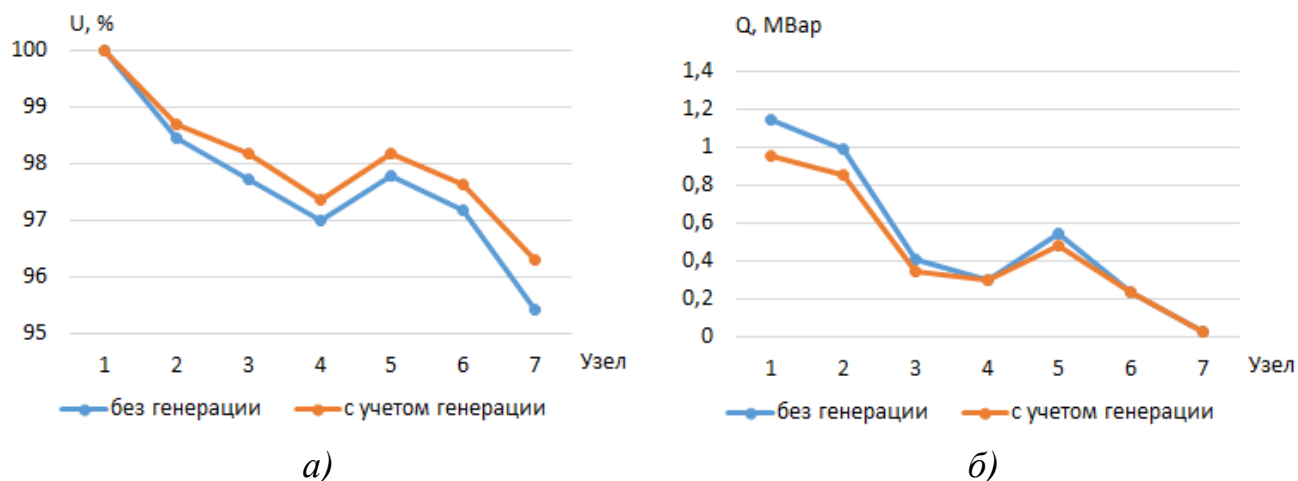


Рис. 11. Отклонение напряжения (а) и реактивная мощность (б) без учета и с учетом предложенной схемы использования микротурбин в системах водоснабжения.

Использование предложенной схемы уменьшает падение напряжения на 3%, уменьшаются потери активной мощности в сети на 0,8%, а также снижаются потери реактивной мощностью на 2%, что не противоречит исследованиям, опубликованным в работах других авторов.

В четвертой главе проведен сравнительный анализ работы ЭЭС Ирака с учетом распределенной генерации на примере существующих распределительных сетей провинции Дияла.

Предварительно была создана модель электрической сети 11 кВ, расположенная параллельно водопроводной системе, в которой установлены микроГЭС. Моделируемая распределительная сеть состоит из восьми узлов, в том числе 1, 2, 3 – промежуточные, 4, 5, 6, 7, 8 – нагрузочные. Питание осуществляется от подстанции мощностью 5 МВА (рис.12).

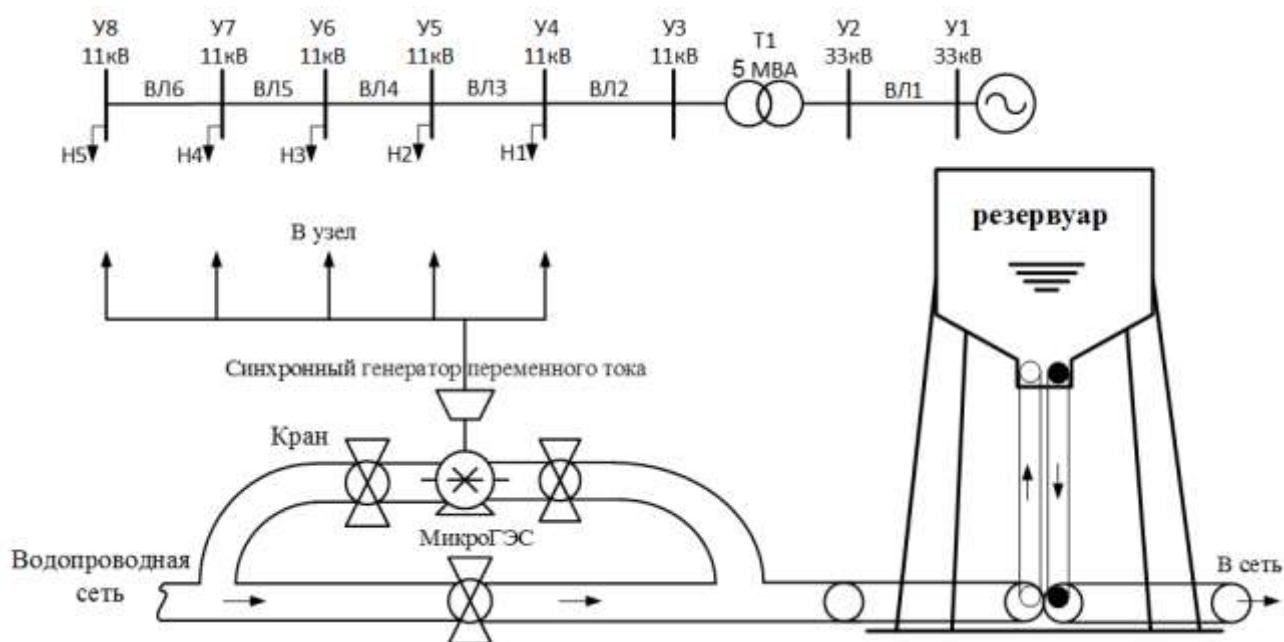


Рис. 12. Модель распределительной сети

Моделирование проводилось в программе расчета установившихся режимов RS-3. Сначала произведен расчет исходной модели без подключения микроГЭС, затем поочередно в 4-ом, 5-ом, 6-ом, 7-ом и 8-ом узлах схемы были подключены микроГЭС, при этом оценивались потери напряжения (рис. 13) и мощности (рис. 14) в сети, а в результате было определено лучшее место установки микротурбины.

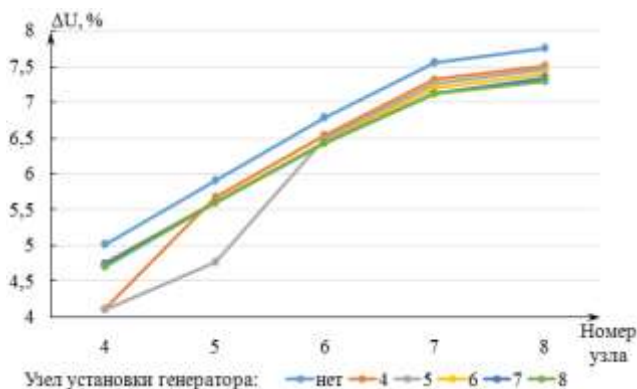


Рис. 13. Отклонение напряжения в узлах

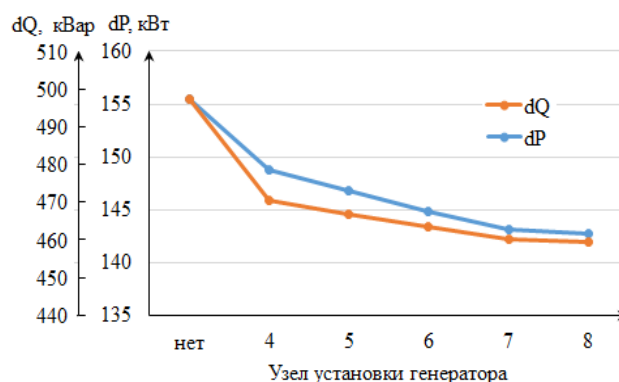


Рис. 14. Потери мощности в сети

Из графиков (рис.13, 14) видно, что лучшим местом для установки микроГЭС является последний узел моделируемой распределительной сети.

Полученные при моделировании небольшой сети результаты, позволили провести расчеты и других сетей Ирака: сетевые районы Аль Салам, Ханаан и Дияла. Моделирование крупных сетей проводилось как в программе RS-3, так и в программе ETAP.

Модель электрической распределительной сети в провинции Дияла (рис. 15), содержит 53 узла и 56 ветвей. Узел 1 базисный по напряжению и балансирующий по току, остальные узлы промежуточные или нагрузочные.

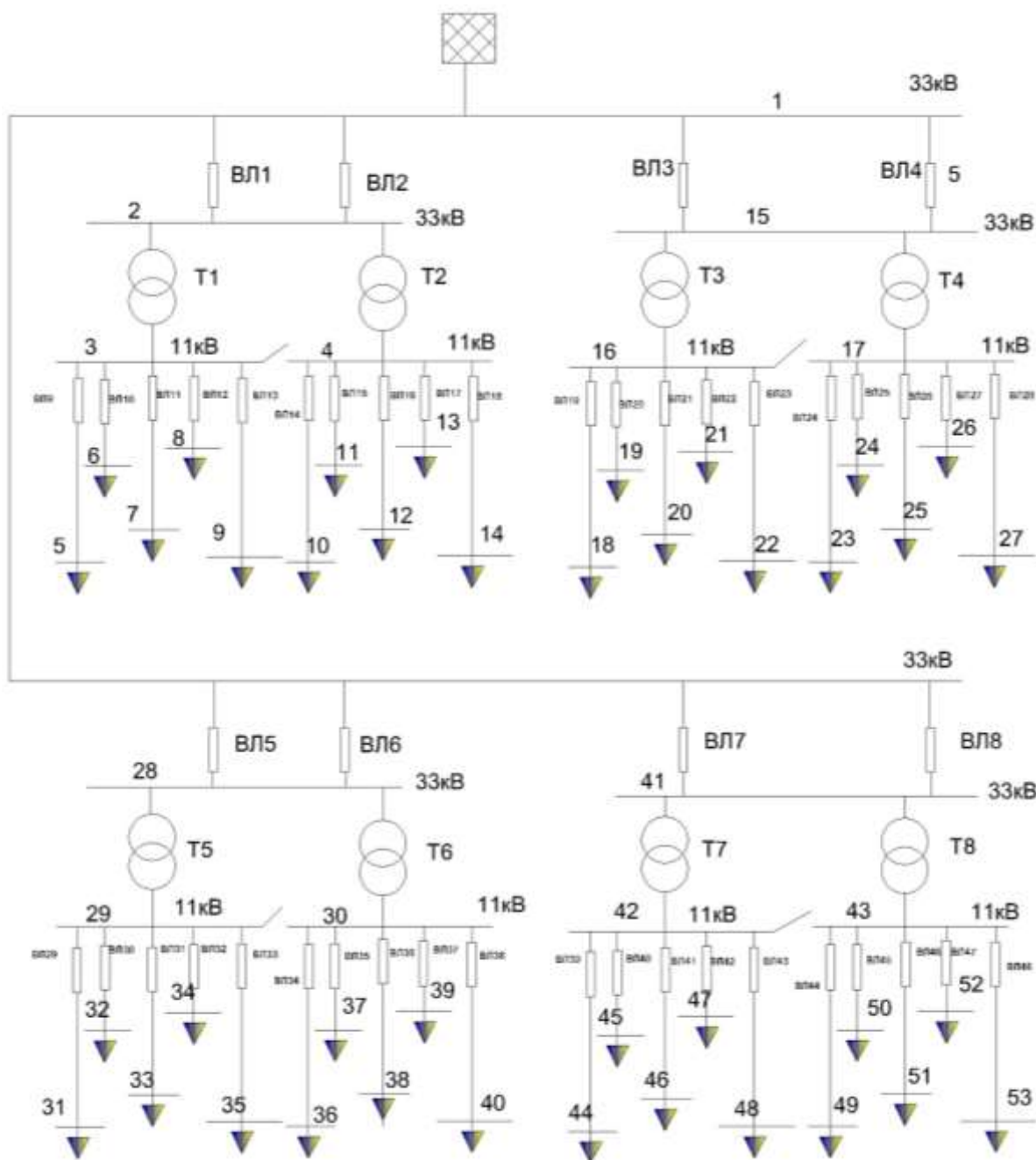


Рис. 15. Электрическая распределительная сеть провинции Дияла

Анализ результатов расчета исходной модели (рис.15) показал, что в 28-ми узлах нагрузки потери напряжения превышают допустимые 5% от $U_{ном}$. Чтобы уменьшить эти потери предлагается использовать микроГЭС в нескольких узлах схемы(табл. 2).

Таблица 2 – Мощность дополнительной генерации (микроГЭС)

Номер узла			18	20	22	23	25	27	32	34	36	40	
Мощность	P	кВт	120	100	140	70	150	120	150	100	180	120	
	Q	кВАр	74	56	80	30	80	74	85	56	100	74	
Мощность генератора			кВт	150	120	170	85	170	150	240	120	240	150

В результате сравнительного анализа выявлено, что подключение к электрической распределительной сети в провинции Дияла турбин микроГЭС, установленных в действующей сети водоснабжения, ведет к уменьшению в электрической сети потерь активной (на 6%) и реактивной (на 7%) мощности, и снижению отклонения напряжения в среднем на 2 % (рис.16). Годовой доход в бюджет страны от производства электроэнергии по предложенной схеме в провинции Дияла составит 216 млн. иракских динаров или 172,8 тыс.\$.

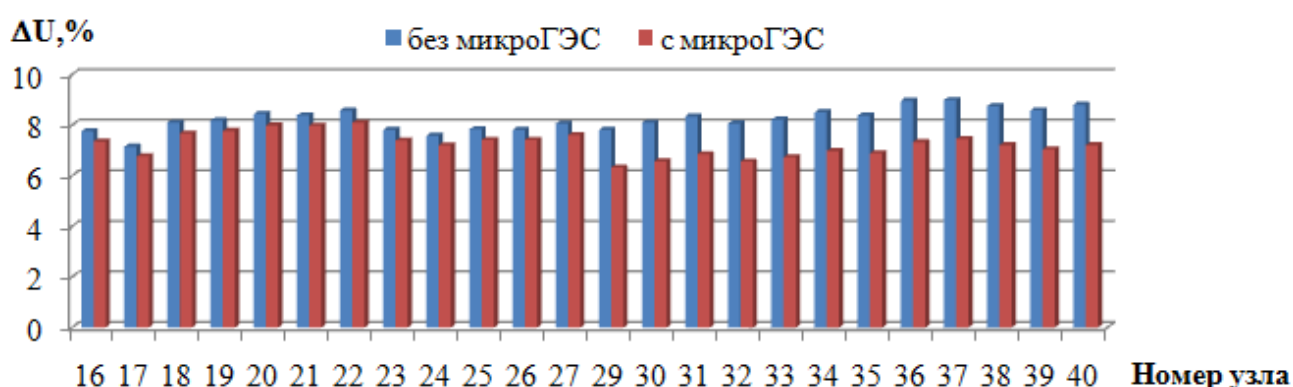


Рис. 16. Отклонение напряжения в узлах распределительной сети провинции Дияла

Во всех случаях применение распределенной генерации на основе микроГЭС приводило к положительными результатам как по уровням напряжений, так и по суммарным потерям мощности (табл. 3) в распределительных сетях этих районов.

Таблица 3 – Суммарные потери мощности в распределительной сети

	района Ханаан			района Аль Салам			провинции Дияла		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
P , кВт	2212,7	2084,084	6%	857,7	819,169	4%	2738,18	2568,93	6%
Q , кВАр	2810	2651,222	6%	1046,8	989,013	6%	10564,52	9867,69	7%
Примечание: столбец 1 – без микроГЭС, столбец 2 – с микроГЭС, столбец 3 – экономия.									

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа текущего состояния энергетической системы и распределительных сетей Республики Ирак выявлены их основные проблемы: увеличение спроса на электроэнергию, недостаток существующих и отсутствие новых или возобновляемых источников энергии, высокий уровень технологических потерь в магистральных (13-44%) и распределительных сетях (до 70%), отсутствие способности управлять режимами работы электрических сетей.

2. Установлено, что перспективной в сложившихся условиях представляется возможность создания и использования интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивными устройствами, которые позволяют обеспечить управляемость и повысить пропускную способность сетей.

3. На основании выполненного аналитического обзора активного электротехнического сетевого оборудования (FACTS) и моделирования режимов работы системы электроснабжения Ирака на примере распределительных сетей провинции Дияла показано, что использование устройств FACTS позволяет уменьшить потери электроэнергии и напряжения и, как следствие, увеличить напряжение в узлах нагрузки; обеспечить соответствие требованиям, предъявляемым к качеству электроэнергии по показателю отклонение напряжения. Потенциал снижения потерь электроэнергии составляет: в магистральных сетях – 13-44%, в распределительных сетях – до 70%.

4. Предложена и обоснована возможность использования потенциала воды водонапорных башен с помощью микротурбин систем водоснабжения и синхронных генераторов в качестве элементов FACTS для управляемой генерации дополнительной электрической энергии, при этом отклонение напряжения на линии электропередачи снижается на 2 %, потери активной мощности в сети на 6 %, а потери реактивной мощности на 7 %.

5. Предложена методика выбора микротурбин и генераторов, основанная на использовании параметров резервуаров системы водоснабжения и являющаяся адаптацией методики расчета гидроаккумулирующих электростанций.

6. Расчёты, выполненные с помощью предложенной методики, показали, что возможная мощность микротурбин и генераторов составляет в среднем от 100 до 300 кВт.

7. Техничко-экономический анализ, показал, что применение предлагаемых мероприятий по сравнению с реконструкцией сетей дает экономию финансовых средств на 10-15 %.

8. Расчётами, выполненными с помощью программ ETAP и RS-3 для электрических сетей в районах Ханаан, Аль Салам и в провинции Дияла, подтверждена возможность использования избыточной энергии сетей водоснабжения для управляемой генерации дополнительной электрической энергии, которая обеспечит возможность управления режимами работы электрической сети.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

В изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Использование систем накопления питьевой воды для улучшения режимов распределительных электрических сетей 11кВ Ирака /Али Мохаммед Аль Зухаири, М. Н. Нестеров, А. А. Виноградов А. А. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 1. – С.204-210.
2. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Использование конденсаторных установок и батарей в распределительной сети/ Али Мохаммед Аль Зухаири, М. Н. Нестеров, А. А. Виноградов //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С.205-209.

В других изданиях

3. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Особенности электрической распределительной сети Ирака/ Али Мохаммед Аль Зухаири, А. А. Виноградов // Энергетика и энергоэффективные технологии. БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – С. 12-16.
4. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Типы и виды использования (FACTS) для повышения пропускной способности ЛЭП электрической системы / Али Мохаммед Аль Зухаири, А. А. Виноградов //В сб. «От плана ГОЭЛРО к энергетике будущего» – Изд-во Московского государственного открытого университета им. В.С. Черномырдина. – 2012. – С. 23-27.
5. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / Али Мохаммед Аль Зухаири, А. А. Виноградов // В сб. «Молодежь и глобальные проблемы современности». – Изд-во Московского государственного открытого университета им. В.С. Черномырдина, 2013. С.19-22.
6. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Состояние вопроса об использовании «SMART GRID» / Али Мохаммед Аль Зухаири, А. А. Виноградов // Электронный научный журнал «APRIORI. Серия: естественные и технические науки» – 2014. – №3. – <http://apriori-journal.ru/seria2/3-2014/Ali-Vinogradov.pdf>
7. Аль Зухаири, Али Мохаммед. Методика расчета технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в электроэнергетических системах / Али Мохаммед Аль Зухаири, А. А. Виноградов // Электронный научный журнал «APRIORI. Серия: естественные и технические науки» – 2014. – №4. – <http://apriori-journal.ru/seria2/4-2014/Ali-Vinogradov.pdf>