

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Таджикский технический университет
имени академика М.С. Осими



**"ЭНЕРГЕТИКА:
СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ"**

23 декабря 2024 года



Душанбе

2024

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ
ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**

Донишгоҳи техникийи Тоҷикистон
ба номи академик М.С. Осимӣ

Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ – амалӣ:
«ЭНЕРГЕТИКА: ҲОЛАТ ВА ДУРНАМОИ РУШД»

23 декабри соли 2024

ISBN 978-99985-823-8-5

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Таджикский технический Университет
имени академика М.С. Осими

Материалы международной научно – практической
конференции:

**«ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ»**

23 декабря, 2024 года

ISBN 978-99985-823-8-5

Материалы Международной научно – практической конференции: «ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими – Душанбе: «Aprint», 2024. - 370 с.

Настоящий сборник содержит материалы Международной научно – практической конференции: «ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ», проведенной 23 декабря 2024 г. на базе Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими. В пленарных и секционных докладах обсуждаются проблемы электроэнергетики, автоматизации и управления технологическими процессами в энергетике.

Верстка материалов докладов проведена на основе представленных авторами электронных версий без редактирования их текста!

Маводи конференсияи байналмилалии илмӣ – амалии «ЭНЕРГЕТИКА: ҲОЛАТ ВА ДУРНАМОИ РУШД» / Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ – Душанбе, «Aprint», 2024. - 370 с.

Дар маҷмӯаи мазкур маводи конференсияи байналмилалии илмӣ – амалии: «ЭНЕРГЕТИКА: ҲОЛАТ ВА ДУРНАМОИ РУШД», ки 23 декабри соли 2024 дар ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ баргузор гардид, ҷамъоварӣ шудааст. Дар маърузаҳои ифтитоҳӣ ва бахшҳои алоҳидаи конференсия проблемаҳои электроэнергетика, рақамикунонӣ, автоматикунонӣ ва идораи равандҳои технологӣ дар энергетика баррасӣ ва муҳокима карда мешаванд.

Саҳифабандии маҷмӯаи мазкур дар асоси дастнависҳои ешниходнамудаи муаллифон бидуни таҳрир иҷро шудааст!

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Состав организационного и научного комитета:

Рахимзода Дж.Б.	Декан энергетического факультета, председатель
Шарифов Б.Н.	Заместитель декана энергетического факультета по науке и договорным студентам, секретарь
Бозоров Ш.А.	Начальник управления науки и инновации
Вохидов М.М.	Заместитель декана энергетического факультета по учебной работе
Мирзозода Б.М.	Заведующий кафедрой «Релейная защита и автоматизация энергосистем»
Султонзода Ш.М.	Заведующий кафедрой «Электрические станции»
Киргизов А.К.	Заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехника и радиотехника»
Насриддинов А.С.	Заведующий кафедрой «Физика»
Исмоилов Ф.О.	Заведующий кафедрой «Электроснабжение»
Диёрзода Р.Х.	Заведующий кафедрой «Автоматизированные электроприводы и электрические машины»
Тагоев С.А.	Заведующий кафедрой «Техника и теплоэнергетика»

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ – 1.....	11
НОРМИРОВАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЙ	
<i>Рахимзода ДЖ.Б., Шарипов Э.М., Курбонов Ю.М.</i>	12
О ЦЕЛЕОБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ 660 В ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ ГОРНЫХ РАЙОНАХ	
<i>Додхудоов М.Д.....</i>	17
О ПРЕДЕЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ	
<i>Додхудоов.М.Д.....</i>	20
О МЕРАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОСОБО ВАЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ГЕНЕРИРУЕМОЙ МОЩНОСТИ	
<i>Додхудоов М.Д.</i>	26
АППАРАТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ AVR-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ	
<i>Абдуллозода Р.Т., Бобоев Х.Д., Сидиков Х.З.</i>	31
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35 КВ	
<i>Бобоев Х.Д., Абдуллозода Р.Т., Абдуллозода И.Т.</i>	35
БАРАССИИ УСУЛҲОИ МАЪМУЛИ ҲИСОБИ ЗУҲУРОТИ РЕЗОНАНС ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ	
<i>¹Ҷӯразода Ш.Ҷ., ²Исмоилов С.Т., ³Ҳабибуллозода З.Ҳ., ⁴Ҷаборов М.К.....</i>	38
ИМИТАЦИЯ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЛИНИИ СВЯЗИ МЕЖДУ ИСТОЧНИКАМИ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА	
<i>Сидиков Х.З., Шахзоди Х., Холов Ш.Д.....</i>	47
ANALYSIS OF THE CONVERSION OF THE COUNTRY'S DISTRIBUTION NETWORKS TO A NOMINAL VOLTAGE OF 20 KV..	
<i>Ulfatshoeva Sh. I.....</i>	51
ЭНЕРГИЯСАРФАКУНӢ ДАР РӢЗҒОР	
<i>Балаев М.А., Гулмуродзода С.Г.....</i>	58
СИММЕТРӢ НАМУДАНИ РЕҶАИ ХАТИ БАҶҚ БО ӢРИИ УНСУРҲОИ ИНДУКСИЯИ ТАРАФАӢН	
<i>Гулмуродзода С.Г.....</i>	65
ТАҲЛИЛИ ШИДДАТИ БАҶҚАРОРШАВАНДА ВА ҶАРАӢНҲОИ ТАЪМИНОТИ КАМОНӢ ДАР ХАТТИ ҲАВОИИ МАСОФАИ ДУР	

<i>Гулмуродзода С.Г. Балаев М.А.</i>	69
CASA-1000 ТАҲКУРСӢ БАРОИ РУШДИ ЭНЕРГЕТИКАИ ТОЧИКИСТОН	
<i>Мирсаидов Д.Б. Воҳидов М.М. Ниёзи С.Р.</i>	76
ЦИФРОВИЗАЦИЯ – ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	
<i>Азамов Н.Н., Исаков Д.Х., Радионова О.В., Сытдыков Р.А.</i>	80
МОКРЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ	
<i>Мингазетдинов И.Х., Пименов М.А.</i>	86
О СНИЖЕНИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	
<i>Кудратов Ж.Т., Сытдыков Р.А., Радионова О.В., Талипова С.Б.</i>	90
ТАЛАФОТИ ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ ДАР ШАБАКАҲОИ БАҶӢ Мирсаидов Д.Б., Воҳидов М.М. Ниёзи С.Р.	95
ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	
<i>Ашурзода А.А., Мирзоев А.М., Амонов А.А.</i>	100
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛИНИЙ С ПРОВОДАМИ СИП И АС НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ	
<i>Амонов А.А., Мирзоев А.М., Сайфуллоев Н.К.</i>	109
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛЭП 500 КВ	
<i>Рахматов Р.Дж., Наимов С.Х., Мамадджонова Д.Т.</i>	117
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОТКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ	
<i>Гафоров А.Дж., Саидализода Н.С.</i>	123
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	
<i>Мусофев Ф.Ш., Саидализода Н.С.</i>	129
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (на примере РЭС района И.Сомони г. Душанбе)	
<i>Рахимов Ф.М.</i>	135
ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИЙ	
<i>Джоншиев Ф., Рахимов Ф. М.</i>	139
СЕКЦИЯ – 2	145
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	
<i>Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Шокиров К.Ш.</i>	146

МАЛАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ – ВЕКТОР ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ <i>Икромов Н.М.</i>	154
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ <i>Махсумов И.Б., Рахимов З.С., Рахимов Х.А.</i>	162
ТАРБИЯИ ЭКОЛОГИИ КЎДАКONI SINНИ ТОМАКТАБЇ ЗАМИНА БАРОИ РУШДИ ИҚТИСОДИ САБЗ <i>Аминов Х. Н., Аминзода С. Л.</i>	170
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ <i>Аминов Х., Зиёдалиев С.</i>	176
МЕРЫ ПО СОХРАНЕНИЮ ЛЕДНИКОВ ТАДЖИКИСТАНА ОТ ДЕГРАДАЦИИ <i>Катаганова Г. Б¹., Боев М. Р.², Боев У. З.³</i>	183
К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ <i>Исмоилов Ф.О.</i>	188
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ <i>Мингазетдинов И.Х., Минвалиев И.А.</i>	195
PERSPECTIVE OF USE RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN <i>Saidzoda Kh. S.</i>	200
РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Саидзода Х.С.</i>	209
АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ <i>Султони С.</i>	213
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ <i>Махмудов И.Х., Надиров У.Н., Ансоров И.Н.</i>	219
СИЁСАТИ ЭНЕРГЕТИКИИ ЧУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН ДАР ДАВРОНИ ИСТИҚЛОЛИЯТ <i>Саломзода М.Ш., Замонов Ҳ.Р., Халилов М.Н.</i>	226
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ <i>Мухаммадиев Н.А, Шарифов Б.Н., Гуламов Ш.Р.</i>	232
ИСТИФОДАИ ЭНЕРГИЯИ ОҒТОБ БАРОИ ГАРМИТАЪМИНКУНИ	

<i>Султонбеков О.Ш., Ёров Х.М.</i>	238
МУНОСИБАТҲОИ МЕТОДӢ ОИД БА АРЗӢБИИ ТАЪСИРИ ИНФРАСОҲТОРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКӢ БА РУШДИ ИҚТИСОДӢ	
<i>Ҳомидова М.И.</i>	243
ЭНЕРГОСИСТЕМА КАК ДИНАМИЧЕСКАЯ СЕТЬ: РОЛЬ ГЭС В ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПЛАНИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	
<i>Раджабеков М.Х., Давлатмамадов Н.Г., Рахимов Б.С.</i>	249
АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	
<i>Хасанзода Н., Сафаров М.И., Юнусов С.Р.</i>	259
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЕТРОВОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ УТОЧНЕННОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА	
<i>Хасанзода Н., Сафаров М.И.</i>	267
МОДЕЛИ СТОХАСТИКИИ ПЕШГУИИ ИСТЕҲСОЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ АЗ ПАНЕЛИ ОҲТОБӢ	
<i>Қирғизов А.Қ.</i>	276
СЕКЦИЯ – 3	283
РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ АРМАТУР	
<i>Зарипов Ш.А., Зарипов Дж.А., Тагоев С.А.</i>	284
РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОТО - И КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОПОРОШКОВ ПЕРЕХОДНЫХ И НЕПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Зарифзода М.А.</i>	288
ТАДҚИҚИ ҲОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРО ВА ГАРМОФИЗИКИИ МАҲЛУЛҲОИ ОБӢ ВОБАСТА АЗ ҲАРОРАТ ВА ФИШОР	
<i>Аминов Ш.А.</i>	295
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ, КЛАСТЕРНЫХ ГИДРАЗИНГИДРАТА И ГИДРАЗИНЗАМЕЩЁННЫЕ ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ (ОБЗОР)	
¹ Назруллозода А.С., ² Тургунбоев М.Т., ³ Сафаров М.М., ⁴ Абдуллоев М.А.	305
СПЕКТРАЛЬНАЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛАТИНЫ В ОБЛАСТИ ТОЧКИ ПЛАВЛЕНИЯ	
<i>Шайхетдинов Р.С., Косенков Д.В., Сагадеев В.В.</i>	312
ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА УЧЕБНОГО ЗДАНИЯ ФАКУЛЬТЕТА ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТАДЖИКСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ	

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

<i>Тагоев С.А.</i>	316
ГИБРИДНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ	
<i>Тагоев С.А.</i>	321
СЕКЦИЯ – 4	326
НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ	
<i>Шарифов Б.Н., Диёрзода Р.Х., Мухаммадиев Н.А.</i>	327
НЕЙРОРЕГУЛЯТОР В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОТУРБИНОЙ МГЭС	
<i>Диёров Р.Х., Гуламов Ш.Р.</i>	335
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Аетов А.У.</i>	342
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
<i>Мирзозода Б.М., Холов Ш.Д., Шахзоди Х.</i>	337
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 10-0,4 КВ В СРЕДЕ MATLAB / SIMULINK	
<i>Мирзозода Б.М., Шахзоди Х., Холов Ш.Д.</i>	342
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	
<i>Мирзозода Б.М., Махмадсаидзода М.М., Ибрагимов Б.Ф.</i>	359

СЕКЦИЯ – 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

НОРМИРОВАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Рахимзода Дж.Б., Шарипов Э.М., Курбонов Ю.М.

ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: jam-rahimov@mail.ru

Аннотация: В статье даны определения параметрам переходных восстанавливающихся напряжений. Анализированы стандарты ГОСТ Р 52565 – 2006 и IEC 62271-100 по параметрам переходных восстанавливающихся напряжений. Приведены нормированные характеристики переходных восстанавливающихся напряжений на контактах высоковольтных выключателей при отключении токов короткого замыкания. Определены границы норм параметров переходных восстанавливающихся напряжений на контактах высоковольтных выключателей.

Ключевые слова: переходное восстанавливающееся напряжение, ток короткого замыкания, нормированные характеристики, выключатель.

NORMALIZED CHARACTERISTICS OF TRANSIENT RECOVERY VOLTAGES

Abstract: The article provides definitions of the parameters of transient recovery voltages. The standards GOST R 52565 – 2006 and IEC 62271-100 for parameters of transient recovery voltages analyzed. The normalized characteristics of transient recovery voltages on the contacts of high-voltage circuit breakers when short circuit clearing are given. The limits of the norms of the parameters of transient recovery voltages on the contacts of high-voltage circuit breakers have been determined.

Keywords: transient recovery voltage, short-circuit current, rated specifications, circuit breaker.

Наряду с периодической и аperiodической составляющими тока короткого замыкания, важным параметром, который характеризует отключающую способность выключателей, является допустимое переходное восстанавливающееся напряжение на контактах выключателей при отключении токов короткого замыкания.

Под переходным восстанавливающимся напряжением понимается напряжение, восстанавливающееся на контактах выключателя и возникающее после погасания в нем электрической дуги.

Для проверки отключающей способности выключателей по параметрам переходных восстанавливающихся напряжений в зависимости от расчетных

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

условий используется один из трех известных методов, обеспечивающих получение расчетных параметров переходных восстанавливающихся напряжений: метод, основанный на экспоненциальной форме кривой, метод, основанный на одночастотной форме кривой для переходного восстанавливающегося напряжения на контактах выключателя и землей со стороны источника тока короткого замыкания, либо метод, основанный на пилообразной форме кривой переходного восстанавливающегося напряжения со стороны короткого замыкания. Выбор метода расчета скорости нарастания и пикового значения переходного восстанавливающегося напряжения осуществляется в зависимости от места короткого замыкания, а также от соотношения эквивалентного волнового сопротивления линий электропередачи и критического сопротивления сети [1].

Одним из основных задач выключателей является оперативное включение и отключение отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме как в нормальных так в и аварийных режимах. Отключающая способность выключателей определяется не только значением отключаемого тока, но также и способностью выключателя выдерживать возникающее после погасания электрической дуги напряжение между контактами.

Предельно допустимые параметры переходных восстанавливающихся напряжений для новых выключателей нормируются ГОСТ Р 52565 – 2006 [2] и IEC 62271-100 [3]. Если переходные восстанавливающиеся напряжений можно описать, как одночастотное, то нормируется одна скорость нарастания переходного восстанавливающегося напряжения, соответствующая первому его максимуму (нормирование по двум параметрам). Для старых выключателей следует выяснить, в соответствии с каким стандартом они были изготовлены, и нормированные значения переходных восстанавливающихся напряжений определять по стандартам, соответствующим дате изготовления выключателей.

Если в переходных восстанавливающихся напряжений несколько высокочастотных составляющих, то нормируются две скорости нарастания: скорость нарастания до первого максимума, чье значение ниже амплитуды переходного восстанавливающегося напряжения, и скорость нарастания от первого максимума до амплитуды переходного восстанавливающегося напряжения (нормирование по четырём параметрам). Нормированные параметры граничных линий переходных восстанавливающихся напряжений зависят от тока, номинального напряжения выключателя и отношения тока короткого замыкания к номинальному току отключения выключателя.

Действующие требования к характеристикам переходных восстанавливающихся напряжений выключателей переменного тока на

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

напряжение от 3 до 750 кВ приведены в разработанном ВНИИЭ и ГУП ВЭИ стандарте ГОСТ Р 52565 – 2006 [2], который действует с 1 января 2007 г.

Согласно [2] нормированные характеристики переходных восстанавливающихся напряжений задаются условной граничной линией, определяемой:

а) двумя параметрами – U_c , t_3 , а также координатами линии запаздывания U' и t_d (рис. 1);

б) четырьмя параметрами – U_1 , U_c , t_1 и t_2 , а также координатами линии запаздывания U' и t_d (

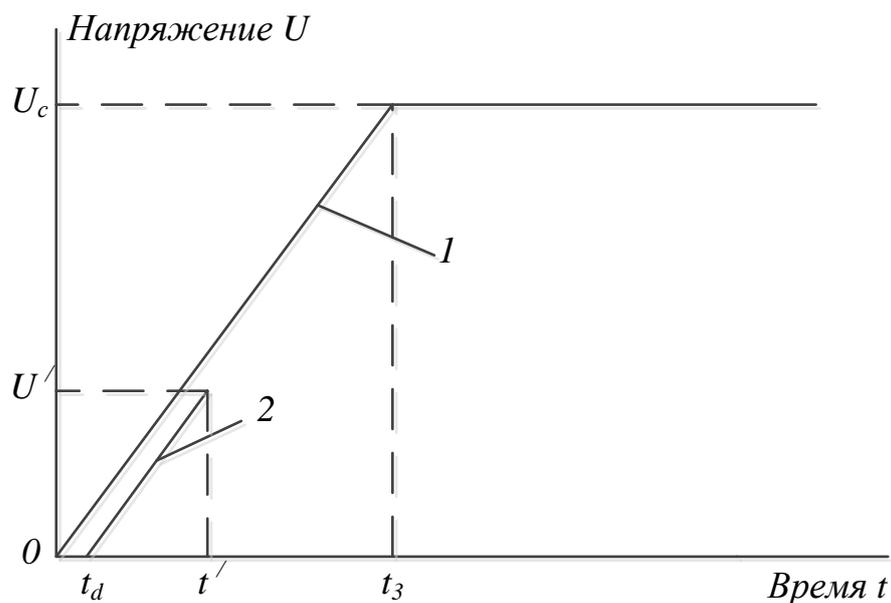


Рисунок 1 – Нормированные характеристики переходных восстанавливающихся напряжений, определяемые двумя параметрами, [2]

В соответствии с [2] параметры U_1 и U_c определяются соотношениями:

- для выключателей с $U_{ном} \leq 35$ кВ:

$$U_1 = \sqrt{2} \cdot U_{ВП}.$$

- для выключателей с $U_{ном} \geq 110$ кВ:

$$U_1 = 0,75 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ВП}.$$

$$U_c = K_a \cdot \sqrt{2} \cdot U_{ВП};$$

$$U_{ВП} = K_{ПГ} \cdot \frac{U_{н.р.}}{\sqrt{3}},$$

где $U_{ВП}$ – полюсное возвращающееся напряжение, кВ;

K_a – коэффициент превышения амплитуды;

$K_{ПГ}$ – коэффициент первого гасящего полюса;

$U_{н.р.}$ – наибольшее рабочее напряжения выключателя, кВ;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

U_1 – первое амплитудное значение восстанавливающегося напряжения, кВ;

U_c – пиковое значение восстанавливающегося напряжения, кВ.

Для выключателей с $U_{ном} \geq 110$ кВ коэффициент $K_{п.г} = 1,3$. Значения коэффициента K_a в зависимости от тока отключения, принимаются равными от 1,4 до 1,54 [2].

Согласно [2] нормированные характеристики переходных восстанавливающихся напряжений для отключения токов короткого замыкания приводятся для 10, 30, 60 и 100% от номинального тока отключения выключателей. Для каждого значения отношения тока короткого замыкания к номинальному току отключения выключателя $I_{кз}/I_{откл.ном}$ независимо от значений номинального тока отключения выключателя задается одна нормированная характеристика переходного восстанавливающегося напряжения. Например, для элегазового выключателя с номинальным напряжением 110 кВ при $I_{кз}/I_{откл.ном} = 60\%$ и для элегазового выключателя с $I_{откл.ном} = 25$ кА и для элегазового выключателя с $I_{откл.ном} = 40$ кА нормированные характеристики одинаковы и составляют $t_1 = 33$ мкс, $U_1 = 100$ кВ, $t_2 = 198$ мкс, $U_c = 200$ кВ. Согласно вышеприведенных нормированных значений при $I_{кз}/I_{откл.ном} = 60\%$ для элегазового выключателя с $I_{откл.ном} = 25$ кА и для элегазового выключателя с $I_{откл.ном} = 40$ кА нормированная скорость нарастания переходного восстанавливающегося напряжения одинакова и равна 3 кВ/мкс.

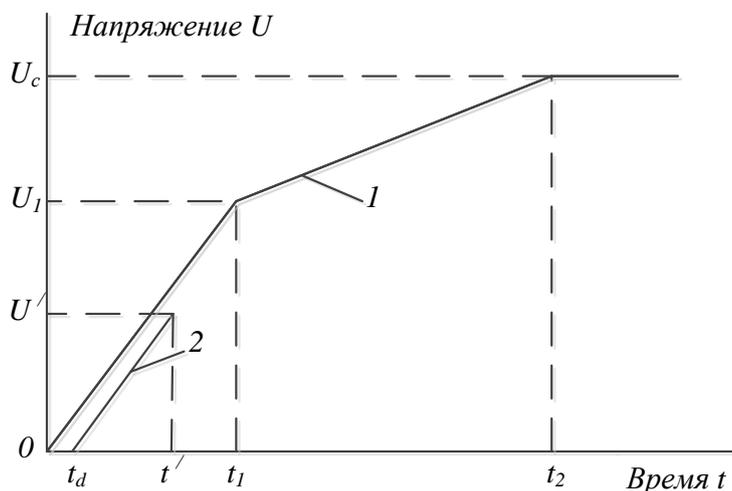


Рисунок 1 – Нормированные характеристики переходных восстанавливающихся напряжений, определяемые четырьмя параметрами, [2]:

1 – условная граничная линия переходного восстанавливающегося напряжения;

2 – линия запаздывания переходного восстанавливающегося напряжения.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Согласно ГОСТ Р 52565 – 2006 [2], отключение тока короткого замыкания гарантируется при условии, что расчетная кривая переходного восстанавливающегося напряжения в месте установки выключателя:

- не выходит за пределы условной граничной линии (рис.2, кривая 1);
- пересекает один раз линию запаздывания и вторично ее не пересекает (рис.2, кривая 2).

Заключение

Резюмируя вышесказанное, переходное восстанавливающееся напряжение может привести к повторному зажиганию дуги между контактами главным образом по причине высокой скорости роста, т.е. напряжение между контактами выключателя может расти быстрее, чем будет восстанавливаться электрическая прочность промежутка между контактами. Привести к перекрытию промежутка между контактами может также очень высокая амплитуда переходного восстанавливающегося напряжения.

Таким образом, определение параметров переходных восстанавливающихся напряжений на контактах выключателей при отключении токов коротких замыканий является необходимым действием при проектировании и реконструкции электрических сетей на этапе выбора выключателей, а также для оценки условий работы уже установленных выключателей.

Литература

1. Denis D. Transient Recovery Voltages (TRVs) for High-Voltage Circuit Breakers Part 1. Chair CIGRE WG A3.28 & IEEE WG C37.011, Fellow IEEE San Antonio (USA), 19/09/2013. p. 186.
2. ГОСТ Р 52565-2006: Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. - Введ. 2007-04-01. - М.: Стандартинформ, 2007. - 91 с.
3. IEC 62271 -100. International standard. High-voltage switchgear and controlgear. High-voltage alternating-current circuit - breakers. 2003.
4. Дж.Б. Рахимзода, Ю.М. Курбонов, М.М. Вохидов. Анализ состояния основных элементов электроэнергетической системы Республики Таджикистан // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования – № 2 (62). Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими – 2023 – С. 36 – 42, ISSN 2520-2227.

Сведения об авторах:

1. Рахимзода Джамшед Бобомурод – к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими, Тел.: (+992) 987-47-77-71, E-mail: jam-rahimov@mail.ru;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. Шарипов Эркин Курбонович – докторант PhD кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими, Тел.: (+992) 557-87-08-80, E-mail: erkin.sharipov.96@mail.ru;

3. Курбонов Юсуф Махмадалиевич – докторант PhD кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими, Тел.: (+992) 930-99-39-19, E-mail: qym01@mail.ru.

О ЦЕЛЕОБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ 660 В ДЛЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ ГОРНЫХ
РАЙОНАХ

М. Д. Додхудоев

ТТУ им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: rizo-1917@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается решение задачи электроснабжения отдалённых от основной группы потребителей отдельных или группы дворов сельских населённых пунктов, применением напряжения 660 В.

Ключевые слова: электроэнергия, потребители, напряжения, электрические сети, потребительские трансформаторные подстанции.

**ON THE FEASIBILITY OF USING 660 V VOLTAGE FOR
ELECTRICITY DISTRIBUTION IN RURAL MOUNTAIN AREAS**

Abstract. In the work considered examines the solution to the problem of power supply to individual or group of courtyards of rural settlements remote from the main group of consumers, using voltage of 660 V.

Keywords: electricity, consumers, voltage, electrical networks, consumer transformer substations.

Темп роста насыщения быта сельского населения электроприёмниками различного назначения настолько велико, что нагрузка на электрические сети и источников их питания на напряжения до 1000 В также возрастают с огромной скоростью. По этой причине после проектирования, сооружения и ввода в эксплуатацию отдельных участков электрической сети, в скором времени требуется её почти полной реконструкции. Причём на данный момент, из-за отсутствия методики прогнозирования роста электрических нагрузок при указанных условиях, при проектировании электрических распределительных сетей напряжением до 1000 В указанный фактор невозможно учитывать. Простое завышение параметров элементов электрической сети, при проектировании их без относительно точного прогнозирования возрастания нагрузок за какой – то определённый период, может привести к недогрузке её элементов на неопределённое время. Как длительная недогрузка элементов электрической сети, так и их перегрузки на неопределённое время, связано с экономическим ущербом для всей системы электроснабжения. Очевидно, требуется разработки методики расчёта и прогнозирования электрических

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

нагрузок сельских населённых пунктов в нынешних условиях. Для этого требуется проведения экспериментальных исследований электрических нагрузок отдельных дворов и ПТП.

В условиях Республики Таджикистан наряду с электрической энергией в бытовом секторе используется древесина, навозь и уголь. Древесина и навозь, не во всех горных регионах имеются в достаточном количестве, и требуют труд и время для заготовки, а уголь дороговато. К тому же их использование создаёт некоторое неудобство. Поэтому при наличии системы электроснабжения люди прибегают к её использованию электроэнергии в пищу приготовления, зимой в целях отопления, круглогодично в целях горячего водоснабжения и на прочие нужды. От такого удобства электроэнергии, отказаться, возможно, только при её отсутствии. Никакие ограничительные меры здесь не помогут.

Наряду с общими проблемами в системе электроснабжения населённых пунктов в условиях горных регионов, возникают свои специфические задачи, связанные с обеспечением нормированного уровня напряжения на зажимах электроприёмников потребителей, находящегося на значительные расстояния друг от друга. При этом на большом расстоянии друг от друга находятся не только отдельные населённые пункты, но и отдельные дворы друг от друга. Если задача обеспечения уровня напряжения на зажимах высокого напряжения потребительских трансформаторных подстанций возможно решить применением глубокого ввода напряжением 35 кВ [1], в распределительной сети напряжением 380 В её не всегда возможно решить существующими способами. Проблема заключается в том, что в условиях горных регионов отдельные жилые дома от основной части жилых построек могут находиться на расстоянии до двух и более километров. Расположить ПТП в центре электрических нагрузок не по техническим и не по экономическим условиям не целесообразно. Такое расположение не может решить эту задачу, так как основная масса потребителей, питающихся от потребительской подстанции (ПП), находятся на допустимом расстоянии и уровень напряжения на зажимах электроприёмников этих потребителей, может находиться в пределах норм [1]. Подвод высокого напряжения 10-35 кВ с установкой отдельной потребительской трансформаторной подстанции для небольшого количества потребителей при незначительной нагрузке, также не может давать с экономической точки зрения, положительного результата. Воздушная линия электропередачи высокого напряжения практически будет работать на холостом ходу. В этих условиях задача электроснабжения отдалённых, обособленно расположенных потребителей, возможно применением напряжения 660 В.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Однако применения напряжения 660 В, для распределения электроэнергии в сельских населённых пунктах, связано с некоторыми техническими сложностями. Во-первых, электрические сети напряжением 660 В, выполняются с изолированной нейтралью трансформатора, что не позволяет получить фазное напряжение 380 В. Во-вторых, даже при получении напряжения 380 В, его нельзя использовать для подключения бытовых электроприёмников с номинальным напряжением 220 В. Следовательно, требуется найти приемлемые технические решения этой задачи. Возможны два варианта схемы питания потребителей в зависимости от количества отдалённых дворов: 1. При количестве дворов до двух единиц целесообразно однофазный подвод питания к ним. При этом на основной ПП напряжением 10÷35/0,4 кВ, устанавливается однофазный повышающий трансформатор напряжением 0,4/0,69 В. На приёмном конце, устанавливается наоборот 0,69/0,4 кВ и на этом напряжении производится питания потребителей. 2. При количестве отдалённых дворов 3 и более расположенных по близости друг от друга, у основной ПТП, устанавливается трёх обмоточный повышающий трансформатор напряжением 0,4/0,69 кВ, у приёмного конца наоборот, трёхфазный понижающий трансформатор напряжением 0,69/0,4 кВ. На напряжение 220 В, производится распределения электроэнергии между дворами. При таких схемах, потери напряжения и электроэнергии в трансформаторах, покрывается за счёт снижение потери их на линиях напряжением 660 В.

Литература

1. Додхудоев М. Д., Вохидов М. М. Опыт эксплуатации глубокого ввода напряжением 35/0,38 кВ в системе электроснабжения Республики Таджикистан//Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования № 2 (66) 2024. С. 5-10.

Сведения об авторе:

Додхудоев Мамадризо Додхудоевич – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжения» Таджикского технического университета им. академика М. С. Осими.

О ПРЕДЕЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО
НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ

М. Д. Додхудоев

ТТУ им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: rizo-1917@mail.ru

Аннотация. Рассматривается вопрос правомерности применения явления «пробоя» кожи для обоснования длительно допустимого напряжения прикосновения. Доказывается, что длительно допустимое напряжения прикосновения должно определяться по значению порогового отпускающего тока при экспериментальных исследованиях непосредственно на людях.

Ключевые слова: допустимый ток, допустимое напряжение, организм человека, электрическая ёмкость, активное и индуктивное сопротивление.

ON THE LIMIT VALUE OF LONG-TERM PERMISSIBLE TOUCH
VOLTAGE

Abstract. The article considered of the legality of using the skin “breakdown” phenomenon to justify long-term permissible touch voltage of contact. It is proven that the long-term permissible voltage of contact should be determined by the value of the threshold releasing current in experimental studies directly on people

Key words: permissible current, permissible voltage, human body, electrical capacity, active and inductive reactance.

Безопасность человека от поражения электрическим током в электроустановках обеспечивается разными способами и средствами [1, 2]. Один из таких способов является применением малого напряжения, в частности 12 В, 24В и 36 В переменного тока промышленной частоты. Эти значения напряжения применяются в особо опасных и опасных помещениях, чаще всего для питания переносных ламп, электропривода ручного электроинструмента и т.д. При этом, имеются описанные в научной литературе случае, когда поражение электрическим током человека происходили даже при напряжении 12 В переменного тока промышленной частоты [1].

В середине 70 –х годов прошлого столетия появляются сведения о предельном значении длительно допустимого напряжения 42,5 В [2]. Согласно этой теории, на основании линейной интерполяции экспериментальных данных за пределами 25 В, в интервале от 30 до 60 В, ёмкость организма человека для всех испытуемых достигает нулевого значения. Это означает, что ёмкостная составляющая полного сопротивления организма человека также достигает

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

своего нулевого значения, тогда как ёмкостное сопротивление имеет обратную зависимость от ёмкости. При снижении электрической ёмкости его электрическое сопротивление уменьшается. Угол сдвига фаз между током через тело человека и приложенным напряжением достигает своего минимума уже при 25 вольтах. Исходя из этого, исследователи пришли к необоснованному выводу о том, что “величина угла сдвига фаз, свидетельствующая о наличии ёмкостной составляющей полного сопротивления тела человека, достигает своего нулевого значения по сравнению с величиной ёмкости в зоне более низких напряжений есть прямой смысл в определении усреднённой величины критического напряжения по экстремальным значениям: по минимуму аргумента функции $\varphi = f(U)$ и максимуму аргумента функции $C = f(U)$. Последнее приводит к результату”

$$U_{кр} = \frac{25+60}{2} = 42,5 \text{ В.}$$

На основании этого исследователи [2] приходят к выводу “Таким образом, полученный результат позволяет высказать мнение, что при напряжении около 42,5 В, следует ожидать явление пробоя кожного покрова ладоней рук, и как следствие, разряда ёмкости тела человека”.

Возникает резонный вопрос, если при напряжении в среднем 25 В, угол между током через тело человека и приложенному к нему напряжению исчезает и становится равным нулю, а ёмкость ещё существует при напряжении более чем в два раза больше, следовательно, ёмкостное сопротивление не может быть равным нулю. Если ёмкостное сопротивление ещё существует, это означает, что угол сдвига фаз также не может быть равным нулю, какое бы значение не приобретал активная составляющая полного сопротивления. На наш взгляд здесь проведена не корректная линейная аппроксимация. Именно этот не логичный вывод авторов, а также обзорный анализ результатов многих других исследователей, в том числе [3], относительно того, что ёмкость организма человека — это не статическая ёмкость, а обусловлена поляризационными процессами в электролите, привёл автора настоящей статьи к выводу о том, что данная задача требует дальнейших исследований.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана измерительная установка, в которой использовался магазин эталонных индуктивностей, необходимых для полной компенсации ёмкостного сопротивления тела человека, при различных величинах напряжения и разных частотах тока по разным, наиболее вероятным путям тока. При этом одновременно измерялся угол сдвига фаз между током через организм человека

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

и приложенным к нему напряжением, как фазометром, так и осциллографом. Эксперименты проводились в разных условиях, в том числе на поверхности шахт при высокой температуре окружающего воздуха и сильном потении рук испытуемых.

В ходе проведения опытов, было выявлено, что в пределах до 36 В электрическая ёмкость тела человека возрастает и описывается уравнением:

$$C_{ч} = a.e^{\epsilon/U} \quad (1)$$

Ёмкостное сопротивление снижается по экспоненте и описывается уравнением:

$$X_{c.ч} = \frac{1}{\omega C_{ч}}. \quad (2)$$

Угол сдвига фаз между током через тело человека и приложенного к нему напряжения существует до значения максимального напряжения, выдерживаемое испытуемым в ходе опытов [4] и описывается уравнением:

$$\varphi_{ч} = a.e^{-\epsilon/U} \quad (3)$$

Отметим, что количества испытуемых с повышением напряжения уменьшается с 82 человек при напряжении 2 В до 44 человек при напряжении 36 В. Выбывание количества испытуемых из опытов, происходит начиная с напряжения 24 В. при частоте 100 Гц напряжения 24 В выдерживают только 36 человек, при частоте 200 Гц – 22 человека и при частоте тока 400 Гц 43 испытуемых выдерживают только 18 В. С повышением частоты пороговый не отпускающий ток возрастает, напряжение, приложенное к испытуемому, уменьшается. Что касается снижения напряжения с увеличением частоты, и уменьшения количество испытуемых в пределах частот больше 50 Гц до 1000 Гц и дальнейшее его возрастание, оно обусловлено, и снижением сопротивления тела человека, и изменением физиологического воздействия тока на организм человека.

Уменьшение сопротивление на пути протекание тока с увеличением напряжения приводит к тому, что начиная со значение напряжения 24 В промышленной частоты, ток через организма части испытуемых достигает значение порогового не отпускающего тока. Тем самым данный испытуемый дальше не может участвовать в опытах. Но имеются люди, у которых сопротивление достаточно высокое, а темп его снижение незначительное.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Поэтому порог не отпускающего тока, достигает своего значения при напряжениях 45 В и более. Однако таких людей очень мало, поэтому они из выборки были исключены. Проведения опытов при достижении через организм человека значение тока превышающих пороговых не отпускающих токов недопустимо по соображениям обеспечения безопасности при проведении опытов.

Наблюдения в ходе проведения опытов показали, что не было ни одного случая резкого изменения тока через организм человека при повышении напряжения. Плавно повышался напряжения, плавно возрастало значение тока через тело человека. Следовательно, ни о каком явлении «пробоя» кожи речи не может быть.

Ранее, снижение сопротивление тела человека электрическому току, в том числе в условиях жаркого климата, объяснялось наличием в организме человека железо, которое шунтирует рогового слоя сопротивление кожи, когда руки человека потеют. О наличии других металлах, находящиеся в организме человека, в те времена мало что было известно, даже медикам [3]. В настоящее время не просто доказано, а на практике людям для поддержание нормального здоровья, врачами рекомендуется употребление продуктов содержащих не только железо, но и многих других микроэлементов. Часть из них в виде лекарств, реализуется в аптеках. Огромное количество металлов содержатся в организме человека, которые вместе с витаминами, белками, аминокислотами и водой, образуют электролит. Изменение каждого из перечисленных микроэлементов в организме человека, приводят не только к ухудшению состояние человеческого организма, но и к изменению его электрического сопротивления. Поэтому сопротивление каждого человека очень сильно изменяется во времени в течение суток.

Всё, что мы едим содержит тот или иной микроэлемент, а некоторые продукты питания, к примеру нут, содержит огромное количество таких микроэлементов. Содержит в мг %: калия 873, кальция 115, кремния 83, магния 107, натрия 33, серы 190, фосфора 329, хлора 137. Микроэлементов в мкг %: алюминия 1180, бора 670, ванадия 150, железо 9400, йода 5,1, кобальта 13,1, марганца 1750, меди 750, молибдена 84,2, никеля 246, олова 16,2, селена 13,1, стронция 80, цинка 3180 и циркония 11,2.

Как видим, всё, что человек потребляет, обязательно содержит те или иные микроэлементы, которые с другими элементами и водой образуют электролит, о чём твердят медики. Поэтому, электрическая ёмкость существует не только между металлическими электродами и под кожей тканю, но во всех внутренних частях живого организма.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таким образом, предельно возможное значение допустимого напряжения прикосновения, можно, оценить непосредственным опытом, на людях, без каких-либо линейных аппроксимации. Всё изложенное является свидетельством отсутствия «пробоя» поверхностного слоя кожи, а напряжения 12 В, 24 В и 36 В являются предельно допустимыми напряжениями прикосновения для человека в разных условиях.

Литература

- 1.Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. Изд. 3-е, перераб. и доп. –Л.: Энергия, 1976 -344 с. с ил.
- 2.Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л. В. Гладилин, [и др]. М.: Недра, 1977. 327 с.
- 3.Малов Н. Н., Ржевкин С. Н. Сопротивление человеческого тела электрическим токам высокой частоты. – Журнал прикладной физики, 1929, т.4, вып. 5, с 39-73.
- 4.Додхудоев М.Д., Вохидов М. М. Качественная оценка электрических параметров тела человека электрическому току//Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. -Душанбе 2019, №2 (46). С. 20-26.
- 5.Додхудоев М. Д., Вохидов М. М. Количественная оценка сопротивления тела человека электрическому току//Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. -Дешанбе 2019, № 3 (47). С. 40-45.

Сведения об авторе:

Додхудоев Мамадризо Додхудоевич – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжения» Таджикского технического университета им. академика М. С. Осими.

О МЕРАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕСПЕРЕБОЙНОГО
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОСОБО ВАЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН В УСЛОВИЯХ
ДЕФИЦИТА ГЕНЕРИРУЕМОЙ МОЩНОСТИ

М. Д. Додхудоев

ТТУ им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: rizo-1917@mail.ru

Аннотация. рассматривается вопрос обеспечения электроэнергией городских потребителей, приравненных к электроприёмникам 1 – й и 2 – й категории по бесперебойности питания в условиях дефицита генерируемой мощности. Приводятся рекомендации по обеспечению бесперебойного питания потребителей, приравненных к электроприёмникам особой категории, а также водонасосов многоэтажных жилых зданий.

Ключевые слова: потребители, бесперебойность питания, категория электроприёмников, электроснабжение, энергоснабжение.

ON MEASURES TO ENSURE UNINTERRUPTIBLE ELECTRICITY
SUPPLY TO ESPECIALLY IMPORTANT CONSUMERS OF CITIES OF
THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN IN CONDITIONS OF A SHORTAGE OF
GENERATED POWER

Abstract. The article considered electricity to urban consumers equated to power consumers of the 1st and 2nd categories for uninterruptible power supply in conditions of a shortage of generated power is being considered. Recommendations are given for ensuring uninterrupted power supply to consumers equated to special category electrical receivers, as well as water pumps of multi-storey living buildings.

Key words: consumer, uninterruptible power, category of electrical receivers, power supply, energy supply.

В современных условиях урбанизации жизни населения, не только в городах, но и сельских населённых пунктах, трудно себе представить на несколько минут остаться без электричества в доме, да и не только в доме на работе и даже на улице. Буд-то жизнь остановилась, что известно каждому жителю планеты. Однако в условиях дефицита мощности в стране основное внимание по бесперебойности питания должно быть уделено тем потребителям, которые создают не только не удобство, но и опасность для здоровья и жизни людей.

В недалёком прошлом, городские потребители электроэнергии разделялись на группы по бесперебойности питания [1]. При этом городские

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

потребители, приравненные к электроприёмникам 1 – й категории составляли до 10 %, а потребители, приравненные к электроприёмникам 2 – й категории до 15 % от суммарной потребляемой мощности потребителями города.

В нынешних условиях, наоборот, потребители, относящиеся к электроприёмникам третьей категории по бесперебойности питания, составляют до 15 % от суммарной потребляемой мощности всех потребителей города. Такое положение связано с тем, что в Республике Таджикистан электрическая энергия является единственной энергией для энергоснабжения потребителей городов страны. Электроэнергия используется в целях пище приготовления, горячего водоснабжения, а в зимний период и для целей отопления. Поскольку пище приготовления даже в двухэтажных домах невозможно произвести на сжиженном газе, не говоря об использовании угля или древесины, все потребители жилой застройки должны быть отнесены по бесперебойности питания к электроприёмникам 2- й категории. Это означает, что перерыв в электроснабжении этих потребителей допускается на время ручного переключения резервного питания. Точно также в зимний период, при отсутствии централизованного отопления, единственная возможность отапливать помещения в многоэтажных домах – это использование электрической энергии.

Следует отметить, что дефицит мощности в зимний период не настолько значительно, чтобы отключались города или целые микрорайоны. Отключаются не на длительное время отдельные улицы или кварталы. При этом во время веерного отключения потребителей на определённое время, к наиболее важным потребителям следует отнести учреждения здравоохранения, систему водоснабжения города и отдельные учреждения государственной важности, которых нельзя оставлять без питания в соответствии с требованием [1].

Учреждения здравоохранения, независимо от места их расположения в городе, не должны быть отключены ни при каких обстоятельствах. При этом, не только «Операционные» и Реанимационные» отделения, которые относятся к потребителям «Особой» категории, но вся больница. Они могут быть отключены только при стихийных бедствиях. Для таких случаев для них предусматривается третий источник резервного питания с автоматическим включением. Схема питания таких потребителей должна быть построена таким образом, что отключения других потребителей, связанной с ними единой схемой не может привести к нарушению бесперебойности их питания.

В городских условиях наиболее сложным является оставаться без воды даже на незначительное время. Особенно, когда электричества отключается

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

неожиданно. Запасаться водой на длительное время, довольно сложно. Решать задачу бесперебойности электроснабжения систем водоснабжения отдельных жилых домов, первой и второй категории по бесперебойности питания достаточно сложно. При этом трудности возникают не с головными насосными станциями, обеспечения, бесперебойности питания которых, не представляет трудности. Трудности возникают с бесперебойностью питания насосов водоснабжения отдельных жилых многоэтажных домов, питающиеся по одной общей линией со всеми другими электроприёмниками этих домов. Поскольку количество жилых домов, имеющих больше четырёх этажей стало преобладающим и имеет тенденцию к возрастанию, изменением схем их электроснабжения на более высокий уровень надёжности в условиях веерного отключения от источника питания, смысла не имеет.

На наш взгляд эта задача может быть решена двумя способами: а) путём установки общей насосной станции для группы многоэтажных зданий. Оптимальное количество таких жилых зданий, питающиеся от одной насосной станции водой, мощность насосной станции, и их количество должны быть установлены специалистами по водоснабжению. Такие отдельные групповые насосные станции могут быть обеспечены электроэнергией по отдельным линиям, независимым от системы электроснабжения жилых домов. При отключении жилых домов от системы электроснабжения, насосные станции продолжают работать и водоснабжения жилых домов не прекращается. Тем самым основное удобства для населения сохраняется, а отсутствие электричества в домах до нескольких часов, хот и создаёт неудобства, но не представляет опасность для жизни.

б) путём отделения питания электроэнергией водонасосов жилых многоэтажных домов по линиям, несвязанным с питанием основной электрической нагрузки жилых домов. В этом случае, в зависимости от допустимой мощности, подключаемой к одной линии, производится перегруппировка водонасосов жилых домов, каждые из которых, подключаются к отдельным потребительским трансформаторным подстанциям, питающегося от линии высокого напряжения, не связанная с линией, питающей эти же жилые дома. Они должны питаться с потребителями, которые не подлежат отключению или отдельной потребительской подстанции, питающиеся по отдельной линии высокого напряжения. К таким линиям, могут быть подключены также лифтовые установки.

В зимний период наиболее мощным потребителем электроэнергии является система электрического отопления жилых и общественных зданий. Именно электрическое отопление создаёт в городах дефицит электроэнергии в

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

зимнее время, ограничить которого практически невозможно ни какими средствами. Единственным способом полного сокращения потребления электроэнергии на нужды отопления, является централизованное отопление. Для этого, очевидно, как во времена существования Советского Союза нужно использовать котельные, работающие на угле, и которые с его распадом везде были демонтированы, как источники загрязнения окружающей среды, и которых, можно соорудить за наиболее короткое время, чем сооружения тепловых электрических станции.

Нельзя не заметить, что сооружения котельных, а тем более ТЭЦ для централизованного отопления во всех городах страны, может существенно снизить или полностью ликвидировать дефицит электрической мощности в зимний период. Это объясняется тем, что где-то около половины расхода электроэнергии в быту в зимнее время, в домах, где отсутствует централизованное отопление, идёт на электрическое отопление. Для отопления трёхкомнатной квартиры в условиях г. Душанбе при погоде с температурой в не помещения около нуля градусов в среднем расходуется до 100 кВт ч электроэнергии в сутки. Это чуть больше 4 кВт мощности. Сто таких квартир имеют установленную мощность электрического отопления равным 400 кВт. Поэтому переход на централизованное отопление с сооружением ТЭЦ или котельных на природном газе, даже импортное, является экономически выгодным. К тому же наличие ТЭЦ в городах страны в некоторой степени увеличивает энергетическую её безопасность до строительства и ввода в эксплуатацию новых ГЭС на других реках страны, наряду с рекой «Вахш» [2].

Что касается, государственные учреждения особой важности, различные другие учреждения и организации, отдельные потребители, такие как радио и телевидение, городская телефонная связь, мобильная связь и прочие, которые являются «ответственными» потребителями, должны установить дополнительный резервный источник питания с автоматическим включением в случае потери питания от основных источников электроэнергии.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. /Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.: ил.
2. Додхудоев М. Д. О возможных путях обеспечения энергетической безопасности Республики Таджикистан//Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – Душанбе 2020, № 3 (51). С. 24-28.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сведения об авторе:

Додхудоев Мамадризо Додхудоевич – доцент кафедры «Электроснабжение» Таджикского технического университета им. академика М. С. Осими, к.т.н.

АППАРАТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ AVR-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ПРИ
МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Абдуллозода Р.Т., Бобоев Х.Д., Сидиков Х.З.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: khboboev-93@mail.ru.

Аннотация: В данной статье приведены понятия систем мониторинга заземляющего устройства. Рассмотрены основные области применения AVR-микроконтроллеров, их спецификации и основные характеристики, приводятся основные параметры микроконтроллера типа ATmega8515-16AU.

Ключевые слова: ATmega8515-16AU; мониторинг; заземляющее устройство, аналого-цифровой преобразователь, заземлитель.

HARDWARE FEATURES OF AVR MICROCONTROLLERS IN
MONITORING THE STATE OF GROUNDING DEVICES

Abstract: This article discusses the concepts of grounding device monitoring systems. The main areas of application of AVR microcontrollers in such systems, their specifications and main characteristics are touched upon, and the main parameters of the ATmega8515-16AU microcontroller are given

Key words: AVR microcontroller; ATmega8515-16AU; monitoring; grounding device, analog-to-digital converter, grounding conductor.

При проектировании заземляющих устройств, а также любых электрозащитных средств чрезвычайно важно оценить уровень электробезопасности и надёжности, обеспечиваемый этими устройствами.

Как известно, заземляющие устройства применяются во всех объектах электроэнергетического назначения и имеет большое значение для обеспечения надёжности энергоснабжения и безопасности персонала, обслуживающего сети и электроустановки потребителей.

Неисправность ЗУ существенно влияет на работу измерительных аппаратов, системы релейной защиты и автоматики, установок различного вида и назначения и других систем. Сопротивление является одним из основных параметров заземления и ее возрастание наглядно показывает ухудшение технического состояния элементов заземлителей.

При длительной работе заземляющих устройств происходит ухудшение технического состояния их основных элементов, в том числе из-за ускорения процесса коррозии заземляющих электродов происходит возрастание сопротивления растеканию тока заземлителей. Ускорение процесса коррозии

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

зависит от множества факторов окружающей среды и режимов работы заземляемых установок [1 – 5].

В настоящее время для оценки технического состояния элементов заземляющих устройств используют стандарты и руководящие нормативно-технические документы [3, 4]. Также, существуют различные методы и программно-аппаратные средства для мониторинга основных параметров заземляющих устройств, характеризующих их состояние. Измерение физических величин производят соответствующими приборами, однако при помощи AVR-микроконтроллеров и соответствующих датчиков можно осуществить измерение почти любых электрических параметров.

Согласно [1] состояние заземляющего устройства, при определенной погрешности, можно оценивать в зависимости от среднегодового значения влажности грунта и значения тока протекающих по заземляющим электродам.

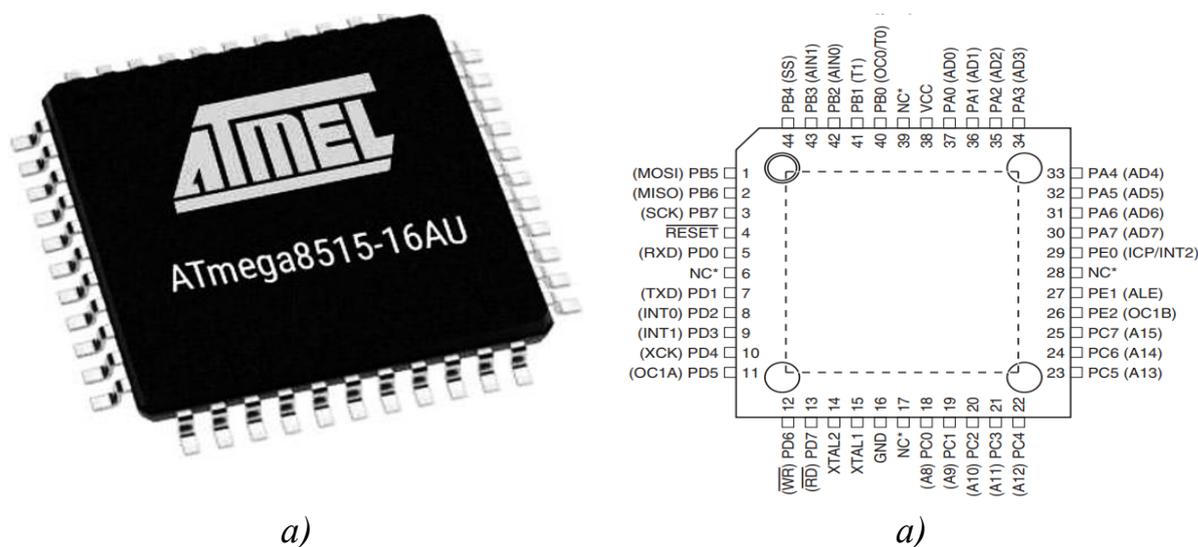


Рисунок 1 – Микроконтроллер типа ATmega8515-16AU:
а) внешний вид; б) назначение портов

Применение AVR-микроконтроллеров идеально подходит в устройствах мониторинга состояния заземляющего устройства, которые при измерении двух вышеуказанных параметров характеризуют фактическое состояние заземлителя. Микроконтроллер типа ATmega8515-16AU имеет энергонезависимую память RAM, EEPROM в них используют гарвардскую архитектуру памяти.

Количество встроенных периферийных электронных устройств микроконтроллера ATmega8515-16AU очень велико: к ним относятся таймеры, аналого-цифровой преобразователь (PA1 – PA7) универсальные цифровые порты ввода/вывода (PB5 – PB7, RESET, PD0, PD1) и т.д.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В отличие от микропроцессора, микроконтроллеры выполняют более простые функции и имеют широкую сферу применения в электронных устройствах, технике бытового и промышленного назначения.

Заключение

Микроконтроллеры ATmega8515-16AU могут применяться не только при мониторинге состояния заземляющих устройств, а также в микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики, системе сигнализации, энергетических установках и др. Существует возможность подключения к вышеуказанным микроконтроллерам GSM-модуль, что может использоваться для дистанционного мониторинга состояния заземляющих устройств.

Литература

1. Устройство и способ оценки состояния элементов заземлителей / А. И. Сидоров, Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфилдинзода [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 3. – С. 88-94. – DOI 10.14529/power240310.
2. К вопросу о влиянии различных параметров грунта на коррозию заземляющих устройств / А. И. Сидоров, А. И. Солдатов, Б. Т. Абдуллоев [и др.] // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2017. – № 6. – С. 5-8. – DOI 10.18635/2071-2219-2017-6-5-8.
3. Бобоев, Х.Д. Устройство контроля изоляции в сетях 6 КВ / Х.Д. Бобоев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 168-171. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-2-168-172.
4. Сидоров, А. И. Разработка плана отсеивающего эксперимента по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств / А. И. Сидоров, Р. Т. Абдуллоев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 52-58. – DOI 10.14529/power160207.
5. Способ определения состояния заземляющего устройства в зависимости от косвенных факторов / Р. Т. Абдуллоев, Д. К. Каримов, З. В. Кобулиев, Р. Т. Абдуллозода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 4(44). – С. 23-27.

Сведения об авторах:

Абдуллозода Р.Т. – к.т.н., доцент, доцент кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем, ТГУ имени академика М.С.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Бобоев Х.Д. – к.т.н., ассистент кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем, ТТУ имени академика М.С.

Сидиков Х.З. – старший преподаватель кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем, ТТУ имени академика М.С.

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35 кВ**

Бобоев Х.Д., Абдуллозода Р.Т., Абдуллозода И.Т.

(ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан)

E-mail: khboboev-93@mail.ru.

Аннотация: *Для обеспечения надёжности электроснабжения и безопасности персонала, обслуживающего сети и электроустановки потребителей необходимо знать параметры изоляции фаз сети относительно земли. В данной статье рассматривается разработанная методика для измерения указанных параметров электрической сети, основанная на подключении к одной из фаз дополнительной емкости.*

Ключевые слова: *дополнительная емкость, электрическая сеть, параметры изоляции фаз сети относительно земли.*

**METHOD OF DETERMINING INSULATION PARAMETERS IN
ELECTRIC NETWORKS WITH VOLTAGE OF 6-35 kV**

Abstract: *To ensure the reliability of power supply and the safety of personnel servicing networks and electrical installations of consumers, it is necessary to know the parameters of the isolation of the phases of the network relative to the ground. This article discusses the developed technique for measuring the specified parameters of the electrical network, based on connecting an additional capacity to one of the phases.*

Key words: *additional capacity, electrical network, network phase isolation parameters relative to the ground.*

При проектировании любых электрозащитных средств чрезвычайно важно оценить уровень электробезопасности и надёжности, обеспечиваемый этими устройствами [1].

Следовательно, в распределительных электрических сетях (РЭС) с изолированной нейтралью напряжением 6 - 35 кВ в рабочем режиме и с включенными токоприёмниками необходимо знать общее активное сопротивление изоляции и суммарную ёмкость сети относительно земли, что позволяет своевременно планировать проведение профилактических ремонтных работ. Кроме того, для разработки норм на допустимые значения указанных параметров, нормирования уставок защиты ОЗЗ и контроля изоляции [1–5].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Необходимо отметить, что пробой изоляции фаз сети относительно земли нарушает нормальное электроснабжение потребителей. В связи с этим, определение указанных параметров изоляции имеет большое значение для обеспечения надёжности электроснабжения и безопасности персонала, обслуживающего электрической сети.

В процессе эксплуатации возникает потребность периодического измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли в электрических сетях. Своёвременно профилактика позволяет получить экономический и социальный эффект за счет предотвращения аварий и устранения связанных с ними несчастных случаев и вынужденных простоев оборудования.

Измерение параметров изоляции может быть выполнено прямым или косвенным методом. Прямой метод для определения активного сопротивления изоляции и суммарной ёмкости сети сопряжено с необходимостью выполнения глухих замыканий на землю и создают повышенную опасность для обслуживающего персонала. В этом случае возможен переход ОЗЗ в двухфазные короткие замыкания на землю в различных точках сети, что крайне нежелательно по целому ряду причин [2]. Исходя из условия повышения электробезопасности обслуживания, целесообразно отдать косвенным методам измерения.

Согласно [2, 3, 5] для практического измерения состояния изоляции фаз сети относительно земли наиболее подходящими и безопасными для персонала проводящего исследования является косвенные методы основанных на подключении к одной из фаз дополнительной емкости (ΔC) (рис.1).

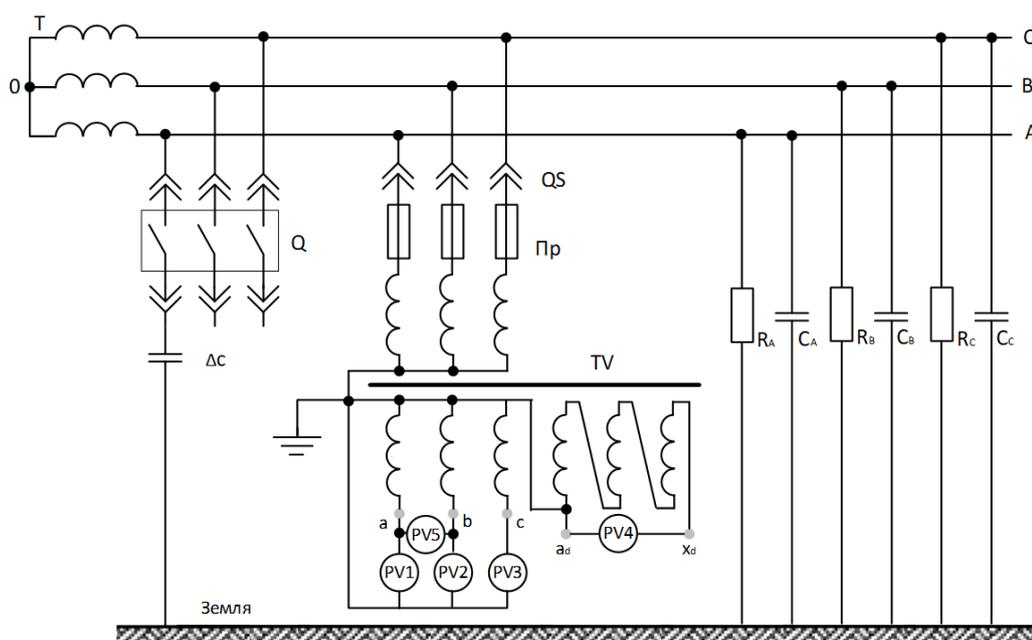


Рисунок 1 – Схема измерения при подключении к сети ΔC

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Для проведения экспериментальных исследований состояния изоляции электрической сети разработана методика, основана на вводе между одной из фаз сети и землей ΔC и измерение величин $U_{\phi,01}$ (PV1, PV2 и PV3), $U_{01,0}$ (PV4) и U_{π} (PV5) до и после введения ΔC (рис.1). Порядок измерения одновременно контролируется различными факторами, влияющими на процесс изменения этих параметров (рис. 2).

Измерение указанных параметров изоляции электрической сети по предлагаемой методике следует проводить по рабочему напряжению согласно принципиальной схеме, показанной на рис.1, в резервном шкафу распределительного устройства напряжением 6-10 кВ (рис.2).



Рисунок 2 – Методика измерений в реальных РЭС напряжением 6-35 кВ

Заключение

Следовательно, при подключении к одной из фаз дополнительной емкости можно определить суммарную емкость сети относительно земли, активное сопротивление изоляции фазы сети относительно земли, а также

активную и емкостную составляющие тока ОЗЗ. Необходимо особо отметить, что подключение ΔC не приводит, практически, к перенапряжениям в сети, не создаёт опасной ситуации для персонала, а получаемые при этом данные хорошо совпадают с фактическими значениями.

Литература

1. Бобоев, Х.Д. Оценка вероятности возникновения электроопасной ситуации в сетях 6-10 КВ / Х.Д. Бобоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 2(62). – С. 13-17. – EDN TVGYBW.

2. Бобоев, Х.Д. Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / Х.Д. Бобоев, А.В. Богданов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 29-37. – DOI 10.14529/power210103.

3. Сидоров, А.И. Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 24-29. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-9-24-29. – EDN RVNDJI.

4. Бобоев, Х.Д. Устройство контроля изоляции в сетях 6 КВ / Х.Д. Бобоев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 168-171. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-2-168-172. – EDN JNFPUM.

5. Бобоев, Х. Д. Обзор методов и средств поддержания состояния изоляции распределительных электрических сетей / Х. Д. Бобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 46-50. – EDN FDIPQR.

Сведения об авторах:

Бобоев Х.Д. – к.т.н., ассистент кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем, ТГУ имени академика М.С.

Абдуллозода Р.Т. – к.т.н., доцент, доцент кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем, ТГУ имени академика М.С.

Абдуллозода И.Т. – соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности ЮУрГУ.

БАРРАСИИ УСУЛҲОИ МАЪМУЛИ ҲИСОБИ ЗУҲУРОТИ РЕЗОНАНС ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ

¹Ҷӯразода Ш.Ҷ., ²Исмоилов С.Т., ²Ҳабибуллозода З.Ҳ., ²Ҷаборов М.К.

¹Филиали Донишгоҳи миллии тадқиқотии «Донишкадаи энергетикии Москва»

²Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

[E-mail: dzhuraevsh@mpei.ru](mailto:dzhuraevsh@mpei.ru)

Аннотатсия. Дар мақола дар бораи омилҳои асосии зуҳуроти резонанс дар шабакаҳои электрикӣ сухан меравад. Инчунин усулҳои гуногуни ҳисоб ва пешгӯии ҳодисаи резонанс баррасӣ карда шуда, хулосаҳои зарурӣ гуфта шудааст.

Калидвожаҳо: усул, резонанс, шабакаҳои электрикӣ, шиддат, ҷараён, гармоникаҳои оӣ.

ОБЗОР РАСПРОСТРАНЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Аннотация. В статье говорится об основных факторах явления резонанса в электрических сетях. Также были обсуждены различные методы расчета и прогнозирования резонансного события и сделаны необходимые выводы.

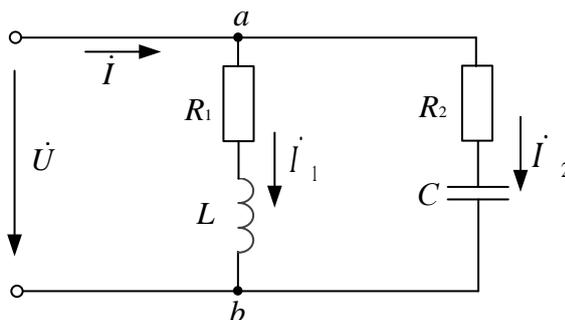
Ключевые слова: метод, резонанс, электрические сети, напряжение, ток, высшие гармоники.

Ҳодисаи резонанс зуҳуроти хатарнок барои таҷҳизоти электрикӣ ба ҳисоб меравад, ки дар раванди ин ҳодиса таҷҳизот метавонанд қисман ва ё пурра осеби техникӣ гиранд. Ин ҳодиса аз нуқтаи назариявӣ ҳангоми ба занҷири электрикӣ як ва ё якчанд элементи индуктивӣ ва инчунин як ва ё якчанд конденсатор пайваст будан, ба амал меояд.

Вобаста ба намуди пайвасти элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ ду намуди резонансро чундо намудан мумкин аст:

- резонанси ҷараёнҳо;
- резонанси шиддатҳо.

Резонанси ҷараёнҳо. Ҳодисаи резонансро дар занҷири электрикӣ, ки дорои ду шохаҳои мувозӣ пайвастшуда (расми 1), ки муқовиматҳои ғайрифазолашон тавсифи гуногун доранд (индуктивӣ ва ғунҷоишӣ), резонанси ҷараёнҳо меноманд.



Расми 1. Пайвасти мувозии элементҳои ғунҷоишӣ ва индуктивӣ

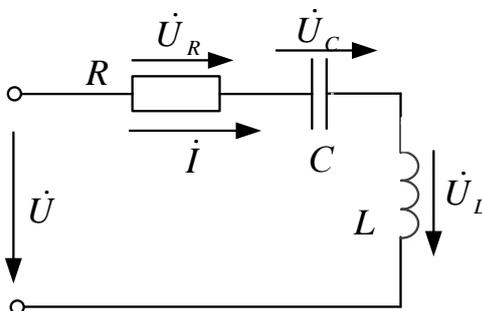
Мувофиқи таърифи речаи резонанс чараёни i ба шиддати \dot{U} аз рӯи фаза бояд мувофиқ биёяд. Ин ҳодиса вақте ба вуқӯъ мепайвандад, ки агар шарти $b_1 - b_2 = 0$ иҷро шавад, яъне сумаи ноқилиятҳои ғайрифазол ба сифр баробар шаванд.

$$\omega^2 \cdot L \cdot C = 1 \quad (1)$$

Резонанси шиддатҳо. Агар ҳодисаи резонанс дар занҷири электрикӣ ҳангоми пайвасти пайдарпаи элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ ба вуқӯъ ояд, пас онро резонанси шиддат меноманд.

Ҳангоми ҳодисаи резонанс чараён дар занҷир бояд аз рӯи фаза бо шиддати манбаъ мувофиқ ояд. Ҳодисаи резонанс дар занҷири электрикӣ вақте ба вуқӯъ мепайвандад, агар муқовимати воридотии $Z = R + j\left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)$ танҳо фазол бошад. Ин ҳолат ҳангоми $\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} = 0$ будан, ба амал меояд. Аз ин рӯ, шарти шурӯъ шудани резонансро дар занҷири электрикӣ расми 2 дар намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2)$$



Расми 2. Пайвасти пайдарпаи элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ

Ҳангоми иҷро шудани баробарии (4), қимати чараён ба $i = \dot{U} / R$ баробар мешавад. Дар ин маврид, модули шиддат дар элементи индуктивӣ ба модули шиддат дар элементи ғунҷоишӣ (конденсатор) баробар мешавад:

$$\dot{U}_L = \dot{U}_C = \omega_0 \cdot L \cdot i = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} \cdot \dot{U} \quad (5)$$

дар ин ҷо, ω_0 – басомади резонансӣ мебошад.

Вобастагии байни муқовимати индуктивиӣ резонансӣ ($\omega_0 \cdot L$) ва муқовимати фаъоли занҷирро хушсифатии контури резонансӣ меноманд ва онро мувофиқи формулаи зерин муайян менамоянд:

$$\frac{\omega_0 \cdot L}{R} = \frac{\sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \cdot L}{R} = \frac{\sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \cdot L^2}{R} = \frac{\sqrt{L}}{R} = Q \quad (6)$$

Хушсифатии контури резонансӣ (Q) нишон медиҳад, ки шиддат дар элементи индуктивӣ (\dot{U}_L) ва ё ғунҷоишӣ (\dot{U}_C) чӣ қадар аз шиддат дар бандакҳои содиротии занҷир (\dot{U}) ҳангоми речаи резонансӣ зиёд аст.

Аз формулаи (6) чунин хулоса баровардан мумкин аст. Чӣ қадаре, ки муқовимати фаъоли контури резонансӣ ҳангоми доимӣ будани параметрҳои боқимондаи занҷир хурд бошад ва ё ба ибораи дигар чӣ қадаре, ки хушсифатии контур (Q) зиёд бошад, ҳамон қадар эҳтимолияти ҳодисаи резонанс дар ягон басомади муайян зиёд мешавад.

Дар системаҳои электроэнергетикӣ (СЭЭ) низ ба амал омадани ҳодисаи резонанс ҷой дорад. Ин ҳодиса вақте ба амал меояд, ки агар ноқилиятҳои индуктивӣ (трансформаторҳо, хати интиқоли барқ ва ҳоказо) бо ғунҷоишии шабака (батареяҳои статикӣ конденсаторӣ, ғунҷиши хати интиқол барқ ва ҳоказо) баробар шаванд ва ё ба ҳамдигар наздик бошанд. Одан ин ҳодиса дар речаҳои ғайрисинусоидалӣ ба вуқӯъ мепайвандад, зеро шартҳои резонанс метавонад на танҳо басомади асосӣ (50 Ҳз), балки дар басомадҳои дигар низ ба амал ояд.

Речаҳои ғайрисинусоидалӣ гуфта, речаи кори СЭЭ – ро меноманд, ки дар он қачхатҳои шиддат ва ҷараён аз шакли синусоидалии стандартӣ дур мешаванд. Ҳар як шакли ғайрисинусоидалӣ метавонад, ба шакли асосии ва ҷузъҳои гармоникаи оӣ бо басомадҳои гуногун ҷудо карда мешаванд, ки боиси тағйир ёфтани қачхати шиддат ва ҷараён мегардад. Сабаби пайдошавии речаҳои ғайрисинусоидалӣ борҳои электрикӣ, ки тавсифи волт-ампериашон ғайрихаттӣ аст. Дар СЭЭ ин гуна борҳои мунтазам меафзоянд, ки оқибат боиси пайдо шудани ташкилдиҳандаи баландбасомади (гармоникҳои оӣ) ҷараён ва шиддат мегардад. Гармоникаҳои оӣ ҷараён ба зиёдшавии ҷараёни умумӣ дар қисмҳои ҷараёнгузар мегарданд ва дар ҳолатҳои резонансӣ метавонанд сабабгори пеш аз муҳлат аз кор баромадани батареяҳои конденсаторҳои статикӣ ва ё ҳатто боиси садама гарданд. Речаҳои кори ғайрисинусоидали СЭЭ

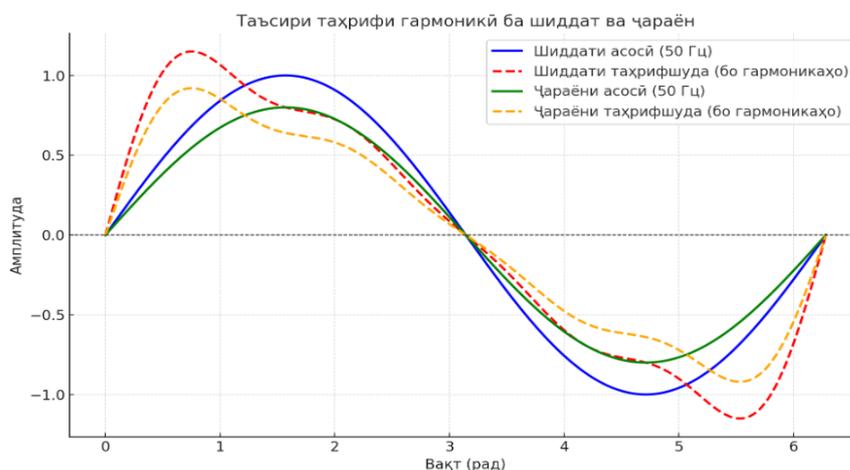
ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

дорои камбудихои муайян мебошанд. Дар баъзе мавридҳо, нишондодҳои техникӣ ва иқтисодии кори қабулкунакҳо ва дастгоҳҳои барқӣ, ки ба шабака пайвастанд, метавонад бад шаванд ё ҳатто ғайриқобили қабул бошанд. Аз ин рӯ, барои паст намудани ҷараёни гармоникаҳои олий чораҳои махсус дидан лозим аст. Дар СЭЭ барои идоракунии речаҳои ғайрисиносоидалӣ бо истифода аз филтрҳо, компенсаторҳо, ва БСК истифода мебаранд. Ба сифати мисол дар расми 1 шакли қачхаттаи мавҷи синосоидалӣ ва ғайрисиносоидалӣ тасвир шудааст.

Таҳрифи шакли қачхаттаи синосоидалии шиддат ва ҷараён ба кори элементҳои шабакаҳои электрикӣ таъсири манфӣ мерасонад. Аз ҷумла, боиси пойдоиши талафоти иловагии тавоноӣ мегардад, ки ин дар навбати худ боиси баланд шудани гармии қисмҳои ҷараёнгузари ин элементҳо гардида, оқибат ба кам шудани муҳлати кори онҳо оварда мерасонад. Ҳодисаҳои резонансӣ ҳангоми иваз шудани конфигуратсияи шабакаҳои электрикӣ (пайваст ва ё хомӯш шудани БКС, хати интиқол ва дигар элементҳои шабака) низ метавонанд ба вучуд оянд.

Шиддати (бузургҳои) ғайрисиносоидалӣ бо нишондиҳандаҳои зерин тавсиф карда мешавад:

1. Зариби таҳрифи синосоидалии қачхатаи шиддат;
2. Зариби гармоникаи n -уми шиддат.



Расми 1. Шакли қачхаттаи мавҷи синосоидалӣ ва ғайрисиносоидалӣ

Зариби таҳрифи синосоидалии қачхатаи шиддат K_U % ин нисбати қимати суммавии амалкунандаи ҳамаи гармоникаҳои олий, ба қимати амалкунандаи шиддати гармоникаи асосии фаҳмида мешавад, $n \geq 2$.

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_{(n)}^2}}{U_{\text{ном}}} \quad (7)$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Оид ба пайдоиш, пешгӯӣ, баргараф ва ё коҳиш додани таъсири резонанс ба элементҳои СЭЭ корҳои илмӣ зиёде ба нашр расидааст ва олимони гуногун хулосаҳои худро баён намуданд. Аз ин рӯ, як чанд мақолаҳоро дар ин мавзӯ баррасӣ мекунем.

Дар қори илмӣ [1] барои ҳисоб намудани параметрҳои низоми (системаи) таъминоти барқ, ҳангоми речаӣ ғайрисинусоидаӣ, усули шиддатҳои гирехӣ истифода бурда мешавад. Ҳангоми истифодаи усули мазкур, барои тартиб додани нақшаи бадалии шабакаҳои электрикӣ дар речаӣ ғайрисинусоидаӣ, вобастагӣ аз басомадро ба назар гирифта лозим аст. Аз ин рӯ, амсилаи (моделӣ) ҳисоби низоми таъмини барқ ҳангоми речаӣ ғайрисинусоидаӣ дар барномаи комплекси Matlab/Simulink коркард карда шудааст. Саҳеҳи модел дар асоси ҳисоби речаӣ ғайрисинусоидаӣ бо усулҳои маъмул санчида шуданд. Натиҷаҳои санчиш аз дақиқияти модел дарак медиҳад. Дар асоси модели коркардшуда, пайдошавии резонанси гармоникаҳои олиро дар нуқтаҳои гуногуни хати интиқоли барқ нисбат ба муқовимати система дида баромада шудааст. Муайян карда шудааст, ки тағйирёбии конфигуратсия ё параметрҳои шабакаҳои электрикӣ боиси зиёдшавии шиддат ва ё ҷараёни гармоникаи оӣ гардад.

Дар қори илмӣ [2] речаҳои ғайрисинусоидалии СЭЭ бо усули потенциали гирехӣ, ҳангоми мавҷуд будани манбаҳои гармоникаи оӣ дар он ҳисоб карда шудааст ва Басомадҳое, ки дар онҳо резонанс ба вучуд омада метавонанд, бояд муайян карда шаванд. Ченкунии нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикӣ тавсифдиҳандаи шакли қачхаттаи шиддат ва ҷараён мебошанд, бо истифода аз асбобҳои ченкунанда, гузаронида шудааст. Дар асоси муқоисаи натиҷаҳои ҳисоб ва дараҷаи воқеии гармоникаи оӣ дар шабакаҳои электрикӣ қарори аз ҷиҳати техникӣ асосан гузоштани дастгоҳҳои ҷубронкунандаи филтр барои кам кардани гармоникаи оӣ ва пешгирӣ кардани ҳолатҳои садама, пешниҳод карда шудааст.

Сифати энергияи электрикӣ аз ҷойгиршавии батареяҳои конденсаторҳои статикӣ (БКС) дар гирехҳои системаҳои таъминоти барқ (СТБ) вобастагии зич дорад. Ҳангоми дар СТБ мавҷуд будани бори ғайрихаттӣ ва БКС боиси аз ҳад зиёд шудани ҷараён мешавад. Ин ҳодиса ба вучуд доштани ҳодисаи резонанс дар ягон басомад дар шабакаҳои электрикӣ рабт дошта метавонад. Табиист, ки дар сурати мавҷуд будани гармоникаи оӣ дар СТБ, ҳолати резонансӣ метавонад дар басомадҳои наздик ба басомадҳои як ё якчанд гармоникаи олие, ки дар СТБ мавҷуданд, рух диҳад. Резонанс вақте пайдо шавад, ки ноқилиятҳои индуктивии шабака ва ғунҷоишии БКС дар ягон басомад ба ҳам баробар

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

шаванд. Дар ин ҳолат резонанси ҷараён ба вучуд меояд ва боиси зиёд шудани ҷараёни умумӣ мегардад ва он ба кори таҷҳизоти барқӣ, аз ҷумла БКС таъсири манфӣ мерасонад ва боиси аз ҳад зиёд гарм шудан ва барвақт аз кор баромадани онҳо мегардад [3].

Дар мақолаи [4] барои ҳолатҳои резонансӣ дар шабакаҳои барқии корхонаҳои саноатӣ ва борҳои ғайриҳаттӣ бахшида шудааст ва муаллифон роҳҳои ошкор кардани чунин ҳолатҳоро баррасӣ мекунанд ба омилҳое, ки метавонанд ҳолатҳои резонансиро ба вучуд оваранд, тавачҷӯх мекунанд. Дар мақола инчунин таъсири резонансии фузуншиддатҳо ба унсурҳои сохтории мошинҳои электрикӣ ва роҳҳои техниकी барои ташҳиси пурраи онҳо пешниҳод шудааст.

Дар кори илмӣ [5] мақола ба таъсири шароити резонансӣ ба шиддати ғайрисинусоидалӣ дар шабакаҳои электрикӣ ва ба мушкилотҳои таъсири гармоникҳои оӣ ва резонанси онҳо дар шабакаи барқӣ-маишӣ равона шудааст. Муаллиф тадқиқоти муҳимро дар бораи аниқ кардани сабабҳои пайдоиши резонансҳои гармоникҳои баланд, ки бештар дар коркарди системаи таъмини тавоноии реактивӣ ва таҷҳизоти барқӣ рух медиҳанд, пешниҳод мекунад. Инчунин ба муҳимияти таҳқиқоти минбаъда ва таҳияи тавсияҳои техникӣ барои пешгирии натиҷаҳои манфии резонансҳои гармоникӣ дар шабакаи электрии маишӣ ва ба фаъолияти дурусту беҳатарии таҷҳизоти барқӣ ишора мекунад. Ҳангоми дар СТБ мавҷуд будани иқтидори реактивӣ, таъсири резонансӣ метавонад ба пастшавии сифати энергияи электрикӣ, гармшавӣ ва зарар ба таҷҳизоти барқӣ оварда расонад.

Кори илмӣ [6] ба таҳқиқи яке аз масъалаҳои муҳим дар СЭЭ, ки борҳои кашиши нақлиёт (масалан, роҳи оҳан) истифода мешаванд, баррасӣ шудааст. Барои таҳлили таъсири ин резонансҳо ва омилҳои мутақобили параметрҳои шабака, модели таҳлилии низоми таъминоти барқ бо бори кашиш (роҳи оҳан) дар барномаи Matlab/Simulink сохта шудааст. Тадқиқот нишон дод, ки сабаби аслии хатогиҳо дар шиддат ва ҷараёнҳои системаҳои таъминоти барқ бо борҳои кашиш ин ҷараёнҳои ғайрисинусоидалӣ ва речаи резонансии шабакаи кашиш мебошад. Ҳангоми паст шудани тавоноии расиши кӯтоҳи шабакаи беруна, резонанс ба басомадҳои паст ба вучуд меояд, ки дар натиҷа амплитудайи гармоникаҳои оӣ шиддат ва ҷараён баланд мешаванд.

Мақолаи [7] ба таҳқиқи ҳолатҳои резонансӣ дар гармоникаҳои оӣ дар шабакаҳои барқии калон бахшида шудааст. Муаллифон усули нави муайян кардани гиреҳҳои пешниҳод мекунанд, ки дар онҳо эҳтимолияти ҳолатҳои резонансӣ дар гармоникаҳои оӣ вучуд доранд. Дар усули пешниҳодшуда барои баҳодихии ҳолати резонансӣ дар шабака иқтидорҳои фаъол ва ғайрифаволи

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

тахрифии гармоникаҳои олий пешниҳод карда шудааст. Муаллифон усули пешниҳодшудаи худро дар шабакаҳои Сибири Шарқӣ санҷиданд. Ҳисобҳои нишон доданд, ки речаҳои резонансӣ аксар вақт дар якҷанд гармоникаҳо якбора пайдо мешаванд ва ба минтақаҳои гуногуни шабака таъсир мерасонанд. Усули пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки басомадҳои резонансӣ дақиқ муайян шаванд ва барои пешгирӣ кардани чунин речаҳо, чораҳои зарурӣ андешида шаванд.

Хулоса. Дар мақола сабабҳои асосии пайдоиши зухуроти резонанс дар СЭЭ гуфта шудааст. Инчунин дар мақола мақолаҳои муаллифони гуногун баррасӣ карда шудааст. Натиҷаи баррасии усулҳои маъмул нишон доданд, ки асосан барои ҳисоби речаҳои резонансӣ усули шиддатҳои гиреҳӣ истифода бурда мешавад. Барои ҳисоби речаҳои мазкур барномаҳои мухталифи ҳисоб (ба мисли Matlab/Simulink, Etap ва ҳоказо) истифода бурда мешаванд. Натиҷаи таҳлилҳо нишон доданд, ки муаллифон барои бартараф намудани речаҳои ғайрисиносоидалӣ барои сар назадани ҳодисаи резонанс насби филтрҳои чубронкунанда, реакторҳои шунтӣ, конденсаторҳо ва ғайраҳо истифода мебаранд.

Адабиёт

1. Исследование резонансных явлений на высших гармониках в схеме внешнего электроснабжения нелинейной нагрузки / Д.С. Федосов, И.А. Тарасов, Д.В. Воронцов / Вестник ИрГТУ 4(111). – 2016. – С. 145 – 154.
2. Расчет резонансных режимов в электрической сетях при наличии источников высших гармоник / Ощепков В.А, Логунова Я.Ю. / Вестник ЮГУ 2023г. Выпуск 1 (68). С. 147-155.
3. Osipov, D. S. Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform / D. S. Osipov, D. V. Kovalenko, N. N. Dolgikh // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics) (14–16 Nov, 2017) // IEEE Conference Publications. Omsk, Russia. – DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239492.
4. Обзор современных исследований по идентификации резонансных режимов, возникающих в элементах электрических сетей промышленных предприятий и коммунально-бытового сектора / Д.В. Коваленко, Е.А. Пугачева, Д.А. Рогозина, А.Е. Фридрих. / Омский государственный технический университет, г.Омск. Омский научный вестник №6 (162) 2018. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-103-107.
5. О резонансах высших гармоник в электрической сетях / Д.А. Силкин. Национальный Исследовательский Университет «МЭИ», Россия, г. Москва. С. 184-187.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

6. Анализ резонансных режимов в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой / Д.А. Шандрыгин, В.П. Довгун, Д.Э. Егоров, М.В. Маньшин / Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия. Вестник ИрГТУ 2020;24(2):396–407.

7. Коверникова Л.И. Один из подходов к поиску резонансных режимов на высших гармониках / Л.И. Коверникова, С.С. Смирнов // Электричество. – 2005. – № 10. – С. 62 – 69.

Маълумот оиди мулаллифон:

Қўразода Ш.Қ. - н.и.т., и.о. дотсенти каф. “Электроэнергетика”-и Филиали ДМТ “ДЭМ” дар ш. Душанбе,

Исмоилов С.Т. - н.и.т., и.о. дотсенти каф. “АНРваЭ” – и ДТТ имени ак. М.С. Осимӣ,

Ҳабибуллозода З.Ҳ. - докторанти PhD дар каф. “Нерӯгоҳҳои электрикӣ” – и ДТТ имени ак. М.С. Осимӣ,

Қаборов М.К. - унвонҷӯи каф. “АНРваЭ” – и ДТТ имени ак. М.С. Осимӣ,

ИМИТАЦИЯ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЛИНИИ СВЯЗИ МЕЖДУ ИСТОЧНИКАМИ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сидиков Х.З., Шахзоди Х., Холов Ш.Д.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: borbadtjk@mail.ru

Аннотация: При исследовании электрических сетях, содержащих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) часто возникает вопрос определения значения тока короткого замыкания (КЗ) с целью дальнейшего его использования для отстройки и выбора уставок устройств релейной защиты и автоматики, устанавливаемых в объектах этих сетей. Именно этот аспект рассматривается в данной работе, где путем программного моделирования определяется значение тока КЗ на линии связи между источниками постоянного и переменного тока.

Ключевые слова: короткое замыкание, возобновляемые источники энергии, электроснабжение, математическая модель, релейная защита и автоматика, PSCAD.

SIMULATION OF A SINGLE-PHASE SHORT CIRCUIT ON A COMMUNICATION LINE BETWEEN AC AND DC SOURCES

Abstract: When studying electrical networks containing renewable energy sources (RES), the question of determining the value of short-circuit current (SC) often arises for the purpose of its further use for tuning and selecting the settings of relay protection and automation devices installed in the facilities of these networks. This aspect is considered in this paper, where the value of SC current on the communication line between DC and AC sources is determined by software modeling.

Keywords: short circuit, renewable energy sources, power supply, mathematical model, relay protection and automation, PSCAD.

В последние годы характер глобального мирового тренда приобрело использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе солнечных (СЭС) и ветряных (ВЭС) электростанций и установок (ВЭУ) различного масштаба, относимых к объектам распределенной генерации. Опыт эксплуатации электростанций на основе ВИЭ за рубежом показал необходимость ужесточения требований к их функционированию в составе энергосистемы.

Параллельная работа ВИЭ с энергосистемой требует точной настройки и алгоритмов работы устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А).

Функционирование устройств РЗ и А в основном зависит от их заложенной настройки, которой в свою очередь зависит от правильного расчета контролируемых параметров.

Основные контролируемые параметры для устройств РЗ и А являются: значение тока, напряжение, мощность, направления мощности и частоты.

При организации параллельной работы ВИЭ с энергосистемой необходимо учитывать особенности организации релейной защиты в распределительной электрической сети, построенной на основе дальнего резервирования.

В данной работе рассматриваемая сеть состоит из инверторной станции (соединяющее звено между источниками переменного и постоянного тока, принято условное выходное напряжение), повышающий трансформатор напряжением 10/110 кВ, линии электропередачи и энергосистемы (источник переменного тока). Определение тока КЗ осуществляется путем моделирования в программном комплексе PSCAD, где используются стандартные модели и компоненты [1,2]. Фрагмент моделируемой сети приведен на рис. 1.

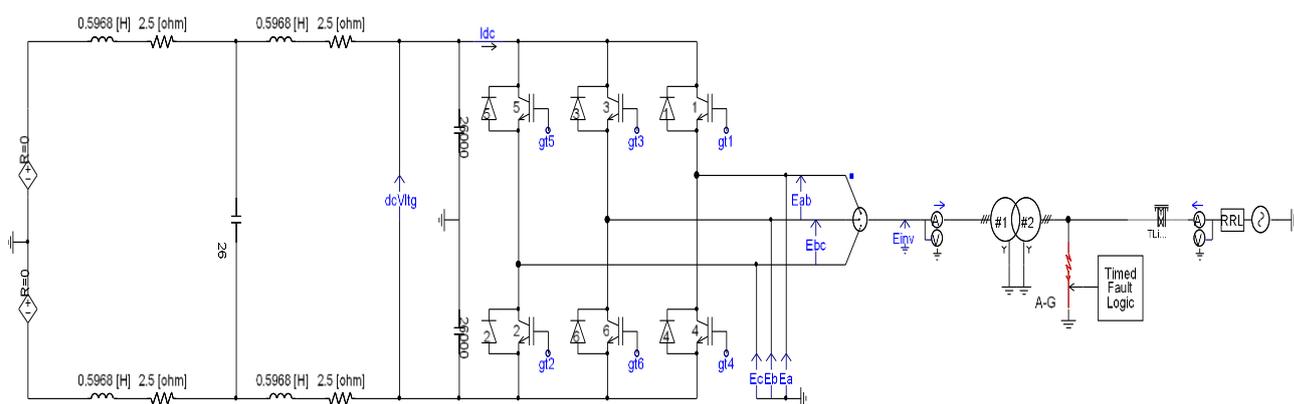


Рисунок 1 – Фрагмент модели рассматриваемой сети

Точка КЗ выбрана в конце линии со стороны энергосистемы и за повышающим трансформатором, т.е. со стороны преобразователей постоянного тока. Моделируется короткое замыкание между фазой А и землей. КЗ реализуется через 0,5 секунды после запуска симуляции (после того, как симуляция вошла в устойчивое состояние).

Компонент для создания КЗ имеет два важных параметра - активация (момент возникновения) и вида КЗ. В этом случае КЗ создается с помощью компонента Timed Fault Logic, который генерирует сигнал логического импульса для управления выключателем (рис. 2).

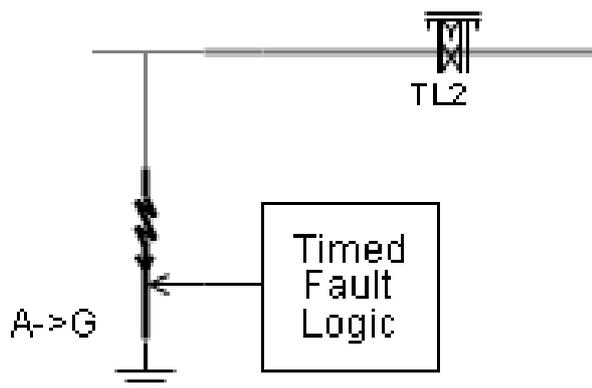


Рисунок 2 – Соответствующий компонент для создания КЗ

КЗ создается вблизи энергосистемы и соответственно ток измеряется в начале линии со стороны энергосистемы и продолжается всего 0,133 секунды. Как видно в нормальном режиме формы синусоиды идеальны (относительно выходной формы напряжения выпрямителей), так как измерение ведется на шинах энергосистемы. На рис. 3 приведен график изменения тока КЗ на линии связи источников постоянного и переменного тока с продолжительностью 0,133с.

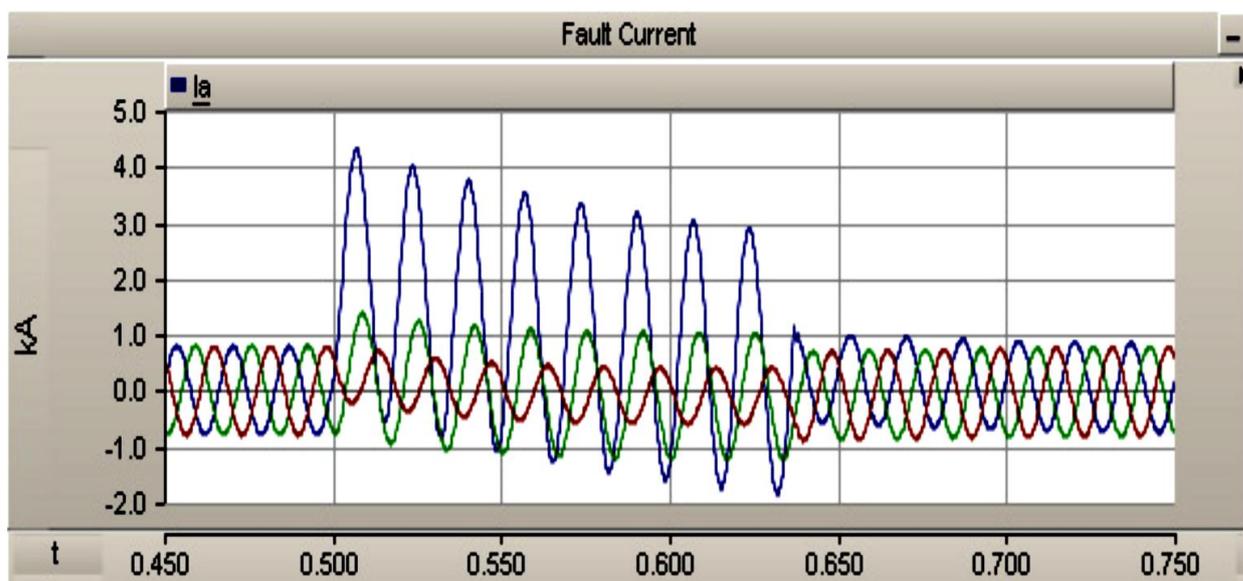


Рисунок 3 – График изменения однофазного тока КЗ на линии связи

Выводы

В работе определены основные параметры схемы для моделирования сети, содержащей источников постоянного и переменного тока. Путем создания КЗ был получен график изменения тока короткого замыкания. Данную модель в будущем можно использовать для определения параметров электрической сети с целью настройки уставок устройств релейной защиты и исследовать схем такой конфигурации в зависимости от поставленной задачи.

Литература

1. EMTDC Transient Analysis for PSCAD Power System Simulation: User's Guide v4.5 . –Winnipeg, Canada, Manitoba-HVDC Research Centre.
2. PSCAD On-line Help System (Встроенная справка PSCAD).

Сведения об авторах:

Сидиков Хомид Заробекович – старший преподаватель кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита, автоматика и противоаварийная автоматика.

Шахзоди Хасан – 2002 г.р., магистр кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

Холов Шухрат Давлаталиевич – 2002 г.р., магистр кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

ANALYSIS OF THE CONVERSION OF THE COUNTRY'S DISTRIBUTION NETWORKS TO A NOMINAL VOLTAGE OF 20 KV

Ulfatshoeva Sh. I.

Scientific adviser Ismoilov F.O.

Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi

Email address: ismoilovFO@yandex.com

Abstract In this scientific work, the factors of transition to the use of rated voltage of 20 kV in distribution electric networks in the conditions of the Republic of Tajikistan are analyzed. With an increase in the rated voltage of the network, the power loss and voltage in it decrease, and the conductivity increases. However, the possibility of conducting electric networks at a higher rated voltage in our country, taking into account existing conditions, has not been studied so far. In this regard, in this work, the possibilities of a nominal voltage of 20 kV for distribution electric networks will be studied.

Key words: distribution network, rated voltage, loss of electrical energy, voltage loss.

АНАЛИЗ ПЕРЕВОДА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СТРАНЫ
НА НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ 20 КВ

Аннотация. В данной научной работе проанализированы факторы перехода к использованию номинального напряжения 20 кВ в распределительных электрических сетях в условиях Республики Таджикистан. При увеличении номинального напряжения сети потери мощности и напряжения в ней уменьшаются, а проводимость увеличивается. Однако возможность проведения электрических сетей на более высоком номинальном напряжении на территории нашей страны с учетом существующих условий до настоящего времени не изучалась. В связи с этим в данной работе будут изучены возможности номинального напряжения 20 кВ для распределительных электрических сетей.

Ключевые слова: распределительная сеть, номинальное напряжение, потери электрической энергии, потери напряжения.

The distribution network is used for the purpose of transmitting electric energy from low-voltage buses of chain substations (110-220 kV) over short distances to industrial, urban and rural consumers. In other words, their main purpose is the distribution of electrical energy between consumers. The distribution networks of Tajikistan's electric system for industrial, urban and rural purposes are mainly built

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

with a voltage of 6 and 10 kV. Now, when the voltage of 6 kV is gradually (mainly during reconstruction) replaced by a voltage of 10 kV. The rated voltage of 10 kV is more widespread in the country. Networks with a voltage of 6 kV are used in enterprises in the presence of significant loads of electric motors with a rated voltage of 6 kV [1] [2].

Currently, many new industrial, urban and rural facilities are being built in our country. Along with this, a partial reconstruction of the existing electrical networks of individual parts of the electrical system is also being carried out. It is obvious that cable and overhead lines of 6 (10) kV, which are available in most industrial enterprises and in cities, cannot withstand increased electrical loads and in many cases physically wear out. In the energy sector of developed countries, this problem is usually solved by increasing the rated voltage of electric networks. This step allows you to reduce the use of non-ferrous metals and loss of electrical energy, as well as increase the transmission range.

The experience of many developed countries, such as the USA, France, Germany, Italy, Austria, the Russian Federation, etc. analyzing, it can be concluded that when the rated voltage of the distribution network is increased by one step, especially from a voltage of 10 kV to a rated voltage of 20 kV, the following advantages are achieved [1, 2, 5]:

- Increased conductivity of electrical energy with a constant cross-section of the conductor;
- Reduction of technological costs for electricity during its transportation;
- Protection of overhead power transmission protection zones;
- Improving the reliability of power supply;
- Reducing the electrical load of 6-10 kV substation switchgears and eliminating the shortage of electricity in supply centers;

The use of electrical networks with a nominal voltage of 20 kV avoids an improper increase in the area of transformer equipment.

Distribution networks of 20/0.4 kV received rapid development precisely in the eighties and nineties of the last century due to the appearance of improved insulation materials combining minimum weight and dimensions with high efficiency. It should be noted that the design of cables used in 6, 10 and 20 kV networks is almost identical. The difference is manifested only in the thickness of the polyethylene and the protective layer.

The rated voltage of class 20 kV is not typical for the energy sector of Tajikistan. But in our country there is little experience in using rural distribution networks with a voltage of 20 kV.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

In order to implement the decrees and instructions of the President of the Republic of Tajikistan, the Leader of the Nation, dear Emomali Rahmon, during a working visit to Vakhdat on June 4, 2016, the Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan, together with the Korean International Cooperation Agency, implemented an electricity supply project in the village of Romit (villages of Kohu, Devdara, Novaki Poen, Novaki Bolo, Pushandoch, Viston, Dashti mazor, Guskef, Pichef). [3]

Within the framework of this project (construction of power grids in the village of Romit) The Korean Agency for International Cooperation for Energy Supply of the above-mentioned villages is carrying out the construction of the Romit 110/20/10 kV substation (with the installation of a 10 MVA transformer), the construction of about 500 m of a 110 kV power line, 46.75 km of 20 kV power lines, the construction of 0.4 kV (15 km) power lines. Also, within the framework of the project, it is planned to build 9 substations of a 20/0.4 kV transformer in each village with electric energy metering equipment [3].

According to the Ministry of Energy and Water Resources of Tajikistan, the average figure over the past 3-4 years has been 20 billion.kWh /year, on average about 18 billion consumes kWh/year. And by 2030, it is planned to increase electricity production to 42 kWh/year, and electricity consumption in the country will grow to 29 kWh/year by that time. [3]. The implementation of such a forecast requires an improved energy system and efficient power grids with an optimal level of power and electricity losses. However, most of the country's electricity grids, mainly distribution networks, are not in very good condition. A large number of elements of electrical networks are in a worn-out condition, physically and morally outdated. In addition, today the country's energy system is experiencing excessive electricity losses and a very low level of automation.

Therefore, an increase in electrical loads in a country usually leads to technical limitations in existing electrical networks. To supply new cargoes with electricity, we can build new transmission lines parallel to existing transmission lines. However, such a step will not always solve the problem of high-quality power supply to consumers properly.

One of the most promising ways to reduce electrical energy losses in the power grid, as noted above, is to use a rated voltage of 20 kV instead of 6 kV and 10 kV [1].

Taking into account the experience of developed countries and long-term experience in the formation of distribution networks in the Republic of Tajikistan, it is proposed to transfer the nominal voltage of distribution networks from a nominal voltage of 6-10 kV to a voltage of 20 kV. In addition, depending on the above, we

can switch from a four-stage transmission system for the distribution of electric energy (110-35 - (6) 10-0.4 kV) to a three-stage system (110-20-0.4 kV) [1] [5].

In general, such issues require a feasibility study of the chosen option for the reconstruction of the existing 6 (10) kV network with its transfer to a voltage of 20 kV or the option of building new power transmission lines with a voltage of 20 kV.

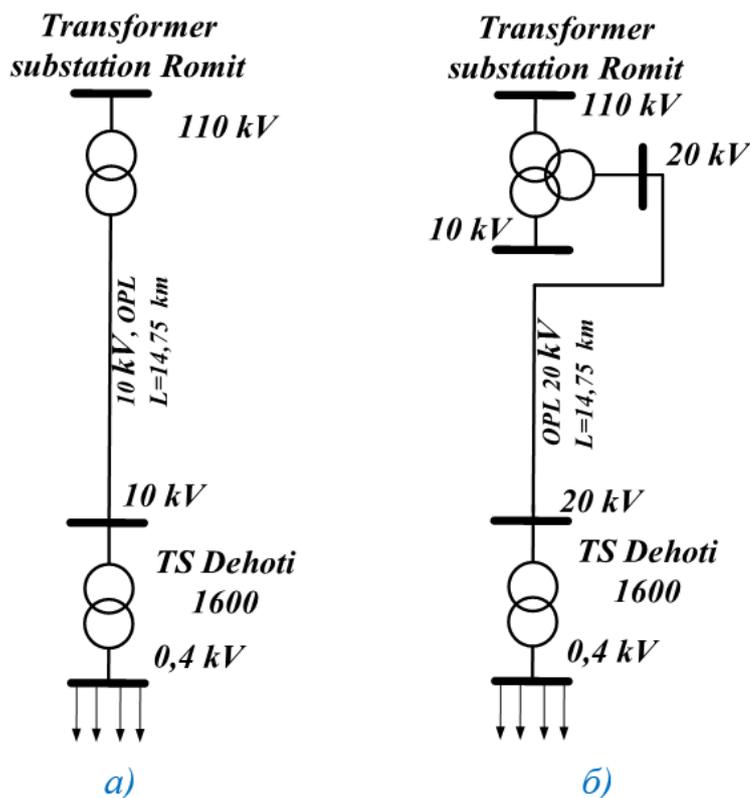


Figure 1 - Diagram of a part of the electrical network for comparison: a) transmission of energy with a voltage of 10 kV; б) transmission of electric energy with a voltage of 20 kV

In the electrical network of the circuit, a comparative analysis of electric energy losses at voltages of 10 and 20 kV was carried out, and the main indicators of the efficiency of using both voltages were determined.

The diagram of the network section for which the losses of electrical energy are calculated is shown in Figure 1. The transformer substation (ZT) is powered from a step-down substation of the circuit with a voltage of 10 kV in the first case and a voltage of 20 kV in the second. The distance from the district substation to the rural consumer substation is 14.75 km, and the total load capacity is 1,472 kVA. In this case, a 1600 kVA power transformer with a voltage of 10/0.4 kV is installed in the first variant, and a transformer with a voltage of 20/0.4 kV is installed in the second variant.

To calculate the main technical parameters of the presented options, the necessary mathematical expressions and formulas given in [5] are used.

The calculation result is shown graphically in Figure 2.

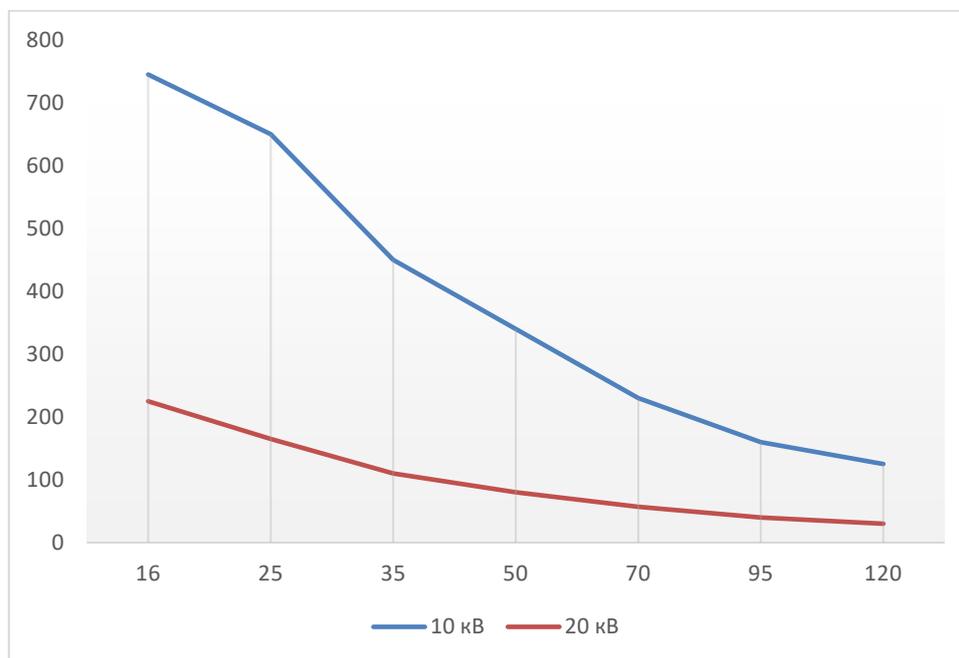


Figure 2-dependence of power losses in 10 kV and 20 kV power transmission lines for different cross sections of AC-shaped conductors

Figure 2 shows the magnitude of electrical energy losses in 10 kV and 20 kV networks. The transverse sections of the cables of the AC brand are located on the absis boom, and the magnitude of the power loss is located on the ordinate boom. According to the results obtained, when switching from a voltage of 10 kV to a voltage of 20 kV, energy savings will amount to 12-15%, and power and voltage losses at a voltage of 20 kV will be 1.52 times lower than at a voltage of 10 kV. During the calculations, it was also found that the density of the electrical load within certain limits, such as urban or rural areas, also positively affects the efficiency of using higher voltage [2] [5].

The conductivity of the power transmission line at constant electrical load is calculated for rated voltages of 10 kV and 20 kV. Based on the results of these calculations, it was found that the conductivity of a 20 kV power transmission line is almost twice as high as the conductivity of the same 10 kV line. For example, HIE at a voltage of 20 kV with a cable cross-section of 95 mm² is capable of transmitting a full power of 11418 kVA, whereas for HIE at a voltage of 10 kV this value is 5709 kVA. This is considered a very important advantage of the 20 kV voltage as the rated voltage of the distribution network. Especially in the conditions of the Republic of

Tajikistan, when both in industry and in everyday life, electricity consumption increases every year.

As part of the above calculations, it was also found that with a constant electrical load, the cable cross-section at a voltage of 20 kV will be almost 2.95 times smaller than the cable cross-section at a voltage of 10 kV.

It should be noted that from the point of view of circuits and layout of switchgear, transformer substations with a voltage of 20 kV and 6-10 kV belong to networks of the same class. Transformers, sockets, cabinets of complex switchgear and other 20 kV voltage devices are complex, complete and comparable in size to 6 (10) kV equipment [4].

For a comparative economic assessment of the proposed options, the total discounted costs are used as one of the indicators, representing a combination of capital investments and costs during the life of the facility:

$$Z = \sum_{t=1}^{T_{\text{жизн}}} Z_t (1 + E_{\text{м.м.}})^{-t} = \sum_{t=1}^{T_{\text{жизн}}} (K_t + I_t) \cdot (1 + E_{\text{м.м.}})^{-t} \quad (9)$$

here is the

Z - amount of discounted expenses;

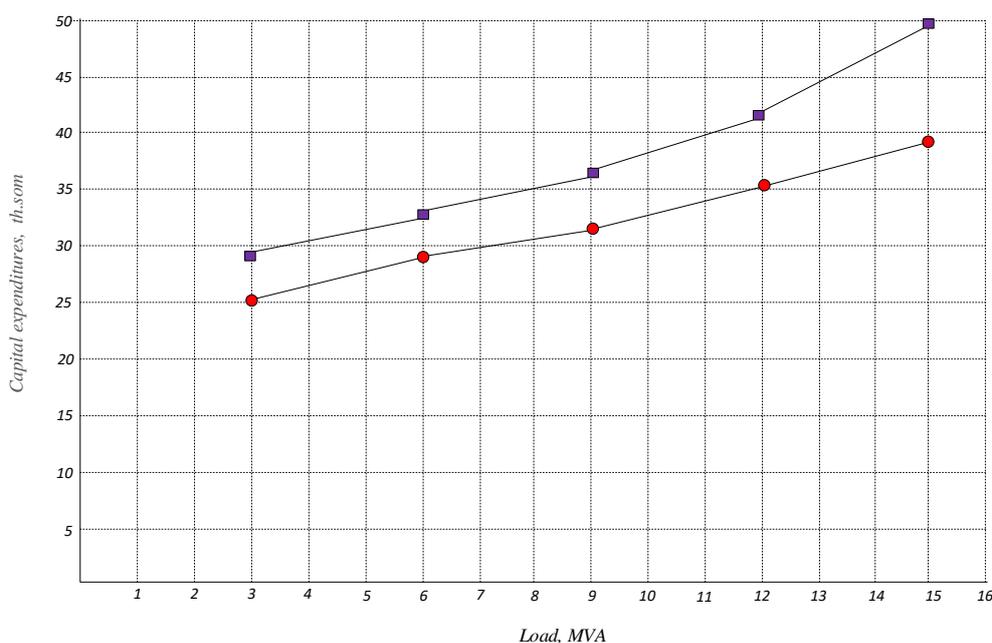
K_t - basic costs per year T ;

I_t – operating costs per year t ;

$E_{\text{м.м.}}$ - discount rate;

t - years of manufacture and dosage of equipment;

T_{calc} - calculation is the service life of the object.



ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Figure 3 – Total capital costs for the construction of power lines with rated voltage of 10 kV and 20 kV in rural areas

According to the results of calculations, it was found that the option of power supply to the consumer with a rated voltage of 20 kV will be approximately 1.75 times cheaper than the option with a rated voltage of 10 kV. This figure increases taking into account the trend of rising electricity costs and an increase in the density of electrical loads in the country.

Recent messages

Based on the results of a comparative analysis, as well as calculations of the effectiveness of using a rated voltage of 20 kV in our country, the following conclusions and recommendations were made:

1. The use of 20 kV voltage in urban power grids for the electrification of new areas is certainly considered economically advantageous.
2. An increase in the cost of electrical energy and an increase in the density of the electrical load increase the advantage of a voltage of 20 kV [2].
3. The use of a rated voltage of 20 kV for the power supply of industrial enterprises is limited. On the territory of industrial enterprises, a nominal voltage of 20 kV is accepted as the voltage of the internal power supply system of the enterprise only if there is no electrical load of 6 or 10 kV at the industrial enterprise.
4. Taking into account the above, it can be determined that the efficiency of using a rated voltage of 20 kV in the distribution networks of our country will be even higher if such a project is implemented in places with a high density of electrical loads [4].

Thus, in order to switch to the construction of industrial, urban or rural networks of voltage class 20 kV, a number of mandatory conditions must be met:

1. Development of new national standards and technical regulations;
2. Development of a concept for the development of 20 kV networks on the territory of a specific industrial enterprise or locality, implementation of a feasibility study for the construction of electric grids;
3. Availability of switchgears and other elements of electrical networks with a nominal voltage of 20 kV on the market.

REFERENCES

1. Цыганенко Б. В. Перспективы перевода распределительных сетей Украины на номинальное напряжение 20 кВ. ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. / Наукові праці ВНТУ, 2016, № 1.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. Андреев В.А., Горбунов И.Н., Захаренко С.Г., Малахова Т.Ф. Применение класса напряжения 20 кВ/ Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая» /Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева г. Кемерово.- 19-22 апреля 2016 г.

3. Official website of the Ministry of Energy and Water Resources of the Republic of Tajikistan www.mewr.tj.

4. Асташев Д. С., Бедретдинов Р. Ш., Кисель Д. А., Соснина Е. Н. /Применение напряжения 20 кВ для распределительных электрических сетей России. Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород. -2015г.

5. Исмоилов Ф.О., Гулмуродзода С.Г., Саидзода Х.С., Чамолзода Б.С., Ниёзӣ С.Р. // Тадқиқоти самаранокии истифодабарии шиддати номиналии 20 кВ дар шабакаҳои электрикии тақсимоти Чумхурии Тоҷикистон/ Паёми политехникӣ. Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ. Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. – Душанбе: ДТТ, 2023, №4 (64). – С. 11-17, ISSN 2520-2227

AUTHORS' BACKGROUND

Ulfatshoeva Shabafruz Ikbolshoevna -1st year Master's degree in specialty 430103 – "Power supply" (by industry) of the Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi.

ЭНЕРГИЯСАРФАКУНӢ ДАР РӢЗГОР

Балаев М.А., Гулмуродзода С.Г

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

E-mail: muhamad65.balaev@mail.ru

Аннотатсия. Дар ин мақола масъалаи таҳлили энергиясарфакунӣ дар рӯзгор ва тарзи истифодаи дурусти қабулкунакҳои энерегияи дар рӯзгор истифодашаванда ва чорабиниҳо оиди кам намудани харҷи энергия дар рӯзгор оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: энергиясарфакунӣ, қабулкунаки электрикӣ, рӯшноӣ, чароғҳои каммасраф, талафот.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ

Аннотация: в данной статье рассматривается вопрос энергосбережения в быту, а также способы правильного использования энергоприемников, используемых в быту, и меры по снижению затрат энергии в быту.

Ключевые слова: энергосбережение, электроприемник, освещение, энергосберегающие лампы, потери.

Дар стратегияи рушди Энергетика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар баробари сохтмон ва таҷдиди сарчашмаҳои энергия ба энергиясарфакунӣ ва самаранокии энергия, диққати асосӣ дода мешавад.

Вобаста аз тағйирёбии муносибатҳои иқтисодӣ масъалаи энергиясарфакунӣ дар системаи электротаминкунӣ нақши калидиро мебозад.

Энергиясарфакунӣ дар системаи электротаминкунӣ дар айни замон яке аз самтҳои муҳими сиёсати энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон, ҳисобида мешавад. Маҳз вобаста аз ин истифодабарии асбобҳои энергиясарфакунанда, технология ва маводҳо ва инчунин тадбиқи сарчашмаҳои алтернативии энергияи электрикӣ аз ҷиҳати экологии тоза пешбини гардидаанд.

Дар айни замон истифодаи энергияи электрикӣ қисми муҳими таркибии раванди дилхоҳи технологӣ дар истеҳсолот ва зиндагонии ҳамаҷуз мебошад. Истифодабарандагон албатта бевосита онро истеъмол наменамоянд, лекин онро тавассути таҷҳизот ва системаҳои ҳархелаи техникӣ, ки занҷири электрикӣ мавҷуд аст, иҷро менамоянд.

Зиёда аз 60 % таҷҳизоти шабакаҳои тақсимоти ва зернеругоҳҳои электрикӣ ба таъмири доимӣ ва асосӣ зарурат доранд. Ин боиси афзоиши талафоти энергияи электрикӣ мегардад. Дар айни замон талафоти энергияи

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

электрикӣ дар шабакаҳо 18,31 % [1]-ро ташкил менамояд, ки он бояд 8-10 % -ро ташкил намояд. Бинобар ин зарурати беҳтар намудани ҳолати шабакаҳои интиқолдиҳанда ва тақсимкунанда ба миён меояд. Ба ғайр аз ин шабакаҳои интиқоли гармӣ низ фарсуда гардида якҷоя бо маркази барқию гарми бояд, таҷдид карда шаванд.

Бо беҳтар гардидани сатҳи зиндагонии аҳоли истеъмоли энергияи электрикӣ дар самти маишӣ рӯз аз рӯз зиёд мегардад. Истеъмолкунандагони маишӣ дар айни ҳол яке аз истеъмолкунандагони асосии энергияи электрикӣ дар бахши энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба ҳисоб мераванд. Тибқи маълумотҳо қариб 40 % энергияи электрикии истеҳсолшавандаи энергия дар ҷаҳон ва 37 % захираҳои электрикӣ дар биноҳои истиқоматӣ ва ҷамъиятӣ истифода мешаванд. Қариб 40 % фоизи истеъмоли энергияи электрикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ба бахши аҳоли рост меояд [1].

Бо мақсади истифодаи самараноки энергияи электрикӣ Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон қарор қабул намуд, ки истифодаи ҷароғҳои тафсон манъ гардида, ба истифодаи ҷароғҳои каммасраф гузаштанро тавсия медиҳад. Бо мақсади тадбиқи ин қарор дар ҚТ якҷанд корхони истеҳсоли ҷароғҳои каммасраф бунёд гардида, нуқтаҳои қабул барои нобуд намудани ҷароғҳои тафсон, кушода шудаанд. Талаботи рӯзафзун барои таҷҳизоти техникаи электрикии маишӣ ба назар гирифта шуда барои истифодаи самараноки асбобҳои электрикӣ стандарти СК РТ ГОСТ Р 51388-2010 “Энергиясарфакуни. Ахборот оиди энергиясамаранокии маҳсулоти таъиноти маишӣ ва коммуналӣ” коркард гардидааст

Истеъмоли энергияи электрикӣ дар бахши рӯзғор сол ба сол афзоиш ёфта, арзиши энергияи электрикӣ зиёд мегардад. Сабабгори ин аз як тараф агар асбобҳои электрикии нави тавононашон нисбатан калон бошад аз дигар тараф, хароҷоти беҳудаи истеъмолкунандагон мебошад. Хонаи истиқоматии ҳозираро мо бе дахҳо техникаи маишӣ тасавур карда наметавонем.

Пеш аз он, ки масъалаи сарфаи энергияи электрикиро таҳлил карда бароем, дида мебароем ки энергияи электрикӣ дар хона ё устоки намунавӣ чи гуна истифода мешавад (Ҷадвали 1).

Дар ин ҷо мо баъзе омилҳои сарфакунии энергияро дар хона дида мебароем. Гарчанде дар мадди аввал мо энергияи электрикиро дар хона сарфа кунем ҳам, лекин бо иҷрои ҷорабиниҳои дар поён баррасишаванда мо метавонем то 30 % ва аз ин ҳам зиёд энергияи электрикиро сарфа намоем. Дида мебароем, ки барои ин чи кор кардан зарур аст.

1. *Истифодаи дурусти рӯшноӣ дар хона.* Рӯшноии хона аз рӯшноии табиӣ ва сунъӣ иборат аст. Барои беҳтар намудани рӯшноии сунъӣ тирезаҳоро

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

дар хона дуруст гузошта ва дар мавриди таъмири хона ба истифодаи ранги девори хонаҳо низ диққат додан зарур аст, яъне қобилияти рушноииникоскунии деворҳо баланд бардошта шавад. Хонаҳои деворҳояшон равшан нисбат ба деворҳои торик, рӯшноии камтарро талаб менамоянд. Ба сифати рӯшноии сунъӣ чароғпояҳо истифода мешаванд.

Ҷадвали 1. Қиматҳои миёнаи тавоноии истеъмолкунандагони рӯзгор

Асбоб	Таво ни, Ватт	Мӯҳл ати пайвасти шабонарӯзи , соат	Истеъм оли моҳона кВт.с	Хароҷ оти моҳона. (30,75 дирам кВт.с)
8 лампа, бо тавоноии 15ватт	120	10	36	11,07
Телевизор	100	10	30	9,22
Компютер	200	10	60	18,45
Чойники электрикӣ	2000	1	60	18,45
Яхдон	500	15	225	69,18
Дарзмол	1500	0,5	75	23,062
Мошинаи чомашӯй	2500	2	150	46,125
Чангкашак	700	0,5	10,5	3,23
Кондицион ер	2500	4	300	92,25
Миксер	450	0,3	4	1,23
Тафдони электрикӣ	2500	2,5	187,5	57,65
Микровалн овка	1000	1	30	9,22
Термекс	1500	6	270	83,025
Ҷамағӣ	1557 0		1438	442,18 5

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Дар айни замон истифодабарии чароғҳои тафсон манъ гардида чароғҳои каммасраф марида истифодабарии қарор доранд. Чунки истифодабарии чароғҳои каммасраф нисбат ба чароғҳои тафсон 4-5 маротиба самараноктар буда, муҳлати истифодабарии онҳо низ зиёдтар мебошад. Як чароғи каммасрафи иқтидори 20 Вт баробар ба чароғи 100 Вт тафсон, рӯшноии медиҳад. Инчунин боя таҷҳизоти системаи автоматикии идоракунии рӯшноии истифода шавад.

2. Сарфаи энергияи электрикӣ ҳангоми истифодаи асбобҳои рӯзгор.

Дар айни замон дар хонаҳои истиқомати миқдори зиёди техникаҳои маишӣ ба монанди телевизор, аудиосистема, магнитофон ва дигар таҷҳизоти истифода мешаванд. Барои баҳисобгирии сарфаи энергияи электрикӣ ҳисобкунакҳои муосирӣ электронӣ тадбиқ шуда истодаанд. Дар ҳолати интизори гузоштани техникаҳои рӯзгор ба монанди телевизор, зарядгири телефонӣ мобилӣ, ба ҳисоби миёна дар як соат 10 ватт энергияи электрикиро истеъмол менамоянд. Дар ҳар як хона на камаш се чор телефони мобили мавҷуд аст, ки давра ба давра онҳо заряднок карда мешаванд. Дар бисёр ҳолатҳо мо заряддиҳандаҳои телефони мобилиро ба шабака пайваст намуда, истифода ҳам набарем аз шабака хомӯш наменамоем, ки он дар ҳамин ҳолат низ онҳо энергияи электрикиро истифода менамоянд. Беҳтараш ки онҳо аз шабака ҷудо карда шаванд, зеро ки ҳам қувваи барқро истеъмол менамоянд ва ҳам сабабгори сӯхтор низ шуданашон мумкин аст.

Компютерҳо. Дар айни замон ягон хона ё ин ки ташкилот ва офис бе компютер тасаввур кардан намешавад. Дар ҳолати истифода набурдан компютер бояд хомӯш карда шавад. Баъзе аз компютерҳо дар ҳолати интизори аз яхдони хурд энергияи электрикиро зиёдтар истеъмол менамоянд. Агар хомӯш намудани компютер аз ҷиҳати техникӣ ғайриимкон бошад, монитор бояд хомӯш карда шавад, ки зиёда аз 50 % қувваи барқ сарфа карда мешавад. Дар компютер речаи хобро гузоред, ки баъди 5 дақиқа агар он истифода бурда нашавад, хомӯш гардад, ки тақрибан 50 % энергия сарфа мешавад.

3. Сарфаи энергияи электрикӣ дар ошхона. Сарфаи энергияи электрикӣ дар ошхона дар масъалаҳои умумии чорабиниҳои энергиясарфакунӣ дар хона яке аз масъалаҳои асосӣ ҳисобида мешавад. Аз миқдори умумии энергияи харҷшаванда дар хонаҳои ҳозирзамон сеяки он (ҷадвали 1) барои таъминоти ошхона сарф мешавад. Мутаасифона надонистани усулҳои соддатарини сарфаи энергияи электрикӣ ба харҷи беҳудаи буҷаи оила меоварад. Барои кам намудани хароҷоти энергияи электрикӣ хусусиятҳои истифодаи асбобҳои электрикиро дида мебароем.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аз ҳама қабулкунаки энергияи иқтидори калон дошта тафдони электрикӣ мебошад, ки дар як моҳ ба ҳисоби миёна 187,5 кВт.с истеъмол менамояд, ки ба 57,65 сомони баробар меояд(чадвали 1).

Барои истифодаи самараноки тафдони электрикӣ зарур аст, ки тавоноии он пас аз чӯшидани об, паст карда шавад. Зеро ки зиёда аз 100⁰С об дигар гарм намешавад. Лекин ҳангоми зиёд чӯшидан он бисёр тез буғ шуда, қариб 0,6 кВт.с энергияро барои чӯшидани ҳар 1 литр об сарф менамояд. Бисёр тафдонҳои электрикӣ бо танзимкунандонаи бисёрзинаи тавоноии аз 4-7 ҷихозонида шудаанд. Истифодаи васлағйирдиҳандаи зинағй харчи энергияро 5-12 % ва безинағй боз 5-10 % кам менамояд. Сари вақт иваз накардани тафдони вайрон харчи энергияи электрикиро 3-5 % зиёд менамояд[2]..

Ба ғайр аз ин зарфи истифодашаванда бояд ба қутри тафдон мувофиқат намояд. Асбобҳои махсус барои омода намудани хӯрок истифода шаванд. Ин асбобҳо барои тайёр намудани хӯрокҳои ҳархела пешбинӣ шудаанд. Тадбиқи тоба тақрибан се маротиба вақти омода намудани таомро кам менамояд. Харчи энергияи электрикӣ дар ин ҳолат ду маротиба кам мешавад.

Зарурати интиҳоби речаи самараноки кори қутти ҳавокашро доништан зарур аст.

Ҳангоми чӯшонидани об дар чойник ё ин ки қаҳвачӯшонак, ҳаҷми камтарини оби заруриро истифода намудан зарур аст. Қайд намудан зарур аст, ки чӯшонидани чойники бо об пур кардашуда якҷанд маротиба дар шабонарӯз барои омода намудани ду косаи нӯшоки, хеле пурхарҷ мебошад. Ҳангоми истифодаи чойник тағй он аз қарахш пур мешавад. Қарахш бояд доимӣ аз чойники электрикӣ тоза карда шавад. Қарахш гирди элементи гармкунандаро бо парда пӯшонидани, аз сабаби гармигузаронии кам доштани боиси дер гарм шудани об мегардад. Истифодаи микроволновка нисбат ба тафдон 50 % энергияи электрикиро сарфа менамояд.

4. *Сарфаи энергияи электрикӣ ҳангоми истифодаи асбобҳои электрикии рӯзгор.* Дар хона яхдон наздики 3%-5% аз истеъмоли умумии энергияро истеъмол менамояд. Барои сарфа намудани истеъмоли энергияи электрикӣ аз ҳисоби истифодабарии яхдон амалҳои зеринро иҷро намудан мумкин аст: мунтазам об намудани ях; дар дохили яхдон дар сатҳи 3-5⁰С ва дар қисмати яхкунонандани аз – 15⁰С то - 18⁰С танзим намудани ҳарорат; байни қисми ақиби яхдон ва девор гузоштани масофа ба дараҷаи кофӣ барои гардиши осони ҳаво; хӯрок бояд аввал хунук карда шуда сипас дар яхдон гузошта шавад; давра ба давра чанг аз гармимубодилакунанда бояд тоза карда шавад, ки ин мубодилаи гармиро беҳтар намуда талафи энергияро кам менамояд[2].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Мошинаи ҷомашӯи – яке аз мошинаҳои автомати каммасраф мебошад, ки пайваст ва хомӯш кардан қатъиян тибқи барнома иҷро карда мешавад. Онҳо барои шустани миқдори муайяни яквқтинаи бор пешбини гардидаанд. Аз меъёр зиёд пурбор кардани мошина мумкин нест чунки кори мотор вазнин гардида либосҳо тоза шуста намешаванд. Аз меъёр кам бор кардани либос низ дар мошин боиси сарфаи энергия намегардад, чунки ними тавоноии мошин барои ба таври холи гардиш додани об дар зарф харҷ шуда, либос тозатар намешавад. Тақрибан 90 % энергияи сарфшаванда дар мошинаи ҷомашӯи на барои раванди шустушӯ, балки барои гарм кардани оби хунук сарф мешавад. Дар ин ҷо ягон кас фикр ҳам намекунад, ки бо оби гарм танҳо либосҳои нисбат чиркин ва барои нест кардани доғро, шустан зарур аст. Бо оби гарм танҳо дар ҳолати зарурат либосҳоро шӯед. Дар дигарт ҳолатҳо оби хунукро истифода баред ва ҳамон самараро дарёфт намуда энергияи электрикии зиёдеро сарфа менамояд.

Барои кори самараноки чангкашак зарур аст, ки чангчамъкунак сари вақт тоза карда шавад. Полоянда бо чанг маҳкам гардида кори чангкашакро мушкул намуда, кашиши ҳаворо кам менамояд, ки барои тоза кардан вақти зиёд сарф гардида, боиси харҷи зиёди энергия мегардад.

Адабиёт

1. Омори солони Ҷумҳурии Тоҷикистон 2023.
2. Кораблев В.П. Экономия электроэнергии в быту. – Москва, «Энергоатомиздат», 1987.
3. Поспелова, Т.Г. Основы энергосбережения.- МинскУП «Технопринт», 2000.-353 с
4. Лацис О. Р. Солнце в доме. – Москва, «Советская Россия», 1982.
5. Поспелова, Т. Г. Основы энергосбережения. – Минск : УП «Технопринт», 2000. – 353

Маълумот оиди муаллифон:

Балаев М.А. – доцент кафедраи электротаминкунӣ, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ

Гулмуродзода С.Г – муаллими калони кафедраи электротаминкунӣ, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

СИММЕТРИ НАМУДАНИ РЕҶАИ ХАТИ БАҶ БО ЁРИИ УНСУРҶОИ ИНДУКСИЯИ ТАРАФАЙН

Гулмуродзода С.Г.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

[E-mail:jononaev.87@mail.ru](mailto:jononaev.87@mail.ru)

Аннотатсия. Дар ин мақола масъалаи қабули ҳалли техникӣ, ки оиди симметрикунонии реҷаи муқаррарӣ дар хати ҷойивазнашуда алоқаманд мебошад ва дар дар охири хат байни фазаҳои канорӣ гузоштани унсурҳои индуксияи тарафайн (УИТ) асос ёфтааст, дида баромада мешавад. Дар шароитҳои мушкили гузариши самти равиши хат (кӯҳистон ё маҳали ботлоқзор) сутунҳои ҷойивазкунанда ба таври қатъи хати ҳавоиро мураккаб ва гаронарзиш менамоянд. Тибқи таҷрибаҳои бисёрсолаи лоиҳакашӣ ва истифодабарии хатҳои ҳавоӣ, ҷойивазкунӣ устувори механикӣ ва электрикии хатро суст намуда, илова бар ин арзиши сохтмон ва истифодабарии хатро зиёд менамояд.

Калидвожаҳо: индуксияи тарафайн, ҷойивазкунӣ, фазаҳои канорӣ, истифодабарии хат, матриса.

СИММЕТРИРОВАНИЕ РЕЖИМА ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ

Аннотация: В данной статье обсуждается проблема, связанная с техническое решение для симметрирования нормального режима в нетранспонированной линии, основанное на установке в средней части или по концам линии элементов взаимной индукции между крайними фазами.

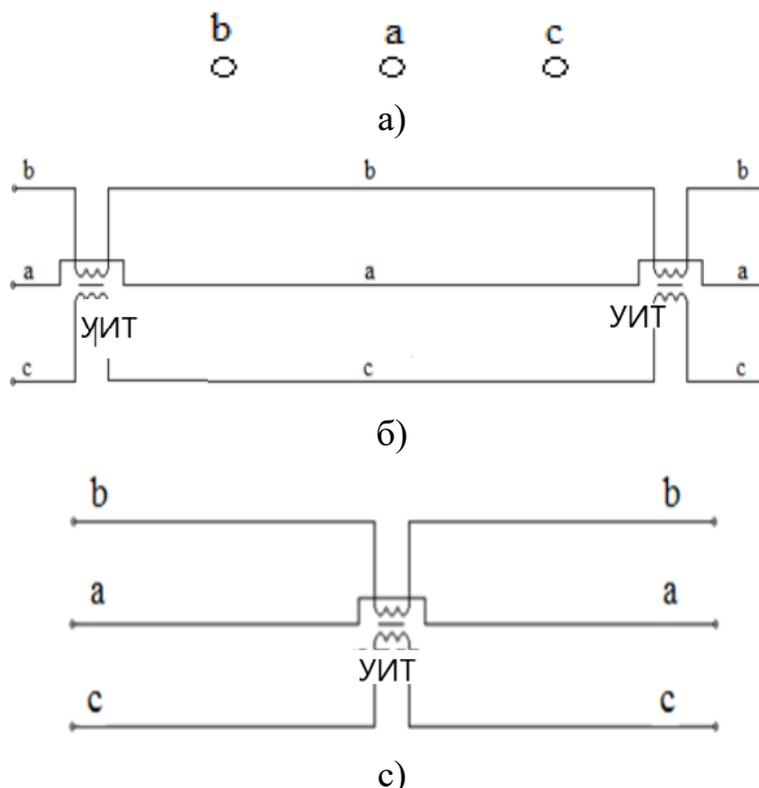
В тяжелых условиях прохождения трассы (горная или болотистая местность) транспозиционные опоры существенно усложняют и удорожают линию. Как показал многолетний опыт проектирования и эксплуатации линий электропередачи, транспозиция ослабляет механическую и электрическую прочность линий, вызывая вместе с тем увеличение стоимости сооружения и эксплуатации линий.

Ключевые слова: симметрирования нормального режима, нетранспонированной линии, элементов взаимной индукции, крайними фазами, транспозиция.

Дар [1,2] қарорҳои бесобиқа барои симметрикунонии нишондиҳандаҳои хат пешниҳод гардидаанд, ки боиси содда намудани сохти хаттӣ сефаза ва кам намудани муқовимати тарафайн мегардад. Моҳияти қарор аз он иборат аст, ки

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

дар хати дар фаза бо фазаҳои уфуқӣ ҷойгиршуда (расми 1а) симметрикунонии реча аз ҳисоби дар охири хат байни фазаҳои канори гузоштани унсурҳои индуксияи тарафайн(УИТ), иҷро карда мешавад. Дар кор дигар варианти гузоштани УИТ дар қисми миёнаи хат (расми 1 б) низ дида мешавад. УИТ доимо пайваст буда, зарби несимметрияро ҳам бо пайдарпайии баръакс ва ҳам пайдарпайии сифрӣ паст менамояд.



Расми 1. Симметрикунонии реча бо истифодаи унсурҳои индуксияи тарафайн: а- ҷойгиршавии уфуқии фазаҳои хат; б- гузоштани УИТ дар охири хат; в- гузоштани УИТ дар қисми мобайни хат

Дар хатҳои ҷойивазнашуда фарқиятҳои хеле калон барои муқовимати индуксияи тарафайн байни фазаҳои канорӣ ва байни фазаи миёна ва фазаи канорӣ мачуданд:

$$\Delta X_{\ell} = (X_{\max} - X_{\min}) \cdot \ell \quad (1)$$

Дар ин ҷо X_{\max} – муқовимати индуксияи тарафайн байни фазаи миёна ва фазаи канорӣ ($X_{ab} = X_{bc}$);

X_{\min} – муқовимати индуксияи тарафайн байни фазаҳои канорӣ (X_{bc});

ℓ – дарозии хат.

Ин фарқият сабаби асосии несимметрия дар хат мебошад.

Гузоштани унсурҳои индуксияи тарафайн(УИТ) дар охири хат

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Пайвасти УИТ дар охири хат муқовимати умумии индуксияи тарафайнро байни фазаҳо барои хат, баробар менамояд. Муқовимати УИТ чунин интиҳоб карда мешавад, ки сатҳи минималии несимметрияро, таъмин намояд

$$X_{\text{УИТ}} = \xi \cdot \frac{\Delta X_{\ell}}{2}, \quad (2)$$

Дар ин ҷо ξ – зарбкунанда, ки бо қимати мувофиқи он сатҳи минималии несимметрия ҷой дорад.

Матрисаи УИТ мувофиқан чунин навишта мешавад

$$Z_{\text{УИТ}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \xi \cdot \frac{\Delta X_{\ell}}{2} i \\ 0 & \xi \cdot \frac{\Delta X_{\ell}}{2} i & 0 \end{vmatrix}.$$

Матрисаи пурраи УИТ шакли зеринро дорад:

$$MZ_{\text{УИТ}} = \begin{vmatrix} 1_3 & Z_{\text{УИТ}} \\ 0_3 & 1_3 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

Дар ин ҷо $1_3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$ – матрисаи ягонаи тартиби сеюм;

$0_3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$ – матрисаи сифрии тартиби сеюм.

Пас матрисаи хатҳои ҷойивазнашаванда бо назардошти УИТ қатъиян чунин навишта мешавад

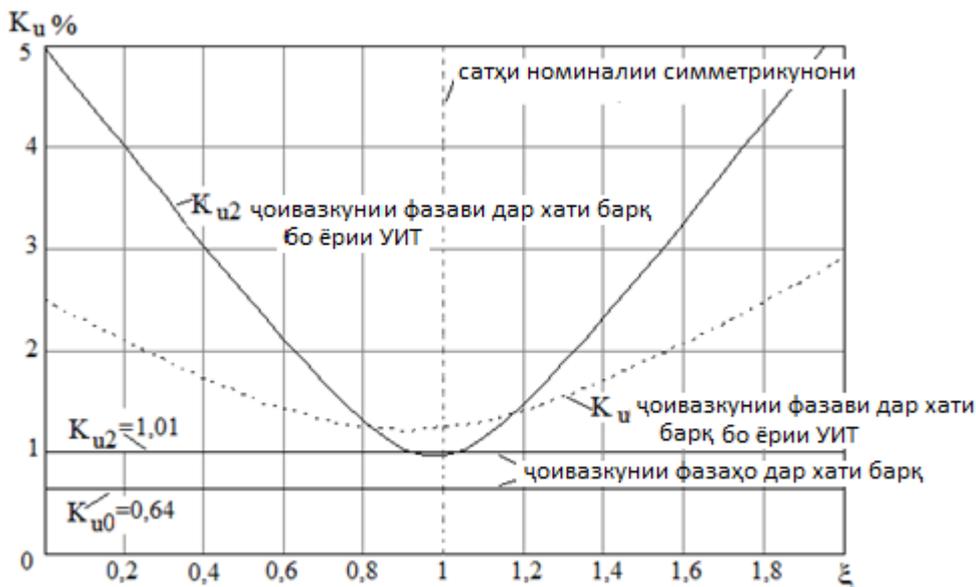
$$M\Sigma_{\phi} = MZ_{\text{УИТ}} \cdot M_{\phi} \cdot MZ_{\text{УИТ}}, \quad (4)$$

Дар ин ҷо M_{ϕ} – матрисаи хатҳои ҷойивазнашаванда.

Сипас алгоритме истифода мешавад, ки дар боло дида баромадем ва таҳлили несимметрия дар схемаи УИТ оварда мешавад. Дар расми 2 вобастагии зарби несимметрия аз зарбкунанда ξ дар хати шиддати 500 кВ ва дарозии 500 км оварда шудааст. Барои ин хат қимати муносиби зарбкунанда $\xi_{\text{мул}} = 1,05$ мебошад. Ба ҳисоб гирифта, ки $\Delta X_{\ell} = 21,5$ Ом, мутаносибан ҳосил менамоем, ки ҳангоми $\xi_{\text{онт}} = 1,05$ муқовимати муносиб $X_{\text{УИТ}} = 11,3$ Ом мебошад. Дар ин

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ҳолат зароби несимметрия аз пайдарпайии баръакс ва сифрӣ чунин мебошад $k_{22} = 1,04\%$, $k_{20} = 1,35\%$, ки аз сатҳи ҷоизи несимметрия аз 2 % зиёд нест.



Расми 2. Ввобастагии зароби несимметрия аз зарбкунанда ξ ($P=1000$ МВт, $\ell=500$ км)

Тавре ки аз расми 2 бармеояд, коэффитсиентҳо барои пайдарпайии баръакс барои ҷоивазкунии фазаҳо ва ҷоивазнакунии фазаҳо (ҳангоми истифодаи УИТ) тақрибан дар як сатҳ мебошанд.

Ҳангоми тағир додани дарозии хати барқ, арзиши зиёдкунанк аптималӣ бетағйир боқӣ мемонад. Ва ин маънои онро дорад, ки муқовимат ва тавоноии УИТ вобаста ба дарозии хати барқ тағир меебад.

Ҳамин тариқ, насби УИТ дар охири ХБ имкон медиҳад, ки сатҳи несимметрияро дар ҳолати муқаррарӣ дар сатҳи иҷозатдодашуда барои хатҳои шиддати баланд дар дарозии гуногуни онҳо таъмин кунад.

ХУЛОСА

Ҳалли техникӣ барои симметриякунони речаи муқаррарӣ дар хатти интиқоли энергия ҳангоми ҷойивазнакунии фазаҳо, ки ба насби унсурҳои индуксияи тарафайн байни фазаҳои канорӣ дар миёнаи ё дар охири хат асос ёфтааст, пешниҳод гардидааст.

Насби унсурҳои индуксияи тарафайн дар ҷои истифодаи сутунпоии ҷоивазкунии фазази тибқи ҳисобҳои пешакӣ 30–35% арзонтар аст, ки ин самаранокии иқтисодии ин усулро нишон медиҳад.

Таҷрибаи истифодаи хати барқ нишон дод, ки мавҷудияти сутунпоии ҷоивазкунии фазази номатлуб аст, зеро он ба коҳиши эътимоднокии хати барқ

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

оварда мерасонад, гузаронидани озмоишҳои пешгирикунанда ва амалияти таъмиро дар онҳо душвор мекунад.

АДАБИЁТ

1. Зильберман, С. М. Симметрирование нормального режима в трёхфазных ВЛ сверхвысокого напряжения [Текст] / С. М. Зильберман, Т. Г. Красильникова, Г. И. Самородов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – №1. – С. 235–237.

2. Красильникова, Т. Г. Анализ несимметричных режимов в дальних электропередачах в фазных координатах [Текст] / Т. Г. Красильникова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – №2. – С. 223–226.

3. Файбисовича, Д. Л. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей [Текст] / под. ред. Д. Л. Файбисовича. – Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009. – 392 с.

4. ГОСТ 32144 – 2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

Маълумот оиди муаллифон:

Гулмуродзода С.Г – муаллими калони кафедраи электротабминкунӣ, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ.

ТАҲЛИЛИ ШИДДАТИ БАРҚАРОРШАВАНДА ВА ЧАРАЁНҲОИ ТАЪМИНОТИ КАМОНӢ ДАР ХАТТИ ҲАВОИИ МАСОФАИ ДУР

Гулмуродзода С.Г. Балаев М.А

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

[E-mail:jononaev.87@mail.ru](mailto:jononaev.87@mail.ru)

Аннотатсия. Дар ин мақола масъалае, ки ба бартараф кардани расиши кӯтоҳ дар хатҳои ҳавоии (ХХ) алоқаманд аст мариди барраси қарор меёбад. Расиши кӯтоҳи якфазаи (РКЯ) ноустувори дар ХХ ба вуҷуд оянда боиси таъсири камтарин ба системаҳои наздик буда мегардад, агар онҳо дар даври пайвасти такрории автоматикии якфаза (ПТАЯ), бартараф карда шаванд. Дар ин ҳолат фазаи вайроншудаи хатро аз ду тараф хомӯш карда, баъд аз фосилаи муайяни вақт, ки таваққуфи бечараён номида мешавад, ба таври автоматӣ такроран пайваст менамоянд.

Калидвожаҳо: хати факултиддат, пайвасти такрории автоматикии якфаза, шиддати барқароршаванда, шиддати фазавӣ, фосилаи бечараёнӣ

АНАЛИЗ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОК ДУГИ ПОДПИТКИ НА ДАЛЬНИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аннотация. В данной статье обсуждается проблема, связанная с ликвидацией коротких замыканий в линии. Возникающие на линии неустойчивые ОКЗ сопровождаются минимальными возмущениями на примыкающие системы, если они ликвидируются в цикле однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ). В этом случае повреждённую фазу линии отключают с двух сторон, а затем через определенное время, так называемую бестоковую паузу, автоматически повторно включают.

Ключевые слова: ликвидация, однофазное автоматическое повторное включение, четырехлучевые шунтирующие реакторы, восстанавливающееся напряжение, вторичный ток дуги.

САРСУХАН

Дар хатҳои интиқоли энергияи дур ба вуҷуд омадани саддама ва аз кор мондани хат пурра аз сабаби дарозии калон доштани он муайян карда мешавад. Дар хатҳои шиддати 500-1150 кВ сабабгори ҳиссаи зиёди хомӯш гардидан, расиши кӯтоҳи якфаза (РКЯ) мебошад.

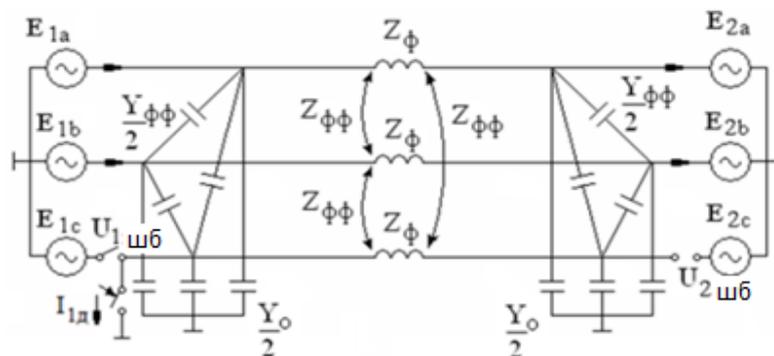
Иҷроиши бобарори ПТАЯ дар хатти интиқоли чараёни тағйирёбанда аз сабаби мавҷудияти таъминоти чараён аз тарафи фазаҳои хомӯшнагардида,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

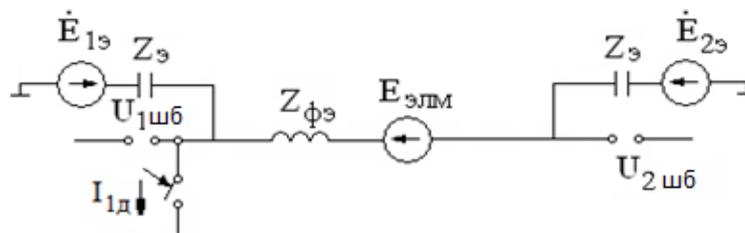
мушкил мегардад. Давомнокии сӯзиши камонаки дуҷумӣ аз дигар омилҳо низ вобастаги дорад, масалан аз ҷараёни аввалаи РКЯ, ки дарозии камонак ва дараҷаи иондор шудани каналӣ он вобастаги дорад ва шароити обу ҳаво, ки ба дарозшавӣ ва хунукшавии камонак таъсир мерасонад, ки дар умум хосияти статикӣ вақти сӯзиши камонакро муайян менамояд.

ТАҲЛИЛИ ШИДДАТИ БАҶҚАРОРШАВАНДА ВА ҶАРАЁНИ ДУҶУМИИ КАМОНАК ДАР ХҲ ИНТИҚОЛДИҲАНДАИ ИДЕАЛӢ

Дар расми 1а схемаи бадала барои ҳисоби шиддати баланд(ШБ) ва камонаки ҷараёни дуҷумӣ (КЧД) баҷқароршаванда ва иловакунандаи шиддат дар хат бо ҷойивазшавии идеалӣ вақте ки муқовиматҳои фазагӣ ва гузаронандагӣ ва инчунин бузургиҳои байнифазагӣ қомилан мутобиқ мебошанд, нишон дода шудааст. Индуктивияти системаҳои наздик буда ба бузургии матлуб андак таъсир мерасонад, бинобар ин системаҳо ҳамчун ҚЭҲ нишон дода мешаванд, ки бо модули ба шиддати қорӣ максимали баробар мебошанд. Муқовимати фаъолро низ метавонем ба ҳисоб нагирем. Пас аз тағирдиҳии на он қадар мураккаб схема ба шакли дар расми 1 б оварда мешавад.



а)



б)

Расми 1. Схемаи пурра ва эквивалентии бадалаи хат ҳангоми ПТАЯ:

а- схемаи бадалаи пурра дар координатаҳои фазагӣ; б-схемаи эквивалентии бадалаи хат.

Аз ҷиҳати методӣ қуллай мебошад, ки аввал таҳлили ШБ дар фазаҳои хомӯшгардида гузаронида шавад ва сипас дар асоси теорема оиди манбаи

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

эквивалентии чараёни камонак барои нуқтаҳои ниҳонии хат, ки қимати калонтарини бузургиҳои матлуб ҷой дорад, чунин муайян карда мешавад:

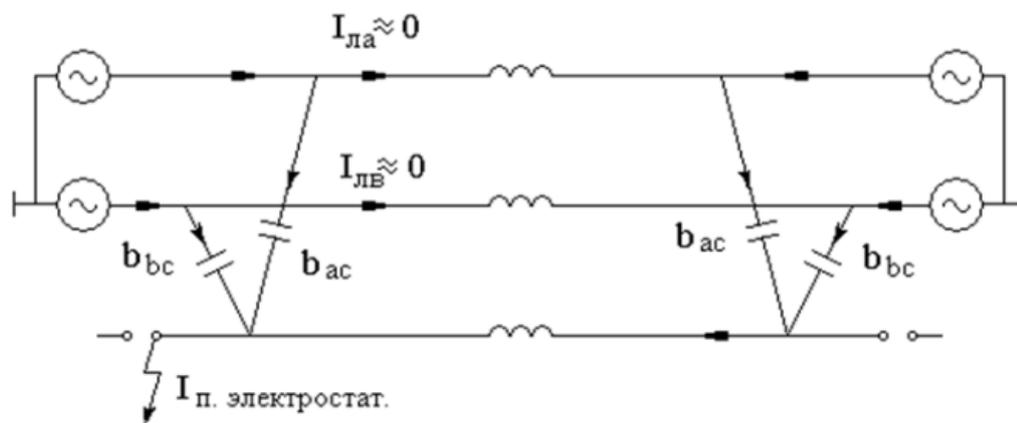
$$I_{1к} = \frac{U_{1ШБ}}{Z_{1дар}}, \quad I_{2к} = \frac{U_{2ШБ}}{Z_{2дар}}$$

Дар ин ҷо $U_{1ШБ}$, $U_{2ШБ}$ -шиддати баланд (ШБ) дар нуқтаҳои мувофиқи хат; $Z_{1дар}$, $Z_{2дар}$ - муқовиматҳои даромади схема нисбат ба нуқтаҳои мутобиқи хат.

Дар расми 2 таъсири кунҷ байни шиддатҳо дар охири хати ҷойивазшавии идеалӣ, ки дар раванди гузориши динамикӣ ва ноил шудан ба қиматҳои (2,0-2,5) δ_0 зиёд мешавад, нишон дода шудааст. Дар ин ҷо δ_0 - кунҷи байни шиддатҳо дар речаи муқаррарии аввала. Дар воҳиди нисбӣ бузургии ШБ қариб аз дарозии хат вобастаги надорад. Агар ба сифати речаи аввала речаи тавоноии аслӣ гирифта шавад, дар ин ҳолат кунҷ барои дарозии ба худ хос аз 30° зиёд намешавад ва дар речаи алвонҷхурӣ на зиёда аз 75° мешавад. Аз ин ҷо маълум мешавад ШБ бо бузургии $U_{1ШБ} = (0,1-0,2)U_\phi$ таҳқиқ карда мешавад.

Ҳангоми таҳлил матлуб аст, ки ташкилдиҳандаи электростатикӣ ва электромагнитӣ барои ШБ ва мувофиқан барои чараёни дуҷуми камонак, ҷудо карда шавад. Ташкилдиҳандаи электростатикӣ бо таъминот аз тарафи фазаҳои дар ҳолати корӣ буда тавассути ғунҷоиши байнифазаӣ муайян карда мешавад. Ташкилдиҳандаи электромагнитӣ бо индуксияи байниҳамдигарии ҚЭХ, ки дар фазаи садамаӣ аз ҳисоби чараёни фазаҳои дар ҳолати корӣ буда пайдо мешавад, муайян карда мешавад.

Дар речаи гашти холӣ, дар ҳолате, ки чараён дар хат қариб ба сифр баробар аст дар чараёни таъминотӣ танҳо ташкилдиҳандаҳои статикӣ мавҷуд мебошанд, ки қиматашон аз сатҳи шиддат дар фазаҳои вайроннашуда ва бузургии гузаронандагии ғунҷоишӣ, муайян карда мешавад.

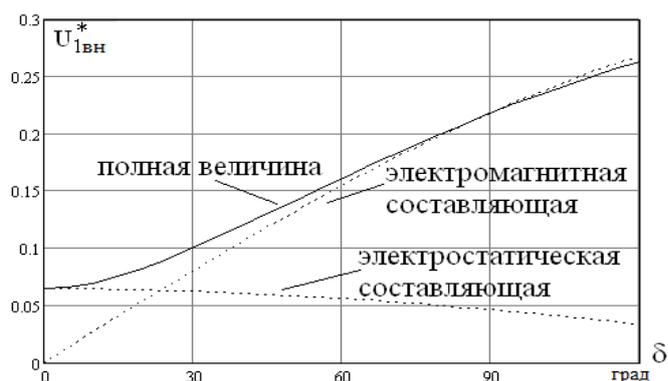


Расми 2. Схемаи тавзеҳдиҳандаи ташкилдиҳандаи электростатикӣ чараёни таъминотӣ

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

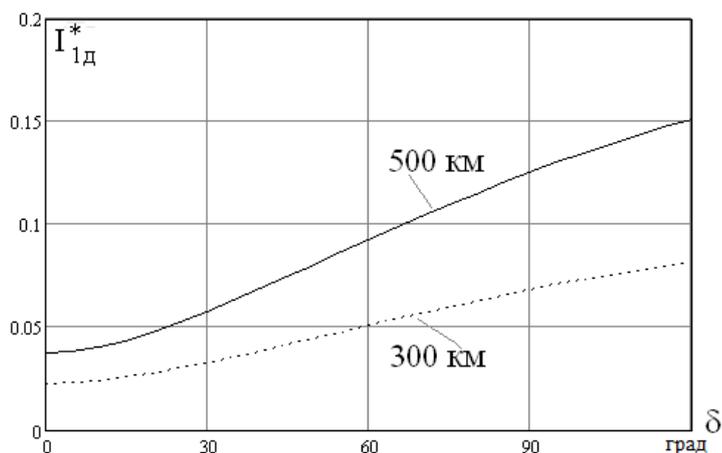
Ҳангоми интиқоли тавонои таввасути хат дар фазаҳои вайроннашуда таввасути ҷараёни фазаҳои вайроннашуда ҚЭХ мегузарад, ки дар зери таъсири он дар контури фазаи саддамавӣ-замин, ки гузаронандагии ғунҷоиширо дар замин пайваст мешавад, ташкилдиҳандаи электромагнитии ҷараёни таъминотӣ, мегузарад.

Дар расми 3 таснифи тағирёбии ташкилдиҳандаи ШБ электростатикӣ ва электромагнитӣ вобаста аз кунҷи байни шиддатҳои ниҳой, нишон дода шудааст.



Расми 3. Вобастагии ШБ ва ташкилдиҳандаҳои он аз кунҷи байни шиддатҳои ниҳой

Агар ШБ дар воҳиди нисбӣ амалан аз дарозии хат вобастаги нашошта бошад дарозии хат ба ҷараёни дуҷоми камонак таъсири асосӣ мерасонад, ки қачхатҳои дар расми 4 овардашуда, тасдиқ менамоянд.



Расми 4. Вобастагии ҷараёни дуҷоми камонак аз кунҷи байни охири ҚЭХ

Дар ҳамаҷумла қиматҳои ҷараёни дуҷоми камонак (ЧДК) бо воҳиди мутлақ барои хатти фавқулшиддат (ФШ) бо дарозии 300 ва 50 км ва $\delta = 0 \div 2\lambda$ дар ин ҷо

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$\lambda = \beta \cdot \ell$ - дарозии электрикии хат. Муқовимати камонак $R = 10 \text{ Ом}$ қабул шудааст, ки ба муқовимати камонаки аввала мувофиқат менамояд

Ҷадвали 1. Ҷараёни дуҷумии камонак барои хатти ФШ бо маълумотҳои аввалаи ҳархела

Шиддати номиналӣ, кВ	Дарозии хат, км	ҶДК, А		
		$\delta = 0$	$\delta = \lambda$	$\delta = 2\lambda$
500	300	62	67	72
	500	107	124	153
750	300	82	84	102
	500	136	171	241

Аз ҷадвали 1 бармеояд, ки қиматҳои бӯхронии ҷараёни камонак зиёда аз 90 А барои ҳамаи хатти ФШ ҷой доранд ва махсусан ҳангоми дарозии онҳо аз 300 км зиёд ва қунҷи майлқунӣ $\delta \geq \lambda$.

Маълум аст, ки барои паст кардани ташкилдихандаи электростатикии ҷараёни таъминоти камонак, зарур аст, ки ғунҷоиши байни фазаҳо пурра ё қисман ҷуброн карда шавад ва барои кам кардани ташкилдихандаи электромагнитӣ, ҷуброни ғунҷоиш дар замин таъмин карда шавад. Ин ҳарду масъала тавассути реактори чорнураи шунтӣ, ҳал карда мешаванд.

Дигар вариант низ барои ташкил намудани шароит, ки хомӯшқунии боэътимоди камонаки дуҷумро таъмин менамояд, мавҷуд аст. Вай аз ба таври автомати шунтиқунонии фаза ба воситаи васлаки зудамали шунтқунанда пас аз хомӯш намудани он тавассути васлаки хаттӣ, иборат аст.

ХУЛЛОСА

Бузургии ҷараёни дуҷумии камонак барои ҳолатҳои дидашаванда барои хаттӣ ҷойи вазқунандаи идеалӣ, дарёфт шудааст. Ҳисобҳои пешакӣ нишон медиҳанд, ки ба назар гирифтани ҷойивазқунии ҳақии хат ҳағноми санҷидани амалиқунии ПТАЯ, шартӣ асосӣ ҳисобида мешавад. ШБ максимали ва иловақунии шиддат ҳангоми ҷойивазқунии ҳақиқӣ 1,5-2,5 маротиба аз қиматҳои муносиб зиёдтар мебошанд дар ҳолате, ки хат ҳамчун ҷойивазқунии ҳақиқӣ нишон дода шавад.

АДАБИЁТ

1. Dudurych I.M., Galagher T.J., Rosolowski E. Arc Effect on Single Phase Reclosing Time of a UHV Power Transmission Line // IEEE Transaction on Power Delivery. – April 2004. – Vol. 19, N 2. – P. 854-860.

2. Зильберман С.М., Красильников Е.Н. Комбинированная поперечная компенсация линий сверхвысокого напряжения // Электричество. – 2012. – №1. С. 19-23.

3. Красильникова Т.Г., Манусов В.З. Анализ токов дуги подпитки в паузу ОАПВ в процессе динамического перехода // Научные проблемы транспорта Сибири и дальнего Востока. – 2009. – №1. – С. 313-316.

4. Красильникова Т.Г. Устройство для повышения эффективности ОАПВ в высоковольтных линиях // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего

Маълумот оиди муаллифон:

Гулмуродзода С.Г – муаллими калони кафедраи электротаминкунӣ, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ

Балаев М.А. достенти кафедраи электротаминкунӣ, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ

CASA-1000 ТАҲКУРСӢ БАРОИ РУШДИ ЭНЕРГЕТИКАИ
ТОҶИКИСТОН

Мирсаидов Д.Б. Воҳидов М.М., Ниёзӣ С.Р.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими, ш. Душанбе,
Тоҷикистон

Email : supergold84@mail.ru

Аннотатсия: Дар мақола нақши CASA-1000 ҳамчун таҳкурсии рушди энергетикаи Тоҷикистон дида баромада шудааст. Баъди ба истифода дода шудани хати интиқоли CASA-1000 садҳо иншооти ҳаётан муҳимми кишварҳои зикршуда бо энергияи сабз таъмин гардида, сатҳи некуаҳволии мардум беҳтар мегардад, коргоҳҳои саноатӣ таъсис меёбанд ва ҷойҳои нави корӣ ташкил карда мешаванд.

Калидвожаҳо: хати интиқоли энергия; лоиҳаи CASA-1000; шиддати баланд, тавоноӣ.

CASA-1000 TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF
TAJIKISTAN'S ENERGY SECTOR

Abstract: The article examines the role of CASA-1000 as the basis for the energy development of Tajikistan. After the commissioning of the CASA-1000 power line, hundreds of vital facilities in these countries will be provided with green energy, the level of people's well-being will increase, industrial enterprises will be created and new jobs will be created.

Key words: power line; project CASA-1000; high voltage, power.

CASA-1000 лоиҳаи арзишманду ояндабинона барои интиқоли 1300 МВт неруи барқ аз кишварҳои Осиёи Марказӣ ба бозорҳои барқи кишварҳои Осиёи Ҷанубӣ мебошад. Лоиҳаи мазкур ҳамчун инфрасохтори бо технологияи замонавӣ мучаҳҳаз ва сохтмони ҷавобгӯ ба талаботи муосир буда, неруи барқи тавассути манбаъҳои барқароршавандаи энергия ҳосилшударо ба кишварҳои Осиёи Ҷанубӣ интиқол медиҳад. Татбиқи ин лоиҳа на фақат барои кишварҳои содироткунандаи энергияи сабз, балки барои давлатҳои, ки аз он истифода менамоянд, аз ҳар ҷиҳат муҳим аст. Барои амалӣ намудани лоиҳа якҷанд ташкилоти донорӣ ҷалб гардида, баъди бунёди он дар кишварҳои, ки ба энергия даст меёбанд, вобаста ба ҳаҷми неруи барқ инфрасохтори муайян ҳам сохта мешавад [1].

Тибқи дурнамо барои таъмини энергия ду кишвари дорои захираҳои бузурги оби Осиёи Марказӣ – Тоҷикистону Қирғизистон уҳдадор шуда, тавассути лоиҳаи мазкур давлатҳои Афғонистон ва Ҷумҳурии Ислонд

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Покистонро ба миқдори муайян бо барқи аз ҷиҳати экологӣ тоза тахмин месозанд.

CASA-1000 барои минтақа танҳо ҳамчун як лоиҳаи бузурги энергетикиву иқтисодӣ манфиатовар нест, балки он аз арзишҳои олии инсонӣ низ бархурдор аст. Баъди ба истифода дода шудани он садҳо иншооти ҳаётан муҳимми кишварҳои зикршуда бо энергияи сабз таъмин гардида, сатҳи некуаҳволии мардум беҳтар мегардад, коргоҳҳои саноатӣ таъсис меёбанд ва ҷойҳои нави корӣ ташкил карда мешаванд. Ҳамчунин, шароити таъмини барқ дар муассисаҳои маорифу тандурустии давлатҳои Афғонистон ва Ҷумҳурии Ислонд Покистон беҳтар мегардад [1.2].

Дар доираи ҳамкорӣ дар лоиҳаи CASA-1000 ҳукуматҳои Афғонистон, Қирғизистон, Покистон ва Тоҷикистон аз энергияи тоза истифода бурда, бозори умумии минтақавии неруи барқро ташкил медиҳанд, пеши роҳи нобудшавии табиат–бешазорон, олами ҳайвоноту наботот, аз байн рафтани пирияхҳо, хавфи фаромадани сел, тағйир ёфтани таркиби хок, регкӯчӣ ва дигар ҳодисаҳои нобудии табиӣ гирифта мешавад. Ин ташаббус барои бартараф кардани оқибатҳои тағйирёбии иқлим мусоидат менамояд.

CASA-1000 ҳамчун иловаи талошҳои ҷор кишвари иштирокчи дар беҳтар кардани дастрасӣ ба неруи барқ, ҳамгироӣ ва васеъ кардани бозорҳо бо мақсади рушди тичорат ва ҷустуҷӯи ҳалли устувори идоракунии захираҳои об хизмат мекунад.

Барои рушди иқтисодиёти қавӣ бо имкониятҳои хуб, инфрасохтори муосир, хизматрасониҳои дурусти иҷтимоӣ ва рушди фарогир системаи устувори таъминоти барқ зарур аст, ки ба истеъмолкунандагони тичоратӣ ва маишӣ таъминоти бефосилаи энергияи тозаро таъмин менамояд. CASA-1000 як қадами муҳим дар таҳкими системаҳои барқ дар Осиёи Марказӣ ва Осиёи Ҷанубӣ мебошад. Бо мусоидат ба даромад аз содироти неруи барқи тоза барои кишварҳои Осиёи Марказӣ ва коҳиш додани норасоии неруи барқ дар кишварҳои Осиёи Ҷанубӣ, ин лоиҳа дурнамои рушдро дар ҳарду минтақа беҳтар мекунад. CASA-1000 унсури калидӣ барои ноил шудан ба рушди устувори иқтисодӣ дар минтақаҳо мебошад [2].

Системаи CASA-1000 пас аз ба итмом расидани сохтмон 1387 км хатҳои интиқоли барқи тағйирбандаи шиддати баланд ва ҷараёни доимии шиддати баландро дар бар мегирад. Пас аз ба кор даровардан, хатҳои интиқоли барқи CASA-1000 бо шиддати баланд байни Қирғизистон ва Тоҷикистон ва аз Тоҷикистон ба Афғонистону Ҷумҳурии Ислонд Покистон неруи барқро интиқол медиҳанд. Дар айни замон, дар доираи лоиҳа хатҳои нави интиқоли барқ барои пайвастан ба системаи барқии ҷумҳуриҳои Қирғизистону

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Тоҷикистон сохта мешаванд. Дар ин замина, ду зеристгоҳи нави табилдихандаи доимии шиддати баланд, яке дар Сангтӯдаи Тоҷикистон ва дигаре дар Новшери Покистон сохта шуда, ба хати интиқоли барқи доимии шиддати баланд барои интиқоли самараноки неруи барқ ба Покистон пайваст карда мешаванд. Сипас, истгоҳи нави табилдиханда дар Новшер қувваи барқро бо шабакаи интиқоли Покистон пайваст мекунад. Дар назар аст, ки давлатҳои содиркунандаи неруи барқ дар моҳҳои май-сентябр то 5 миллиард киловатт/соат интиқол диҳанд. Аз ин миқдор 3 миллиард киловатт/соатро Тоҷикистон содирот хоҳад кард. Ин нуктаро бояд махсус ёдрас шуд, ки дар сарғаҳи ин иқдоми неқ Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ, Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон қарор дошта, татбиқи амалии CASA-1000 ба густариши истиқлоли комили энергетикӣ кишварамон нақши намоён хоҳад гузошт.

Сарвари давлат дар Паёми навбатии худ санаи 28-уми декабри соли 2023 [2] ҳангоми вазифагузориву дастурдиҳиҳояшон ба Ҳукумати мамлакат, Вазорати энергетика ва захираҳои об ва дигар сохтору мақомоти марбута чунин таъкид намуданд: «Дар робита ба амалисозии лоиҳаҳои сохтмони хатти интиқоли барқи CASA-1000 ва азнавпайвастшавӣ ба низоми энергетикӣ Осиёи Марказӣ барои дар 7 соли оянда то 10 миллиард киловатт/соат афзоиш додани содироти неруи барқ тадбирҳои таъхирнопазир андешида шаванд». Аз ин ҷиҳат, лоиҳаи CASA-1000 аз қадамҳои нахустини раванди амалсозии маҷмуи тадбирҳо ва робитаҳои судманди чандҷониба ба шумор омада, ҳадафи ниҳони он таҳкими иртибототи коммуникатсионӣ инфрасохторӣ миёни кишварҳои Осиёи Марказию Ҷанубӣ мебошад. Чунин лоиҳаҳои дӯстона минбаъд барои рушду шукуфӣ ва саодату осудагии мардумони минтақа мусоидат намуда, барои иқдомҳои минбаъда заминагузор хоҳанд буд.

Абадиёт

1. Официальный сайт Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан [Сайт]. – URL: <https://www.mewr.tj/?p=199&lang=tj>
2. Официальный сайт Министерство иностранных дел Республики Таджикистан [Сайт]. – URL: <https://mfa.tj/tg/main/view/14089/pajomi-prezidenti-jumhurii-tojikiston-muhtaram-emomali-rahmon-dar-borai-samthoi-asosii-sijosati-dokhili-va-khorijii-jumhuri>

Маълумот оиди муаллифон:

1. **Мирсаидов Додварз Баратович** – магистри кафедраи электротабминкунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, Тел: (+992) 974576157

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. **Воҳидов Миробид Мирвоҳидович** – н.и.т, и.в. дотсенти кафедраи электротаъминкунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими, Тел: (+992) 935653737

3. **Ниёзӣ Сирочиддин Раҷаббоқи** – н.и.т., муаллими калони кафедраи электротаъминкунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ – ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Азамов Н.Н., Исаков Д.Х., Радионова О.В., Сытдыков Р.А.

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

E-mail: tstu_energy@mail.ru

Аннотация: В работе даны определения понятия цифровизации, рассмотрены аспекты цифровизации в законодательно-правовой базе некоторых стран, проведен сегментированный анализ цифровой трансформации энергетики. Выделены основные преимущества и недостатки цифровизации электроэнергетики. Определены главные направления цифровизации электроэнергетики мира, стран Центральной Азии и Узбекистана.

Ключевые слова: цифровизация, электроэнергетика, стратегия, интеллектуализация, энергетическая безопасность.

DIGITALIZATION IS THE MAIN DIRECTION OF INCREASING THE EFFICIENCY OF ELECTRIC POWER

Abstract: The paper provides definitions of the concept of digitalization, considers aspects of digitalization in the legislative and legal framework of some countries, and conducts a segmented analysis of the digital transformation of energy. The main advantages and disadvantages of digitalization of the electric power industry are highlighted. The main directions of digitalization of the electric power industry of the world, Central Asian countries and Uzbekistan are determined.

Keywords: digitalization, electric power industry, strategy, intellectualization, energy security.

Понятие «цифровизация» впервые упоминается в Оксфордском словаре в 1959 г. как «процесс оцифровки или преобразование аналоговых данных в цифровую форму». Как видим, понятие «цифровизация» первоначально имело отношение больше к термину «цифра». Соответственно, цифровизация означала преобразование информации в числовую форму для её хранения и передачи.

В контексте автоматизации понятие «цифровизация» упоминает Роберт Вахал (Robert Wachal) в 1971 г.: автор впервые поднимает вопрос восприятия понятия «цифровизация» не только со стороны информатизации, но и включает влияние цифровизации на различные отрасли (телевидение, средства коммуникации, энергетика и др.). В то же время он рассматривает

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

цифровизацию как один из ключевых факторов экономики. В 2006 году взгляды Р. Вахала поддержал Ван Дейк (Van Dijk), который утверждал, что «мы впервые на пути к созданию единой коммуникационной структуры, которая будет связывать всё». Ранее Фриц Махлуп (Fritz Machlup) и Даниэль Белл (Daniel Bell) расширили понятие цифровизации, и в своем определении отразили влияние цифровизации на сдвиги в национальной экономике, сформулировав его как «индустриальную революцию» (1984).

Таким образом, понятие «цифровизация» берет своё начало от термина «цифра», и вначале не имело ничего общего с внедрением современных технологий; лишь с появлением понятий «цифровой», «оцифровка», цифровизация стала зарождаться как этап автоматизации.

Многие ученые стран СНГ [1] понятие «цифровизация» истолковывают как «процесс, направленный на оцифровку всех информационных (и материальных) ресурсов (создание цифровых копий) и формирование сетевых платформ взаимодействия, с целью получения прогнозируемого и гарантированного результата на любое управляющее взаимодействие с использованием средств автоматизации».

Теперь цифровизация стала основой интеллектуализации, что вначале привело к изменениям лишь в некоторых отраслях, в том числе в электроэнергетике, а затем, благодаря расширенному внедрению информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), глобально в экономиках и социальных сферах многих стран.

В настоящее время термин «цифровизация» звучит не только в контексте отдельных исследований, но и в законодательной базе многих стран. Например, согласно Цифровой стратегии, принятой Европейской Комиссией в 2018 году, цифровизация связывается с фундаментальными изменениями в управлении, корпоративной культуре, внешних коммуникациях.

В странах Евразийского экономического союза» (ЕАЭС) в 2016 году был подписан документ о создании «Основных направлений цифровой повестки, где под определением «цифровая трансформация» подразумевалось «проявление качественных, революционных изменений, заключающихся не только в отдельных цифровых преобразованиях, но и в принципиальном изменении структуры экономики в условиях, когда происходит цифровая трансформация повседневной жизни, деловой среды и государственного управления». Курс на цифровизацию взят и странами СНГ, в том числе Республикой Узбекистан (табл.1).

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Цифровизация электроэнергетического комплекса является трудоемким процессом, внедрение цифровых технологий принципиально изменяет характеры оперативного управления энергетическими объектами, взаимодействия между потребителями и поставщиками электроэнергии. Данная трансформация имеет как преимущества, так и недостатки. К основным преимуществам относятся: экономия ресурсов, повышение энергоэффективности производства, качества обслуживания потребителей и др. К недостаткам относят значительные затраты на создание новой интеллектуальной среды, её программного обеспечения, а также угрозы, связанные с недостижением ожидаемой эффективности.

Таблица 1. Документы о цифровой трансформации некоторых стран СНГ

1	Армения	Повестка цифровой трансформации Армении до 2030 г
2	Беларусь	Государственная программа развития цифровой экономики и информационного общества на 2016–2020 годы
3	Казахстан	Государственная программа «Цифровой Казахстан»
4	Кыргызстан	Концепция цифровой трансформации «Санарип Кыргызстан 2019–2023 гг.» в рамках Национальной стратегии развития Кыргызской Республики на 2018–2040 гг
5	Россия	Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг
6	Таджикистан	Концепция цифровой экономики Республики Таджикистан. Основана на Национальной стратегии развития до 2030 года. (Постановление Правительства Республики Таджикистан 30.12.2019. №642)
7	Туркменистан	Концепция развития цифровой экономики Туркменистана на 2019–2025 гг
8	Узбекистан	Стратегия «Цифровой Узбекистан-2030» [2]

Несмотря на то, что подходы стран СНГ и Центральной Азии (ЦА) к национальному развитию информационно-компьютерных технологий и цифровизации различаются, они сталкиваются с общими проблемами и препятствиями:

цифровой разрыв на внутреннем и региональном уровнях;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

законодательная база, особенно в отношении конфиденциальности и защиты персональных данных;

препятствия, связанные с ресурсами, такие как финансовые, технические и инфраструктурные;

нехватка интернета, его стоимость и скорость;

недостаток квалифицированных специалистов с навыками в области ИКТ;

низкое доверие к онлайн услугам; низкий уровень цифровой грамотности.

Следовательно, приоритетом для государств ЦА должно быть сокращение цифрового разрыва на внутреннем и региональном уровнях. Внедрение значимых направлений цифровизации, таких как интеллектуализация электроэнергетического комплекса в Узбекистане, будет способствовать развитию и повышению уровней энергосбережения и энергоэффективности экономики страны. Они позволят снизить перебои в электроснабжении, уменьшить аварийность на объектах и повысить уровень технического состояния основных средств электроэнергетики.

Наибольший потенциал имеют следующие направления:

- разработка и внедрение «умной», интеллектуальной среды Smart Grid;
- внедрение и оптимизация новых энергетических технологий и режимов;
- инновационное использование топливно-энергетических ресурсов;
- эффективное использование возобновляемых источников энергии;
- безопасная атомная энергетика;
- снижение потерь при генерации, распределении и потреблении энергии.

Существуют различные индикаторы для оценки производственных и экономических результатов цифровизации электроэнергетического комплекса, объединённые по блокам [3]. Ученые выделяют следующие блоки для реализации процедур цифровой трансформации в энергетике:

- обеспечение бесперебойности поставок электроэнергии;
- снижение аварийности в электроэнергетике;
- снижение производственного травматизма;
- эффективное импортозамещение;
- повышение качества отпускаемой электроэнергии и тепла;
- повышение доступности электроэнергии для новых потребителей;
- сокращение уровня выбросов при производстве электроэнергии и тепла;
- повышение экономической эффективности производственных процессов в электроэнергетике.

Цифровизация стала трендом инновационного развития экономик во всём мире, локомотивом интеллектуализации, в том числе сферы электроэнергетики.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Опыт развитых стран показывает, что архитектура цифровой энергетики должна опираться и формироваться на следующих пунктах:

- наличие и развитие соответствующей законодательно-нормативной базы и активная поддержка государства;
- создание цифровых информационных платформ и решений в области энергоэффективности для удовлетворения запросов потребителей;
- широкое внедрение инновационных технологий для сокращения издержек на содержание и управление объектов энергетики посредством цифрового мониторинга и предиктивной аналитики;
- повышение эффективности производства, передачи, хранения и потребления энергии;
- использование в ИКТ всего спектра больших данных для повышения энергоэффективности;
- оптимизация режимов объектов энергосистем в темпе процесса.

Заключение

Цифровизацию необходимо рассматривать как глобальную основу интеллектуализации мировой электроэнергетической сферы, в том числе в Центрально-азиатском регионе. Для отдельных государств, в том числе и Республики Узбекистан, цифровизацию следует рассматривать как один из способов повышения энергетической безопасности страны и устойчивого развития её электроэнергетики [4]. Необходимо усилить поддержку цифровизации и цифровой трансформации электроэнергетики на основе межгосударственного сотрудничества, для блага населения, национальных экономик и устойчивого развития всего региона.

Литература

1. развития цифровизации в мировой энергетике // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Том 13. – № 2. –С. 1087–1104. doi: 10.18334/vines. 13.2.117224.
2. Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан - 2030» и мерах по её эффективной реализации». 05.10.2020. УП № 6079.
3. Tang J. & Begazo T. Digital stimulus packages: Lessons learned and what's next. The World Bank Group. December 17, 2020. <https://blogs.worldbank.org/digital-development/digital-stimulus-packages-lessons-learned-and-whats-next>.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

4. Сытдыков Р.А., Радионова О.В. Интеллектуализация – приоритетный фактор обеспечения устойчивого развития электроэнергетики Узбекистана. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2023 -№3. –С. 25-38.

5. Максимцев И.А., Костин К.Б., Онуфриева О.А. Современные тенденции

Сведения об авторах:

Азамов Н.Н. – магистрант каф. «Электрические станции, сети и системы» Ташкентского ГТУ.

Исаков Д.Х.– магистрант каф. «Электрические станции, сети и системы» Ташкентского ГТУ.

Радионова О.В. – к.т.н., доцент каф. «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ.

Сытдыков Р.А. – д.т.н., профессор каф. «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ.

МОКРЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ

Мингазетдинов И.Х., Пименов М.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет
им. А.Н.Туполева (КНИТУ-КАИ), г.Казань, Российская Федерация

E-mail: matveypimenov20@gmail.com

Аннотация: В данной статье представлена новая конструкция мокрого пылеуловителя, направленная на повышение эффективности очистки воздуха от загрязнителей. Основное внимание уделяется улучшению взаимодействия капель орошающей жидкости с частицами загрязняющих веществ. В отличие от существующих решений, предложенная конструкция включает усовершенствованный генератор турбулентности и систему равномерного распыления жидкости, что значительно увеличивает вероятность контакта капель с загрязнителями. Ожидается, что данное устройство обеспечит более качественную очистку воздуха и станет эффективным решением для промышленных и бытовых систем очистки.

Ключевые слова: мокрый пылеуловитель, очистка воздуха, генератор турбулентности, равномерное распыление, эффективность очистки.

WET DUST COLLECTOR

Abstract: This article presents a new design of a wet dust collector aimed at improving the efficiency of air purification from pollutants. The main attention is paid to improving the interaction of droplets of irrigation liquid with particles of pollutants. Unlike existing solutions, the proposed design includes an improved turbulence generator and a uniform liquid spraying system, which significantly increases the likelihood of droplet contact with pollutants. It is expected that this device will provide better air purification and will become an effective solution for industrial and household cleaning systems.

Keywords: wet dust collector, air purification, turbulence generator, uniform spraying, cleaning efficiency.

В условиях стремительного роста промышленного производства и усиления экологических требований, очистка выбросов становится одной из ключевых задач для предприятий. Мокрый пылеуловитель представляет собой эффективное устройство для снижения уровня загрязнения воздуха, которое использует водяную среду для улавливания взвешенных частиц. Данная модель, описанная в патенте на полезную модель №228868, обеспечивает высокую степень очистки газов от твердых частиц, что делает ее важным элементом в системах очистки воздуха на промышленных объектах.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Актуальность. С учетом ужесточения экологических норм и растущего внимания к вопросам охраны окружающей среды, необходимость в эффективных системах очистки выбросов становится все более актуальной. Мокрые пылеуловители, как показано в патенте, обеспечивают значительное снижение концентрации пыли в выбросах, что позволяет предприятиям соответствовать современным стандартам и минимизировать негативное воздействие на здоровье населения и окружающую среду.

Принцип работы.

1. Входящий поток воздуха: Загрязненный воздух поступает в мокрый пылеуловитель через входное отверстие. Обычно перед входом устанавливаются фильтры для предварительной очистки от крупных частиц.
2. Форсунки и распыление воды: Внутри устройства находятся форсунки, которые распыляют воду в виде мелких капель. Эти капли образуют облако водяной аэрозоли, которое взаимодействует с частицами пыли в воздухе.
3. Коагуляция частиц: Когда загрязняющие частицы сталкиваются с каплями воды, они прилипают к ним. Это происходит благодаря физическим и химическим взаимодействиям, таким как электростатическое притяжение и адгезия.
4. Осаждение частиц: Увлажненные и объединенные капли с частицами пыли становятся тяжелее и под действием силы тяжести начинают оседать вниз. В этом процессе также могут участвовать другие механизмы, такие как инерционные силы и турбулентные потоки.
5. Сбор шлама: Осевшие капли воды вместе с частицами пыли собираются в специальном шламоборнике или резервуаре, где происходит дальнейшее отделение загрязнений от воды. Вода может быть повторно использована для распыления, что делает процесс более экономичным.
6. Выход очищенного воздуха: Очищенный воздух, лишенный твердых частиц, выходит из устройства через выходное отверстие. В некоторых системах может быть предусмотрена дополнительная фильтрация или обработка воздуха перед его выбросом в атмосферу.

Преимущества мокрых пылеуловителей:

- **Высокая эффективность:** Мокрые пылеуловители способны улавливать мелкие частицы, которые трудно удалить другими методами.
- **Экологичность:** Использование воды для очистки воздуха снижает количество вредных выбросов в атмосферу.
- **Экономия ресурсов:** Возможность повторного использования воды снижает эксплуатационные расходы.

Оценка стоимости мокрого пылеуловителя

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

1. Стоимость материалов:

- Корпус (нержавеющая сталь): 100 000 рублей (примерно 200 кг по 500 рублей за кг).
- Форсунки: 15 000 рублей (10 форсунок по 1 500 рублей каждая).
- Генератор турбулентности: 30 000 рублей.
- Каплеуловитель: 20 000 рублей.
- Шламосборник: 10 000 рублей.

Итого за материалы:

$$100000 + 15000 + 30000 + 20000 + 10000 = 175000 \text{ рублей}$$

2. Стоимость внешних затрат:

• Электричество: предположим, что устройство потребляет 2 кВт в час и работает 8 часов в день. $P = U \cdot I$. Если цена за кВт·ч составляет 5 рублей, то:
 $C_{\text{(electricity)}} = 2 \text{ кВт} \times 8 \text{ ч} \times 5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} = 80 \text{ рублей в день}$

При работе устройства 30 дней в месяц: $C_{\text{(electricity_monthly)}} = 80 \times 30 = 2400 \text{ рублей}$

• Вода: предположим, что устройство использует 1 кубический метр воды в день, а цена за кубометр составляет 30 рублей: $C_{\text{(water)}} = 1 \text{ м}^3 \times 30 \text{ руб/м}^3 = 30 \text{ рублей в день}$

При работе устройства 30 дней в месяц: $C_{\text{(water_monthly)}} = 30 \times 30 = 900 \text{ рублей}$

Итого внешние затраты за месяц: $C_{\text{(total_external)}} = C_{\text{(electricity_monthly)}} + C_{\text{(water_monthly)}} = 2400 + 900 = 3300 \text{ рублей}$

3. Общая стоимость проекта: учтем стоимость материалов и внешние затраты за первый месяц эксплуатации: $C_{\text{total}} = C_{\text{materials}} + C_{\text{(total_external)}} = 175000 + 3300 = 178300 \text{ рублей}$

Таким образом, ориентировочная стоимость мокрого пылеуловителя составляет 178 300 рублей на начальном этапе, включая материалы и затраты на эксплуатацию за первый месяц. Эти цифры являются примерными и могут варьироваться в зависимости от конкретных условий и цен на материалы.

Заключение

Мокрые пылеуловители представляют собой важный инструмент для борьбы с загрязнением воздуха, особенно в промышленных и производственных условиях, где выделение пыли и других твердых частиц является распространенной проблемой. Их работа основана на использовании воды для улавливания частиц, что делает процесс более эффективным и экологически безопасным по сравнению с традиционными сухими методами фильтрации.

Литература

1. Баранов, Д. В. Современные методы контроля загрязнения воздуха / Д. В. Баранов, Н. П. Васильев. — Казань: Казанский университет, 2021. — 210 с.
2. Петров, В. Н., Сидоров, И. М. Экология и охрана окружающей среды: учебное пособие / В. Н. Петров, И. М. Сидоров. — Санкт-Петербург: Наука, 2020. — 320 с.
3. Смирнова, Е. А. Технологии очистки газов и пыли в промышленности / Е. А. Смирнова. — Екатеринбург: УрФУ, 2019. — 180 с.

Сведения об авторах

1. Пименов Матвей Алексеевич – ученик 9 класса МБОУ "Лицей №145",
почта: matveupimenov20@gmail.com / pimenov-m64@mail.ru , номер: +7 (927) 428-65-97

2. Мингазетдинов Идгай Хасанович - преподаватель в КНИТУ-КАИ,
кандидат наук, доцент, номер: +7 (903) 307-92-31

О СНИЖЕНИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Кудратов Ж.Т., Сытдыков Р.А., Радионова О.В., Талипова С.Б.

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

E-mail: tstu_energy@mail.ru

Аннотация: В статье рассматривается задача снижения потерь электроэнергии в сетях собственных нужд (СН) тепловых электрических станций (ТЭС) путём компенсации реактивной мощности. Показана эффективность компенсации реактивной мощности в сети СН на примере блока мощностью 150 мВт; широко используется коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$.

Ключевые слова: собственные нужды ТЭС, электрическая сеть, снижение потерь, коэффициенты $\cos \varphi$ и $\operatorname{tg} \varphi$, компенсация реактивной мощности.

ON REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN THE NETWORKS OF OWN NEEDS OF THERMAL POWER PLANTS

Abstract: The article considers the problem of reducing power losses in the auxiliary power grids (APG) of thermal power plants (TPP) by compensating of the reactive power. The efficiency of reactive power compensation in the APG network is shown using of 150 MW unit as an example; the reactive power factor $\operatorname{tg} \varphi$ is widely used.

Keywords: own needs of thermal power plants, electric grid, reduction of losses, $\cos \varphi$ and $\operatorname{tg} \varphi$ coefficients, reactive power compensation.

В настоящее время, в Узбекистане тепловые электрические станции (ТЭС) вырабатывают более 80 % всей электроэнергии, что делает их основой электроэнергетики страны [1]. Различные виды ТЭС потребляют в системах собственных нужд от 4 до 14 % вырабатываемой ими электроэнергии; её расход зависит от вида используемого топлива, структуры ТЭС (блочная/не блочная), мощностей агрегатов, степени автоматизации, типа ТЭС (КЭС, ПГУ, ТЭЦ) и др.

Сети собственных нужд (СН) ТЭС являются сетями напряжением 6-20/0,4 кВ, питающими различные цеха и виды оборудования ТЭС. К сетям собственных нужд предъявляются повышенные требования надёжности, в их состав входят различные виды оборудования: трансформаторы, реакторы, кабельные линии и другие. Мощными потребителями СН являются асинхронные двигатели электроприводов насосов, дымососов, вентиляторов и

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

множество различных видов установок, обеспечивающих работу всех цехов и оборудования ТЭС.

Для анализа энергоэффективности и определения энергосберегающих мероприятий обычно проводятся энергетические аудиты, в том числе на ТЭС, также касающиеся электрических сетей их СН [2]. Необходимо иметь в виду, что основными путями повышения энергоэффективности сетей СН являются:

- 1) рациональное построение электрической схемы СН станции при ее проектировании, модернизации и реконструкции;
- 2) разработка и использование научно-обоснованных норм удельных расходов и потерь электроэнергии в электрооборудовании СН;
- 3) компенсация реактивной мощности в сетях СН;
- 4) расширение использования автоматизированных информационно-измерительных систем учета и контроля расхода электроэнергии (АИИСКУЭ);
- 5) организационно-технические мероприятия, которые разрабатываются конкретно на каждой ТЭС с учетом технологии, мощности, режимов работы, видов топлива, места расположения и др.

В данной работе рассматривается задача снижения потерь в сетях СН ТЭС методом компенсации реактивной мощности, который в системах СН станций практически не используется.

Мощность, мВт, мВАр

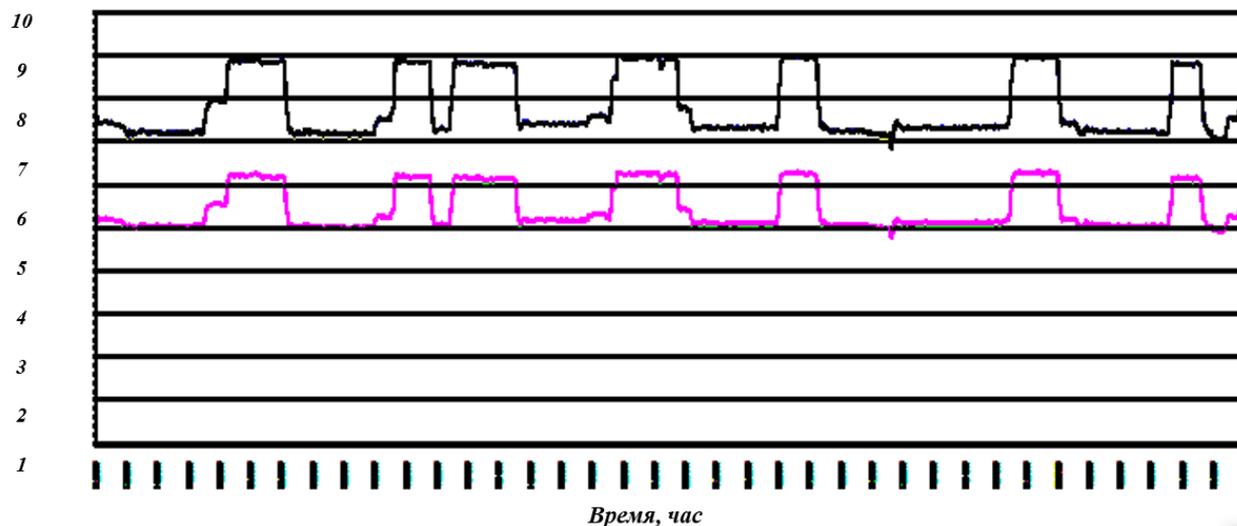


Рисунок 1 – Графики активной (---) и реактивной (---) нагрузок СН блока 150 мВт

Компенсация реактивной мощности в сетях СН напряжением 6-20/0,4 кВ. Известно, что активная и реактивная энергии составляют полную энергию переменного тока; при этом доля активной энергии по отношению к полной определяется косинусом угла сдвига фаз между током и напряжением — $\cos \varphi$.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Протекая по кабелям, обмоткам трансформаторов и др., реактивный ток снижает долю протекающего по ним активного тока, вызывая при этом дополнительные потери в проводящих элементах на нагрев - активные потери.

Изменить данную ситуацию можно путем размещения источника реактивной энергии непосредственно у потребляющего её оборудования — это даёт возможность разгрузить сети от реактивного тока и исключить вышеописанные недостатки, - то есть «скомпенсировать» индуктивную реактивную мощность.

Таким источником обычно служат различные виды фазосдвигающего оборудования, в том числе статические конденсаторы. В противоположность индуктивности, конденсаторы стремятся сохранять неизменным напряжение на своих зажимах, то есть для них ток «опережает» напряжение. Поскольку величина потребляемой электроэнергии на оборудовании СН не является постоянной, может меняться за достаточно малый промежуток времени, может соответственно меняться и соотношение активной потребляемой энергии к полной (рис.1), то есть $\cos \varphi$. Причем, чем меньше активная нагрузка индуктивного потребителя (асинхронного двигателя, трансформатора), тем ниже $\cos \varphi$. Из этого следует, что для компенсации реактивной мощности необходим набор оборудования, обеспечивающий адекватное регулирование $\cos \varphi$, в зависимости от изменяющихся видов и условий работы оборудования, то есть установка компенсаторов реактивной мощности (КРМ) [3]. Имеется множество методов компенсации реактивной мощности: возбуждение синхронных машин, тиристорные компенсаторы, статические конденсаторы и т.д. На наш взгляд, в современных условиях, наиболее удобно в качестве КРМ в сетях СН ТЭС использовать статические конденсаторы.

Для оценок электрической распределительной сети или её звеньев, обычно используется либо коэффициент мощности $\cos \varphi$, определяемый отношением активной мощности к полной, либо коэффициент реактивной мощности $\tan \varphi$, численно равный отношению реактивной к активной мощности. В табл.1 демонстрируются эквиваленты коэффициентов $\cos \varphi$ и $\tan \varphi$. Обратим внимание на то, что значения $\tan \varphi$ и величины соотношений активной и реактивной мощностей в %% идентичны; это означает, что для быстрой и точной оценки потребности реактивной мощности удобно пользоваться коэффициентом $\tan \varphi$.

Например, из данных табл.1 видно, что при значениях коэффициента мощности $\cos \varphi = 0,95$ электроприемниками/звеньями сети СН потребляется реактивная мощность величиной 33% от активной мощности, а при значении коэффициента мощности $\cos \varphi = 0,7$ объемы потребляемой активной и

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

реактивной мощности сравниваются. Поэтому более целесообразно и наглядно выполнять оценку компенсации реактивной мощности в сети по коэффициенту реактивной мощности $\text{tg } \varphi$, показывающему конкретное соотношение активной и реактивной мощностей.

Таблица 1. Значение реактивной мощности (РМ) в процентах от активной мощности при разных значениях коэффициентов $\cos \varphi$ и $\text{tg } \varphi$

$\cos \varphi$	1,0	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92	0,9	0,87	0,85	0,8	0,7	0,5	0,316
$\text{tg } \varphi$	0,0	0,14	0,25	0,33	0,36	0,43	0,484	0,55	0,60	0,75	1,02	1,73	3,016
РМ,%	0,0	14	25	33	36	43	48,4	55	60	75	102	173	301,6

Ниже (табл.2) предлагаются предельные значения коэффициентов мощности $\cos \varphi$ и реактивной мощности $\text{tg } \varphi$, в зависимости от напряжения точки присоединения установки к распределительной сети СН ТЭС.

Таблица 2. Рекомендуемые значения коэффициентов $\text{tg } \varphi$ и $\cos \varphi$ для разных напряжений электрической сети СН ТЭС

показатели	$\text{tg } \varphi$	$\cos \varphi$
Напряжение 6-20 кВ	0,4	0,93
Напряжение 0,4 кВ	0,35	0,94

Анализ показывает, что в сетях собственных нужд ТЭС имеются значительные резервы в экономии электроэнергии путём улучшения коэффициента значения коэффициента мощности. Например, в результате расчетов возможной экономии электроэнергии, при компенсации реактивной мощности в сети СН блока ТЭС 150 мВт и изменении коэффициента $\text{tg } \varphi$ от 1,02 до 0,4, величина экономии электроэнергии может составить 3150 мВтч/ год,

Подобный анализ и расчёты позволяют прогнозировать экономию электроэнергии и планировать мероприятия по уменьшению потерь в сетях СН ТЭС путём компенсации реактивной мощности.

Заключение

Проведение энергосберегающих мероприятий на ТЭС является многокомпонентной задачей, в том числе включает повышение энергоэффективности электрических сетей собственных нужд ТЭС. Уменьшение потерь в сетях СН ТЭС можно реализовать различными путями, одним из которых является компенсация реактивной мощности статическими конденсаторами. В работе сделан анализ возможного уменьшения потерь

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

электроэнергии в сетях СН блока ТЭС мощностью 150 мВт использованием устройств КРМ для изменения коэффициента мощности. Показано, что можно добиться значительной экономии электроэнергии за счёт уменьшения потерь в сетях СН электростанций. Для наглядности прогнозирования и оценок величин компенсирующих мощностей используется коэффициент реактивной мощности $\text{tg } \varphi$.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. –Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot matbaa. 2021. -952 с.
2. Насыров Т.Х., Сытдыков Р.А. и др. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. –Т.:Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи. 2020. -276 с.
3. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -170 с

Сведения об авторах:

Кудратов Ж.Т.– магистрант каф. «Электрические станции, сети и системы» Ташкентского ГТУ.

Сытдыков Р.А. – д.т.н., профессор каф. «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ.

Радионова О.В., - к.т.н., доцент каф. «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ.

Талипова С.Б. – ст.преп. каф. «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ.

ТАЛАФОТИ ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ ДАР ШАБАКАҲОИ БАРҚӢ

Мирсаидов Д.Б., Воҳидов М.М. Ниёзӣ С.Р.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими, ш. Душанбе,
Тоҷикистон

E-mail supergold84@mail.ru

Аннотатсия: Дар мақола масъалаҳои мушаххас оиди талафоти энергияи электрикӣ дар шабакаҳои барқи ба таври умумӣ дида баромада шудааст. Чи хеле, ки маълум аст нишондиҳандаи асосии соҳаи энергетика ин дараҷаи талафоти энергияи электрикӣ мебошад, ки бо риоя ва батанзимдорони он боиси таъмини истеъмолкунандагон бо қувваи барқ мебошад.

Калимаҳои калидӣ: талафоти энергияи электрикӣ; шабакаҳои барқӣ, истеъмолкунандагони энергияи электрикӣ, талафоти технологӣ.

ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN ELECTRICAL NETWORKS

Abstract: The article discusses specific issues of electrical energy losses in electrical networks in general. It is well known that the main indicator of energy is the degree of loss of electrical energy, which, if observed and regulated, leads to the provision of electricity to consumers.

Key words: electrical energy losses; electrical networks, consumers of electrical energy, technological losses.

Яке аз нишондиҳандаҳои асосии соҳаи энергетика ин дараҷаи талафоти энергияи барқ дар шабакаҳои барқӣ буда, арзиши талафот – ин қисмате аз хароҷот барои интиқол ва тақсимоти барқ ба шабакаҳои барқӣ мебошад. Талафот ҳар чӣ қадар зиёд бошад, хароҷот низ зиёд гашта, мувофиқ ба ин тарифи энергияи барқ барои истеъмолкунандагони он боло меравад.

Маълум аст, ки як қисми талафот сарфи технологӣ барои ба истеъмолкунандагон расонидани энергияи истеҳсолшуда мебошад. Ин сарфи технологии энергияи барқ аз назари иқтисодӣ талафоти асоснок ба шумор меравад. Қисми дигари талафоти энергияи барқ, ки ба камбудии системаи баҳисобгирии энергияи барқ мансубанд, зарарҳои беасосро ташкил медиҳанд.

Аз рӯи таҷрибаи ҷаҳонӣ маҷмӯи талафотҳои техникӣ дар шабакаҳои 0,38-500 кВ бояд аз 4-6% зиёд набояд, талафоти техникӣ максималӣ набояд аз 10-12% зиёд бошад [1]

Барои дуруст муайян намудани дараҷаи талафоти энергияи барқ ва кам кардани он чунин сабабҳои техникӣ ва ташкилӣ монеа мегарданд:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

- набудан ва аз ҷиҳати техникӣ нуқсондор будани ҳисобгиракҳои баҳисобгирии техникӣ энергияи барқ, аз ҷиҳати маънавӣ ва ҷисман фарсуда шудан, паст будани дақиқияти ҳисобгиракҳои мавҷуда. Дар ЗТ –ҳои системаи барқии Ҷумҳурии гузаронидани тавозуни пурра ва дурусти интиқол ва истифодаи энергияи барқ номумкин гаштааст;
- дараҷаи баланди вайроншавии трансформаторҳои ченқунанда, махсусан трансформаторҳои шиддати навъи НТМИ; дараҷаи пастӣ дақиқияти трансформаторҳои ченқунанда. Дар аксарияти ЗТ аз ду якто (дар ЗТ алоҳида - ҳарду) трансформаторҳои шиддат корношоам шудаанд ва дар ҳолати аз кор баромадани трансформатори дуюм системаи баҳисобгирии энергияи барқ тамоман аз кор мемонад [1].
- дастрас будани занҷирҳои ченакӣ бо мақсади тағйир додани нишондоди баҳисобгирии энергияи барқ;
- мавҷуд набудани баҳисобгирии меъёрии сарғаҳии энергияи барқ дар ҳудуди ноҳия ва шаҳр;
- мавҷуд набудани системаи автоматикунондашудаи баҳисобгирии интиқол ва истифодаи энергияи барқ.

Ба сабабҳои ташкилӣ инҳоро дохил кардан мумкин аст:

- байни ташкилотҳои таъминқунанда ва фуруши барқ аз рӯи қоида ҷудо нашудани ҳудуди хизматрасонӣ ва масъулият оид ба ҳолати элементҳои баҳисобгирии энергияи барқ;
- тартиби муайян намудани энергияи барқи ғоиданок ба талаботҳои ҳамин давраи тараққиёт мувофиқат намеқунанд, истифодаи воқеиро инъикос намеқунанд.
- мавҷуд набудани талаботи ягонаи муайян намудани қабули энергияи барқ дар шабақаҳои барқӣ
- сатҳи пастӣ дониши касбии кормандони идораҳои фуруши энергияи барқ, махсусан дар сатҳи шуъбаҳои шаҳрӣ ва ноҳиявӣ. Маълум аст, ки захираҳои асосии паст кардани талафоти энергияи барқ ба таври координатӣ беҳтар намудани фаъолияти фуруши энергияи барқ ва ба эътидол овардани речаи қори таҷизоти барқ ва шабақаҳо, аз ҷиҳати техникӣ мусаллаҳ намудан ва аз нав сохтани шабақаҳо, тараққиёти оптималии онҳо, ҷуброни тавоноии реактивӣ дар энергосистема мебошад. Дар паст намудани талафоти энергияи барқ «фактори одамӣ» хеле муҳим мебошад [2,3,4]. Зарур аст, ки системаи автоматикунонидашудаи баҳисобгирии комплекси энергияи барқ ҷорӣ карда шавад.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон аз тарафи муассисаҳои махсусгардонидашуда ва олимону мутахассисони соҳавӣ оид ба масъалаҳои усули ҳисоб, таҳлил ва

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

интихоби чорабиниҳои иқтисодии асосноки кам кардани талафотҳои энергияи барқ корҳо бурда шуда истодаанд.

Барои муайян кардани меъёри талафоти энергияи барқ, чи тавре ки дар боло гуфтем, бояд аввалан талафоти воқеии он дар шабакаҳои барқ муайян карда шавад. Нишондодҳои талафот, ки шубаҳои фурӯши барқ дар ҳисоботҳои худ нишон медиҳанд, аз андозаи ҳақиқии он бо сабабҳои объективӣ ва субъективӣ хеле дуранд.

Ҳамин тариқ роҳи асосии сарфа намудани энергияи электрикӣ дар шабакаҳо кам намудани талафоти тичоратӣ мебошад. Барои аниқ муайян намудани талафоти тичоратӣ дар навбати аввал ҷиҳозонидани ҳамаи зеристгоҳҳо, хатҳои интиқоли барқи 6-10кВ, ҳамаи бунгоҳҳои трансформатории (ТП-ҳо) 0,4кВ бо воситаҳои ҳозиразамони баҳисобгирии энергияи барқ мебошад. Фақат дар ин ҳолат мо метавонем, ки талафоти техниро дар шабакаҳо то ба зинаи 0,4кВ ибунгоҳҳои трансформаторӣ мушаххас муайян намуда, пардохти маблағро назорат ва талаб намоем, танҳо дар ин ҳолат ҳаҷми энергияи ғайриқонунӣ истифодашуда ва ҷои онро маълум кардан мумкин аст. Ин имконият медиҳад, ки чорабиниҳои ташкилӣ ва маъмурий дида шуда, пеши роҳи талафоти тичоратӣ гирифта шавад ва истеъмолкунандагони энергияи электрикӣ дар пайи сарфакорӣ шаванд. Ҳар корхона ва ҳар хонавода кӯшиш мекунад, ки энергияи барқро сарфакорона истифода намуда, ба ин восита бучаи хонаводагии худро низ камхарҷ гардонад [5,6].

Барои ҳалли ин масъала ҳар чӣ зудтар амалӣ намудани нақшаи таҷдиди сохтори (реструктуризация) системаи энергетика зарур мебошад. Талафоти технологияи энергияи электрикӣ.

- Талафот дар хати интиқоли барқ ва таҷҳизоти шабакаҳои барқӣ – талафи техникӣ
 - Сарфи энергияи электрикӣ барои эҳтиёҷоти худии зеристгоҳҳои барқӣ
 - Талафоте, ки хатогии ситемаи ҳисобии энергияи электрикӣ медиҳад. Талафоти техникӣ
 - Талафоти техникӣ, ки аз барои равандҳои диссипатсияи (парешон шудани) энергия ба вучуд омадаанд. Онҳо тақсим мешаванд:
 - Шартан-доимӣ (новобаста аз тавоноии интиқолмедода)
 - Борбастӣ (нагрузочные) (талаф дар хати интиқоли барқ, трансформаторҳои қуввагӣ ва элементҳои махсус, ки ба воситаи онҳо чараён ҷорӣ мешавад).
- Талафоти шартан – доимӣ

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

- I. Талафот дар гашти холии трансформаторҳои қуввагӣ.
- II. Талафот дар тоҷи XX-и 110 кВ ва аз он зиёд.
- III. Талафот дар олатҳои чубронкунанда, реакторҳои парчавӣ, ноқилҳои пайваस्तкунанда ва тахтасимҳои ОТ зернерӯгоҳҳои барқӣ.
- IV. Талафот дар системаи ҳисоби энергияи электрикӣ.
- V. Талафот дар барқгирҳои вентиلى ва маҳдудкунандаҳои фузуншиддатӣ.
- VI. Талафот дар олатҳои пайвасти алоқаи баландбасомад.
- VII. Талафот дар изолятсияҳои кабелҳои қуввагӣ.
- VIII. Талафот аз чараҳои ихроҷ дар ғайриноқилҳои XX.

Адабиётҳо

1. Железко Ю. Нормирование технологических потерь электроэнергии в сетях. Новая методология расчета // Новости электротехники. – 2003. – N 5 (23). – С. 23-27.
2. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / В.Я. Ушаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 448 с.
3. Фурсанов, М.И. Расчеты технологического расхода (потерь) электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистем: учебно-методическое пособие / М.И. Фурсанов, А.А. Золотой, В.В. Макаревич. – Минск: БНТУ, 2018. – 111 с.
4. Садыкова Ф.М. Анализ потерь электрической энергии и пути их снижения в городских электрических г. Махачкалы. Нормирование технологических потерь электрической энергии. Системные технологии, 2014, №4 (13). Стр. 90 – 95.
5. Анисимов А.П. Левин М. С., Пекелес В,Г. Методика расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях. Электричество, 1975 г, 4
6. Воротницкий В.Э. Измерение, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Проблемы и пути решения // Сборник информационных материалов международного научно-технического семинара «Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – 2002». – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.

Маълумот оиди муаллифон:

1. **Мирсаидов Додварз Баратович** – магистри кафедраи электротабминкунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, Тел: (+992) 974576157

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. **Воҳидов Миробид Мирвоҳидович** – н.и.т, и.в. дотсенти кафедраи электротаъминкунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими, Тел: (+992) 935653737

3. **Ниёзӣ Сирочиддин Раҷаббоқи** – н.и.т., муаллими калони кафедраи электротаъминкунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими.

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ КОМПЕНСАЦИИ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ашурзода А.А., Мирзоев А.М., Амонов А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъёев Дж.С.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.

Осими

[E-mail:javod_66@mail.ru](mailto:javod_66@mail.ru)

Аннотация: В статье произведен обзор методов оптимизации в задачах компенсации реактивной мощности в электрических сетях электроэнергетических систем.

Ключевые слова: оптимизация, мощность, компенсация, метод, электрические сети.

REVIEW OF OPTIMIZATION METHODS IN REACTIVE POWER
COMPENSATION PROBLEMS

Abstract: The article provides an overview of optimization methods in problems of reactive power compensation in electrical networks of electric power systems.

Keywords: optimization, power, compensation, method, electrical networks.

Введение

Задача выбора оптимальной мощности и мест установки компенсирующих устройств в электрических сетях имеет целью нахождения такого решения, которое обеспечивает максимальный экономический эффект при одновременном выполнении условий баланса реактивных мощностей и технических требований к величине напряжений и токовых нагрузок для всех элементов сети.

Экономический эффект от компенсации реактивной мощности заключается в уменьшении потерь электроэнергии в сети (в эксплуатационной постановке задачи) и снижении стоимости ее сооружения за счет увеличения пропускной способности (на стадии проектирования). При этом требуются дополнительные затраты на установку и обслуживание источников реактивной мощности, а также оплату потерь уже в самих компенсирующих устройствах [1].

В условиях эксплуатации существующей сети возможны две постановки задачи компенсации реактивной мощности:

– для питающей сети – определение оптимального значения реактивной мощности Q_9 , передаваемого в каждый узел сети;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

– для распределительной сети – выбор мощности и места установки источников реактивной мощности, обеспечивающих потребление реактивной мощности, не превышающего заданного уровня Q_{Σ} .

2. Классический метод оптимизации

Решение задачи компенсации реактивной мощности с использованием классического метода может быть представлена на примере использования в качестве компенсирующего устройства – батареи конденсаторов (БК). При определении оптимального значения Q_{Σ} математическая модель включает в себя только целевую функцию.

Целевая функция:

$$Z = Z_K + Z_{II} \rightarrow \min,$$

где $Z_K \approx z_{0K} \cdot Q_K$ - затраты на доставку, обслуживание, монтаж БК, сомони. Для БК затраты можно представить упрощенно линейной зависимостью, где z_{0K} - удельные затраты на БК, сомони /квар; Q_K - мощность БК, квар. $Z_{II} = c_0 \cdot \Delta P$ - затраты на потери мощности в сети, где c_0 - удельная стоимость потерь, сомони /кВт; ΔP - потери активной мощности в электрических сетях, кВт. Общие потери активной мощности в сети можно представить, как

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_P + \Delta P_Q,$$

где ΔP_P , ΔP_Q - потери активной мощности, обусловленные потоками активной и реактивной мощности, соответственно.

Таким образом, затраты на потери мощности в сети определяются как

$$Z_{II} = c_0 \cdot (\Delta P_P + \Delta P_Q) = Z_{II_P} + Z_{II_Q}$$

Целевая функция содержит две составляющие, взаимно противоречащие друг другу: увеличение затрат на компенсирующее устройство влечет за собой снижение затрат на потери, и наоборот, снижение затрат на БК вызывает увеличение затрат на компенсацию потерь. В этом случае необходим поиск компромиссного решения.

Суммарные затраты в сети представлены на рис.1.

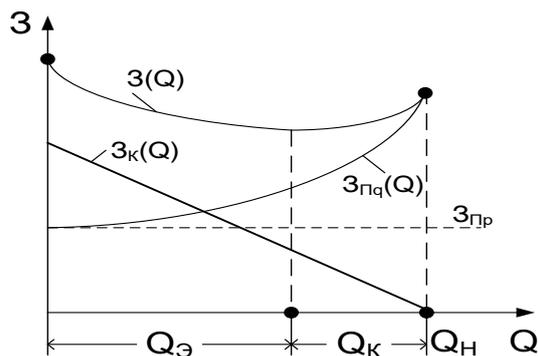


Рисунок 1. – Зависимость суммарных затрат от реактивной мощности в сети

Из рис. 1 видно, что существует некая оптимальная точка – минимум суммарного графика затрат, где общие затраты на компенсирующее устройство и затраты на потери имеют наименьшее выражение. Принцип классического метода решения задачи компенсации реактивной мощности заключается в поиске этого минимального значения.

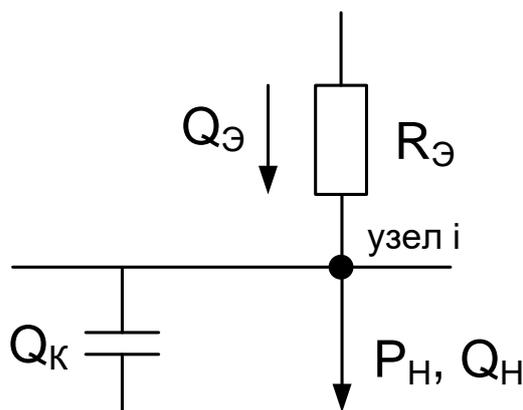


Рисунок 2. – Распределение потоков реактивной мощности для узла нагрузки

Целевая функция суммарных затрат при установке БК в i -й узел нагрузки (рис.2) принимает следующий вид:

$$Z = Z_K + Z_{\Pi} = Z_{\Pi p} + Z_{\Pi o} + z_{0K} \cdot Q_K = c_0 \cdot \frac{P^2}{U^2} R_{\mathcal{E}} + c_0 \cdot \frac{Q^2}{U^2} R_{\mathcal{E}} + z_{0K} \cdot Q_K \rightarrow \min,$$

где $R_{\mathcal{E}}$ - эквивалентное сопротивление системы относительно узла i .

С учетом баланса мощностей $Q_{\mathcal{E}} + Q_K = Q_H$:

$$Z = c_0 \cdot \frac{P^2}{U^2} R_{\mathcal{E}} + c_0 \cdot \frac{Q^2}{U^2} R_{\mathcal{E}} + z_{0K} \cdot (Q_H - Q_{\mathcal{E}}) \rightarrow \min$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Точка минимума представляет собой экстремум функции затрат и определяется путем расчета производной функции по независимой переменной, полученное выражение затем приравнивается к нулю.

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_3} = 2c_0 \frac{Q_3}{U^2} R_3 - z_{0K} = 0$$

Отсюда определяются экономически целесообразная величина реактивной мощности, передаваемой из системы, и оптимальная мощность батареи конденсаторов, устанавливаемой непосредственно в узле нагрузки.

$$Q_3 = \frac{z_{0K} U^2}{2c_0 R_3},$$

$$Q_K = Q_H - Q_3 = Q_H - \frac{z_{0K} U^2}{2c_0 R_3}$$

Классический метод оптимизации является наиболее упрощенным и неточным методом нелинейного программирования и относится к методам безусловной оптимизации, когда математическая модель включает в себя только целевую функцию. Ограничения и граничные условия при составлении и решении модели не учитываются.

3. Метод множителей Лагранжа

Идея метода множителей Лагранжа заключается в преобразовании целевой функции и ограничений, заданных в форме равенств, к некоторому другому более сложному, но единственному выражению, для которого и решается задача [1].

Поскольку генерация реактивной мощности влияет главным образом на режим напряжения и потокораспределения активных и реактивных мощностей системы, то критерием оптимальности являются потери активной мощности. Минимизируя потери активной мощности, можно снизить и расход топлива станций системы. Примем допущение, что в системе соблюдается баланс активной мощности:

$$\sum_{i=1}^N P_{Gi} - P_{H\Sigma} - \Delta P_\Sigma = 0,$$

где P_{Gi} - активная мощность i -го источника, кВт; $P_{H\Sigma}$ - суммарное потребление активной мощности, кВт; ΔP_Σ - суммарные потери активной мощности, кВт.

Технические требования по величинам напряжения сводятся к следующему: во всех точках сети при любых режимах ее работы величина напряжения не должна выходить за допустимые пределы:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max}$$

Для всех элементов сети во всех режимах ее работы величины токов не должны превосходить допустимые для этих элементов величины токовых нагрузок:

$$I \leq I_{\max}$$

Генерируемая источником мощность также ограничена допустимыми для данного источника пределами:

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$$

Так же необходимо учитывать ограниченные возможности регулирования коэффициента трансформации трансформаторов с РПН:

$$k_{t\min} \leq k_t \leq k_{t\max}$$

С учетом всего вышперечисленного можно представить математическую модель.

Математическая модель:

$$\Delta P = f(Q) \rightarrow \min$$

Ограничение (баланс реактивной мощности):

$$\sum_{i=1}^N Q_{Gi} - Q_{H\Sigma} - \Delta Q_{\Sigma} = 0,$$

где Q_{Gi} - реактивная мощность i -го источника, квар; $Q_{H\Sigma}$ - суммарное потребление реактивной мощности, квар; ΔQ_{Σ} - суммарные потери реактивной мощности, квар.

Функция Лагранжа включает в себя:

$$F = \Delta P + \lambda \left(\sum_{i=1}^N Q_{Gi} - Q_{H\Sigma} - \Delta Q_{\Sigma} \right)$$

Неизвестными в этой задаче являются N значений источников реактивной мощности и множитель Лагранжа λ , всего $N+1$ неизвестных. Для решения задачи составляется N уравнений дифференцированием функции Лагранжа по всем независимым переменным, а одно уравнение – балансовое

$$\frac{\partial F}{\partial Q} = \frac{\partial \Delta P_{\Sigma}}{\partial Q_i} + \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta Q_{\Sigma}}{\partial Q_i} \right) = 0$$

Из этого следует

$$\lambda = \frac{\frac{\partial \Delta P_{\Sigma}}{\partial Q_1}}{1 - \frac{\partial \Delta Q_{\Sigma}}{\partial Q_1}} = \dots = \frac{\frac{\partial \Delta P_{\Sigma}}{\partial Q_i}}{1 - \frac{\partial \Delta Q_{\Sigma}}{\partial Q_i}} = idem$$

Физический смысл критерия оптимальности распределения реактивной мощности между источниками можно увидеть, если перейти к конечным разностям:

$$\frac{\frac{\Delta(\Delta P_{\Sigma})}{\Delta Q}}{1 - \frac{\Delta(\Delta Q_{\Sigma})}{\Delta Q}} = \frac{\Delta(\Delta P_{\Sigma})}{\Delta Q - \Delta(\Delta Q_{\Sigma})} = \frac{\Delta(\Delta P_{\Sigma})}{\Delta Q_{H\Sigma}} = idem$$

При оптимальном режиме работы ЭЭС для всех источников реактивной мощности будет иметь место равенство потерь активной мощности на единицу реактивной мощности у потребителя.

Учет технических ограничений в форме неравенств, при использовании метода Лагранжа требует проведения дополнительных многовариантных расчетов.

4. Градиентный метод оптимизации

Метод множителей Лагранжа непосредственно применим для задачи оптимизации при целом ряде допущений и небольшой размерности самой задачи. В более сложных случаях, в частности при учете потерь активной мощности в сети и ограничений, наложенных на зависимые переменные, требуется применять более сложные методы. Одним из таких методов является градиентный метод. Сущность его состоит в том, что задаются некоторым начальным значением $x^{(0)}$ вектора независимых переменных. При этом условие минимума функции $F(x) \rightarrow \min$, как правило, не выполняется. Поэтому делают некоторый шаг $\Delta x^{(0)}$, чтобы приблизить решение к оптимуму, и получают начальное приближение для следующего шага:

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(0)}$$

Затем делают новый шаг $\Delta x^{(1)}$ и так далее до достижения оптимума.

Алгоритм градиентного метода

1. На каждом i -ом шаге определяется направление движения

$$\Delta x^{(i)} = -grad(F(x^i))$$

Необходимо вычислить все составляющие вектора градиента

$$\nabla F = grad(F) = \begin{pmatrix} \frac{\partial F}{\partial x_1} \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial x_n} \end{pmatrix}$$

2. Определяется значение текущей координаты. Для этого используется соотношение

$$x^{(i+1)} = x^{(i)} - h^{(i)} \nabla F^{(i)},$$

где $h^{(i)}$ - оптимальная длина шага вдоль вектора антиградиента. Значение $h^{(i)}$ находится с помощью метода наискорейшего спуска.

3. Определение близости к точке экстремума. Проверка осуществляется по двум возможным условиям:

$$а) |F^{i+1} - F^i| < \varepsilon,$$

где ε - заданная точность расчетов.

Если условие выполняется, то решение получено, если нет, то процедура осуществляется повторно, начиная с пункта 1.

б) более строгий критерий соответствия полученного решения оптимальному.

Вычисляется норма (длина) вектора градиента

$$\|\nabla F\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)^2}$$

Если $\|\nabla F\| < \varepsilon$, значит $x^{(i+1)}$ является решением, если условие не выполняется, то осуществляется переход к пункту 1.

При решении задачи условной оптимизации для учета ограничений используются два метода [1-2].

1. Фиксация переменной на нарушенном пределе.

Данный метод применяется при учете граничных условий вида $a \leq x \leq b$. Если на текущей итерации $x_i < a$, то фиксируется $x_i = a$. Если на текущей итерации $x_i > b$, то фиксируется $x_i = b$ [3-4].

2. Метод штрафной функции.

Метод применяется для ограничений вида $g(x) = 0$. Для учета ограничения вводится штрафная функция, значение которой определяется исходя из:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$$\varphi(g(x)) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \in \text{ОДР} \Rightarrow g(x) = 0 \\ \gg 0 & \text{при } x \notin \text{ОДР} \Rightarrow g(x) \neq 0 \end{cases}$$

Например,

$$\varphi(g(x)) = k \cdot \sum_i g_i^2(x)$$

где k - постоянный коэффициент, значительно превышающий возможные значения целевой функции.

Формируется специальная функция, которая включает в себя целевую и штрафную функции:

$$\Phi(x) = F(x) + \varphi(g(x)) \rightarrow \min$$

Если на текущей итерации $x \in \text{ОДР}$, то штрафная функция $\varphi(g(x)) = 0$

$$\Phi(x) = F(x) \rightarrow \min$$

Если $x \notin \text{ОДР}$, то $g(x) \neq 0$ и штрафная функция за счет коэффициента k значительно превышает целевую функцию $\varphi(g(x)) \gg F(x)$. Поэтому в ходе минимизации вначале будет уменьшаться штрафная функция $\varphi(g(x))$ до тех пор, пока x не войдет в область допустимых решений (ОДР), т.е. пока не будет получено допустимое решение. Далее начинается процесс минимизации целевой функции $F(x)$.

5. Заключение

Выбор наиболее рационального алгоритма для оптимизации режима энергосистемы является важной задачей, так как для управления режимами с помощью ЭВМ в реальном времени необходимо обеспечить высокое быстродействие программ, реализующих алгоритм. Это быстродействие зависит не только от скорости вычислений ЭВМ, но и от математического метода, заложенного в алгоритм. Кроме того, различные методы неодинаковы по объему запоминаемой промежуточной информации, что также немаловажно при разработке программ оптимизации для компенсации реактивной мощности.

Литература

1. Любченко В.Я. Оптимизация режимов в СЭС: Конспект лекций, 2007.
2. Оптимизация систем электроснабжения. Задачи линейного и

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

нелинейного программирования: учебное пособие / В.Я. Любченко, С.В. Родыгина. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 90 с.

3. Реактивная мощность в системах электроснабжения: Учебное пособие /И.В.Жежеленко, Ю.Л.Саенко. – К.: УМК ВО, 1989. – 108 с.

4. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филлипова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат,1981.- 464 с.

Сведения об авторах

Ашурзода А.А. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Мирзоев А.М. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Амонов А.А. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛИНИЙ С ПРОВОДАМИ СИП И АС
НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ

Амонов А.А., Мирзоев А.М., Сайфуллоев Н.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъёев Дж.С.

*г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.
Осими*

[E-mail:javod_66@mail.ru](mailto:javod_66@mail.ru)

***Аннотация:** В статье произведен сравнительный анализ работы линий с проводами СИП и АС напряжением 35 кВ.*

***Ключевые слова:** провода, линия, проводимость, сопротивление, СИП.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF LINES WITH SIP AND AC WIRES WITH
VOLTAGE OF 35 kV

***Abstract:** The article provides a comparative analysis of the operation of lines with SIP and AC wires with a voltage of 35 kV.*

***Keywords:** wires, line, conductivity, resistance, self-supporting insulated wire.*

Введение

Многие десятилетия линии электропередачи монтировали с использованием провода АС, другими словами – голого металлического провода. Но в последнее время большей популярностью пользуется провод СИП. Им заменяют имеющиеся линии, применяют его при создании новых, и он постепенно вытесняет провод АС. С чем это связано, понять не сложно, проведя сравнительный анализ обоих видов проводов.

Эти провода, в первую очередь, различны по своей конструкции. АС провод состоит из алюминиевых проволок и имеет сердечник из стали. Самонесущий изолированный провод сконструирован из четырех скрученных изолированных проводов, один из которых служит в качестве несущего и нулевого или же совмещенного проводника.

Провод АС применяют для передачи электроэнергии и монтажа воздушных ЛЭП на суше в районах с умеренными климатическими условиями. Провод СИП предназначен для той же цели, но в воздушных осветительных и силовых сетях. Он подходит не только для крепления при помощи зажима ответственного на опорах ЛЭП, но и для ввода в жилые и не жилые помещения.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. Постановка задачи и исходные данные

Представленный участок является фрагментом схемы электрических соединений объектов электроэнергетики.

Представленный участок сети имеет:

- 6 узлов;
- 6 ветвей;
- суммарную нагрузку - 17 МВА;
- протяженность линий – 88.2 км;
- номинальное напряжение 35 кВ

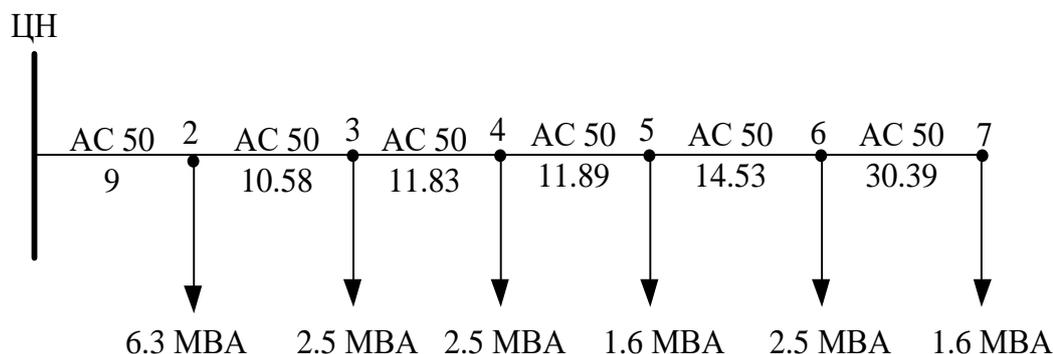


Рисунок 1 – Принципиальная схема участка сети 35 кВ

Расчёт по полному сопротивлению

Результаты по узлам:

N	V	dV	P	Q	Pg	Qb
1	38.500	0.000	-15.2158	-10.9871	0.0000	-0.0000
2	36.874	0.019	5.0400	3.7800	0.0000	-0.0000
3	35.625	0.022	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
4	34.530	0.028	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
5	32.961	0.035	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000
6	31.559	0.041	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
7	30.388	0.048	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000

Баланс по пассивным элементам (+ нагрузка, - генерация):

1.6159 0.7871 0.0000 0.0000

Результаты по ветвям:

N1	N2	P12	Q12	P21	Q21	DP
1	2	-15.2158	-10.9871	14.5697	10.5934	0.646123
2	3	-9.5297	-6.8134	9.2065	6.6549	0.323192
3	4	-7.2065	-5.1549	6.9845	5.0725	0.221985
4	5	-4.9845	-3.5725	4.7576	3.4454	0.226958

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

5 6 -3.4776 -2.4854 3.3294 2.4189 0.148156
 6 7 -1.3294 -0.9189 1.2800 0.9600 0.049439

Суммарные потери активной мощности: **1,615853** МВт



Рисунок 2. – Принципиальная схема участка сети 35 кВ с параллельной линией АС

Расчёт по полному сопротивлению

Результаты по узлам:

N	V	dV	P	Q	Pg	Qb
1	38.500	0.000	-14.6310	-10.2291	0.0000	-0.0000
2	37.151	0.006	5.0400	3.7800	0.0000	-0.0000
3	36.223	-0.004	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
4	35.483	-0.015	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
5	34.607	-0.041	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000
6	34.029	-0.076	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
7	34.448	-0.146	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000

Баланс по пассивным элементам (+ нагрузка, - генерация):

1.0310 0.0291 0.0000 0.0000

Результаты по ветвям:

N1	N2	P12	Q12	P21	Q21	DP
1	2	-12.6631	-9.0544	12.2183	8.8048	0.444714
2	3	-7.1783	-5.0248	7.0000	4.9718	0.178348
3	4	-5.0000	-3.4718	4.8984	3.4790	0.101590
4	5	-2.8984	-1.9790	2.8278	1.9667	0.070590
5	6	-1.5478	-1.0067	1.5225	1.0335	0.025276
6	7	0.4775	0.4665	-0.4839	-0.3776	0.006405

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

1 7 -1.9679 -1.1747 1.7639 1.3376 0.204056

Суммарные потери активной мощности: **1,030979** МВт

Оптимальный расчёт

Результаты по узлам:

N	V	dV	P	Q	Pg	Qb
1	38.500	0.000	-14.5933	-9.7257	0.0000	-0.0000
2	37.391	0.469	5.0400	3.7800	0.0000	-0.0000
3	36.661	0.854	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
4	36.096	1.205	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
5	35.503	1.774	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000
6	35.138	2.207	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
7	35.499	2.069	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000

Баланс по пассивным элементам (+ нагрузка, - генерация):

0.9933 -0.4743 0.0000 0.0000

Результаты по ветвям:

N1	N2	P12	Q12	P21	Q21	DP
1	2	-12.4229	-8.9286	11.9933	8.8368	0.429531
2	3	-6.9533	-5.0568	6.7838	5.0792	0.169564
3	4	-4.7838	-3.5792	4.6882	3.6344	0.095614
4	5	-2.6882	-2.1344	2.6228	2.1652	0.065316
5	6	-1.3428	-1.2052	1.3198	1.2501	0.023033
6	7	0.6802	0.2499	-0.6877	-0.1508	0.007466
1	7	-2.1704	-0.7971	1.9677	1.1108	0.202756

Суммарные потери активной мощности: **0,993280** МВт

Исходная сеть с параллельной линией СИП

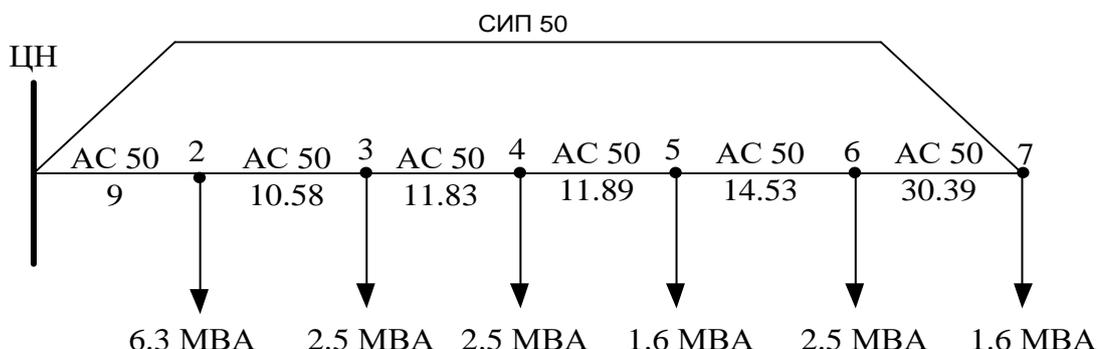


Рисунок 3. – Принципиальная схема участка сети 35 кВ с параллельной линией АС

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Расчёт по полному сопротивлению

Результаты по узлам:

N V dV P Q Pg Qb

1	38.500	0.000	-14.6243	-9.4792	0.0000	-0.0000
2	37.172	0.046	5.0400	3.7800	0.0000	-0.0000
3	36.269	0.086	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
4	35.555	0.135	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
5	34.733	0.232	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000
6	34.218	0.356	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
7	34.761	0.616	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000

Баланс по пассивным элементам (+ нагрузка, - генерация):

1.0243 -0.7208 0.0000 0.0000

Результаты по ветвям:

N1 N2 P12 Q12 P21 Q21 DP

1 2	-12.2886	-9.1576	11.8576	8.9178	0.431067
2 3	-6.8176	-5.1378	6.6484	5.0915	0.169159
3 4	-4.6484	-3.5915	4.5540	3.6040	0.094450
4 5	-2.5540	-2.1040	2.4914	2.0977	0.062575
5 6	-1.2114	-1.1377	1.1909	1.1684	0.020438
6 7	0.8091	0.3316	-0.8206	-0.2450	0.011518
1 7	-2.3357	-0.3217	2.1006	1.2050	0.235102

Суммарные потери активной мощности: **1,024310** МВт

Оптимальный расчёт

Результаты по узлам:

N V dV P Q Pg Qb

1	38.500	0.000	-14.5770	-9.0835	0.0000	-0.0000
2	37.389	0.452	5.0400	3.7800	0.0000	-0.0000
3	36.656	0.819	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
4	36.088	1.147	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
5	35.485	1.674	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000
6	35.105	2.054	2.0000	1.5000	0.0000	-0.0000
7	35.432	1.808	1.2800	0.9600	0.0000	-0.0000

Баланс по пассивным элементам (+ нагрузка, - генерация):

0.9770 -1.1165 0.0000 0.0000

Результаты по ветвям:

N1 N2 P12 Q12 P21 Q21 DP

1 2	-12.4908	-8.8042	12.0623	8.7127	0.428575
-----	----------	---------	---------	--------	----------

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2 3	-7.0223	-4.9327	6.8533	4.9553	0.168926
3 4	-4.8533	-3.4553	4.7583	3.5106	0.095074
4 5	-2.7583	-2.0106	2.6937	2.0415	0.064593
5 6	-1.4137	-1.0815	1.3913	1.1264	0.022405
6 7	0.6087	0.3736	-0.6158	-0.2748	0.007078
1 7	-2.0862	-0.2793	1.8958	1.2348	0.190364

Суммарные потери активной мощности: **0,977015** МВт

Вывод о результатах расчёта сети 35кВ

1. Представленная электрическая сеть на напряжение 35 кВ является радиально-магистральной линией электропередачи, содержащая 7 узлов. Первый узел принят в качестве базисного и балансирующего с напряжением равным 38,5 кВ. Исходный режим показывает:

- напряжение в последнем узле №10 равно 30,3 кВ;
- общие суммарные потери активной мощности $\Delta P_{\Sigma}=1,61$ МВт.

2. Для повышения качества напряжения и снижение потерь активной мощности параллельно узлам 1-7 прокладывается линия СИП сечением 50 мм². Расчёт потокораспределения показал:

- напряжение в последнем узле 7 повысилось и составляет $U=34,7$ кВ;
- общие суммарные потери активной мощности $\Delta P_e=1,02$ МВт;
- поток активной мощности по линии СИП составил $(2,10 + j1,20)$ МВА;

3. В связи с тем, что возникло явление неоднородности электрической сети ($\frac{R}{X} \neq \text{const}$) предыдущий режим параллельных линий не является оптимальным. Для определения оптимального режима, обеспечивающего минимум суммарных потерь активной мощности, необходимо рассчитать потокораспределение в электрической сети по активному сопротивлению. В результате получено:

- напряжение в конце линии равно $U=35,4$ кВ
- суммарные потери активной мощности $\Delta P_{\text{opt}}=0,97$ МВт.

Будем исходить из того, что это минимум суммарных потерь активной мощности, которого можно достичь в данной электрической сети при условии что $\frac{R}{X} = \text{const}$ для параллельных линий. В оптимальном режиме:

- поток мощности по СИП должен составлять $(1,89 + j1,23)$ МВА;
- оптимальные потери на 0,05 МВт ($\Delta P_e - \Delta P_{\text{opt}}$) меньше естественных потерь.

4. Альтернативный вариант параллельной линии рассматривается, как строительство линии с проводами АС сечение 150 мм². Электрическая сеть

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

также является не однородной. Результаты расчётов:

- напряжение в последнем №7 узле составляет $U=34,4$ кВ;
- суммарные потери активной мощности $\Delta P_e=1,03$ МВт, что выше оптимальных потерь равных $\Delta P_{\Sigma}=0,97$ МВт;
- Поток мощности по новой линии АС составляет $(1,76+j1,33)$ МВА.

5. Оптимальное потокораспределение в этом случае, определяемое по схеме с активными сопротивлениями, показывает:

- напряжение в последнем узле $U=35,4$ кВ;
- суммарные потери $\Delta P_{opt}=0,99$ МВт.

Таким образом, оптимальные минимальные потери ΔP_e ниже на $0,04$ МВт.

4. Заключение

Можно заключить, что параллельная линия с конструкцией СИП позволяет иметь меньшие потери активной мощности в оптимальном режиме $\Delta P_{opt}=0,97$ МВт с СИП против $\Delta P_{opt}=0,99$ МВт с АС. То есть меньше на $0,02$ МВт. В то время как в нормальном режиме без оптимизации картина обратная суммарные потери с проводом СИП $\Delta P_e=1,02$ МВт в то время как с АС $\Delta P_e=1,03$ МВт.

Литература

1. Системы СИП. Марки и характеристики СИП проводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zametkielectrika.ru/karakteristiki-sip>. – Загл. с экрана.
2. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5)
3. Технические данные и описание кабеля "СИП-1, СИП-2, СИП-3" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kabelopt.ru/kabelinfo2439.php>. – Загл. с экрана.
4. Российская Федерация Правила Устройства Электроустановок (ПУЭ) № 204 УТВЕРЖДЕНЫ Приказом Минэнерго России от 2002 – 08. июля.
5. Провода для высоковольтных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energyland.info/analitic-show-104569>. – Загл. с экрана.
6. Лыкин А.В. Электрические системы и сети учебное пособие /Лыкин А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 248 с.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

7. Глазунов А.А. и Глазунов А.А. Электрические системы и сети учебное пособие / – Москва: государственное энергетическое Изд-во, 1960. – 367с
8. Идельчик В.И. Электрические системы и сети учебное пособие для вузов / – Москва: Энергоатомиздат, 1989 – 592 с.
9. Файбисович Л.Д. Справочник по проектированию электрических сетей / – Москва Изд-во НЦ ЭНАС, 2009. – 392 с.

Сведения об авторах

Амонов А.А. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Мирзоев А.М. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Сайфуллоев Н.К. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ
ВОЗДУШНОЙ ЛЭП 500 кВ**

Рахматов Р.Дж., Наимов С.Х., Мамадджонова Д.Т.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рахимзода Дж.Б.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.

Осими

E-mail: jam-rahimov@mail.ru

***Аннотация:** В статье рассмотрены способы увеличения пропускной способности линий электропередачи напряжением 500 кВ.*

***Ключевые слова:** схема замещения, пропускная способность, номинальное напряжение, реактивная проводимость, индуктивное сопротивление.*

**DETERMINATION OF THE MAXIMUM TRANSMITTED POWER OF 500
KV OVERHEAD POWER LINE**

***Abstract:** The article discusses ways to increase the capacity of 500 kV power transmission lines.*

***Keywords:** equivalent circuit, bandwidth, rated voltage, reactive conductivity, inductive reactance.*

Введение

Под пропускной способностью линии электропередач понимают активную или полную мощность, которая длительно может передаваться с учетом технических ограничений. К ограничениям относятся: 1 предел передаваемой мощности, учитывающий устойчивость параллельной работы электростанций и узлов нагрузки. 2 допустимый ток по нагреву проводников. 3 допустимая потеря напряжения. 4 пропускная способность конечных и промежуточных устройств. 5 вынужденные установки релейной защиты. Проектирование линий электропередачи проводят так, чтобы ограничения 4 и 5 не были решающими. Ограничения 1 и 2 обычно проявляются в сетях высоких напряжений, при номинальных напряжениях 110-220 кВ и выше. Ограничение 5 характерно для распределительных линий и сетей напряжением 20-0,38 кВ, а иногда и для сетей напряжением 35 кВ.

Одним из методов повышения пропускной способности линии электропередачи является применение устройств продольной емкостной компенсации. Кроме того, применение управляемых устройств продольной компенсации оказывает влияние на показатели статической устойчивости электроэнергетической системы. Таким образом, целесообразно

проанализировать влияние регулируемых параметров управляемого устройства продольной компенсации на пропускную способность линии при рассмотрении режимов на границах областей устойчивости с учетом автоматических регуляторов возбуждения.

2. Постановка задачи и исходные данные

На рис. 1. представлена схема замещения воздушной линии электропередачи, номинальное напряжение которой равно 500 кВ.

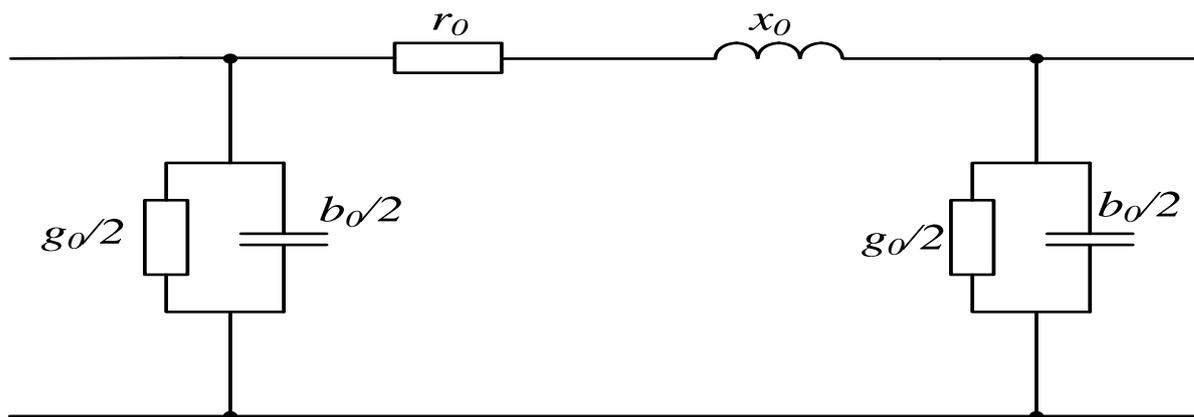


Рисунок 1 – Схема замещения линии электропередачи для расчета установившихся режимов

Параметры воздушной линии электропередачи Душанбе 500 – Сугд сечение которой АС - 3·400 следующие: удельное активное сопротивление $r_0=0,025$ Ом/км; удельное индуктивное сопротивление $x_0=0,306$ Ом/км; удельная активная проводимость $g_0=2,25 \cdot 10^{-8}$ См/км; удельная реактивная проводимость $b_0=3,62 \cdot 10^{-6}$ См/км.

Определяем сдвиг по фазе напряжений начала и конца линий электропередачи Душанбе 500 – Сугд напряжением 500 кВ.

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \sqrt{x_0 b_0} = \sqrt{0,306 \cdot 3,62 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 1,052 \cdot 10^{-3} \text{ рад} / \text{км} = 0,06 \text{ эл.град} / \text{км}; \\ \alpha_0 &= \frac{r_0 \cdot b_0}{2 \cdot \beta_0} = \frac{0,025 \cdot 3,62 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1,052 \cdot 10^{-3}} = 0,043 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Из полученной величины β_0 следует, что на 1 км ЛЭП при передаче натуральной мощности (при подключении сопротивления, равного волновому) происходит сдвиг по фазе на $0,06^\circ$.

На рис. 2. представлена зависимость сдвиг по фазе напряжений начала и конца от длины линий электропередачи.

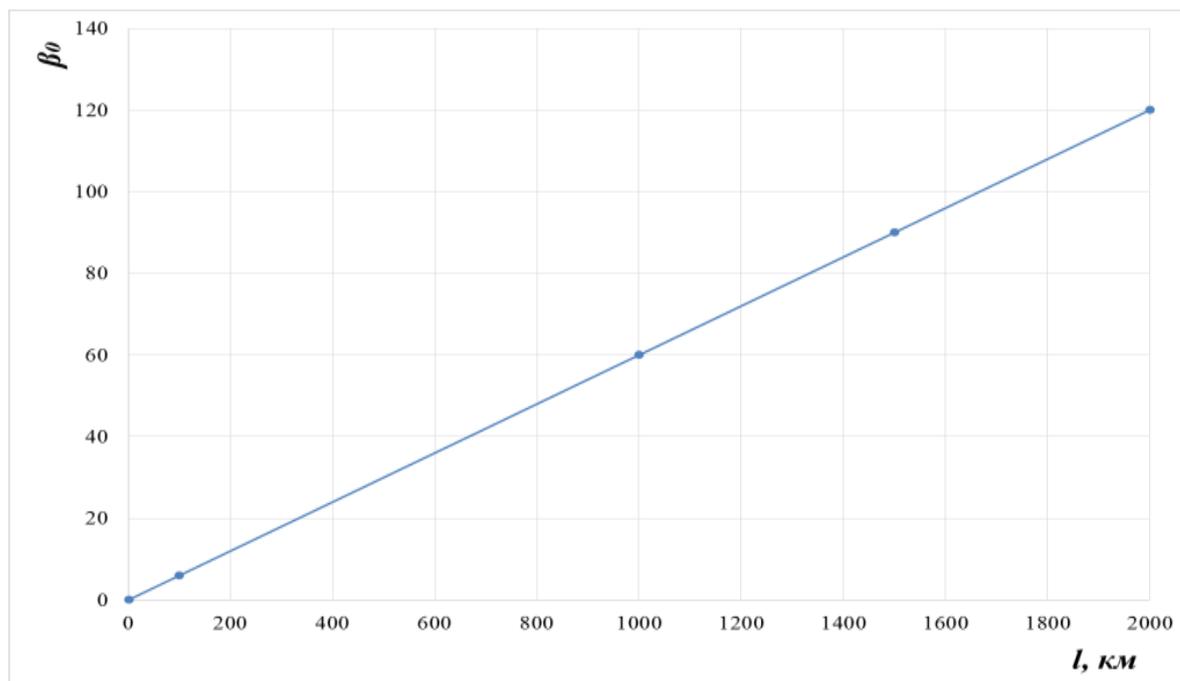


Рисунок 2. – Зависимость сдвиг по фазе напряжений начала и конца от длины линий электропередачи

Из рис. 2. видно, что на 1000 км имеем 60°, на 3000 км – 180°. Полная волна (сдвиг по фазе на 360°) укладывается в длине ЛЭП 6000 км. Величина α₀ означает, что для напряжений начала и конца каждого километра ЛЭП выполняется соотношение $\ln(U_1/U_2)=0,043 \cdot 10^{-3}$.

Определяем волновое сопротивление линий электропередачи Душанбе 500 – Сугд напряжением 500 кВ.

$$Z_c = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} = \sqrt{\frac{0,025 + j0,306}{2,25 \cdot 10^{-8} + j3,62 \cdot 10^{-6}}} = (291 - j11,9) \text{ Ом.}$$

Следовательно, натуральная мощность передачи близка к активной, поэтому полное значение S_H обычно заменяется величиной P_H . Поскольку для рассматриваемой ЛЭП

$$S_H = \frac{U_{ном}^2}{Z_c} = \frac{500^2}{291 - j11,9} = 857 + j35 \text{ МВА,}$$

то в качестве натуральной мощности принимают $P_H=857$ МВт.

Определяем значение максимальной передаваемой мощности по ЛЭП 1 Нурек – Регар.

$$P_{пер}^{H-P} = P_{нат} \cdot \frac{U_H}{U_P} \cdot \frac{1}{\sin \lambda} = 857 \cdot \frac{525}{498,782} \cdot \frac{1}{\sin 37,97} = 1466,15 \text{ МВт.}$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

где λ – волновая длина линии.

$$\lambda = \omega \cdot \beta_0 \cdot l = 314 \cdot 1,052 \cdot 10^{-3} \cdot 114,9 = 37,97^0$$

Определяем значение максимальной передаваемой мощности по ЛЭП 2 Нурек – Регар.

$$P_{пер}^{Н-Р} = P_{нат} \cdot \frac{U_H}{U_P} \cdot \frac{1}{\sin \lambda} = 857 \cdot \frac{525}{498,782} \cdot \frac{1}{\sin 36,65} = 1511,16 \text{ МВт.}$$

где λ – волновая длина линии.

$$\lambda = \omega \cdot \beta_0 \cdot l = 314 \cdot 1,052 \cdot 10^{-3} \cdot 114,9 = 36,65^0$$

Определяем значение максимальной передаваемой мощности по ЛЭП Регар – Душанбе 500.

$$P_{пер}^{Р-Д} = P_{нат} \cdot \frac{U_P}{U_D} \cdot \frac{1}{\sin \lambda} = 857 \cdot \frac{498,782}{488,245} \cdot \frac{1}{\sin 16,52} = 3078,94 \text{ МВт.}$$

где λ – волновая длина линии.

$$\lambda = \omega \cdot \beta_0 \cdot l = 314 \cdot 1,052 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 16,52^0$$

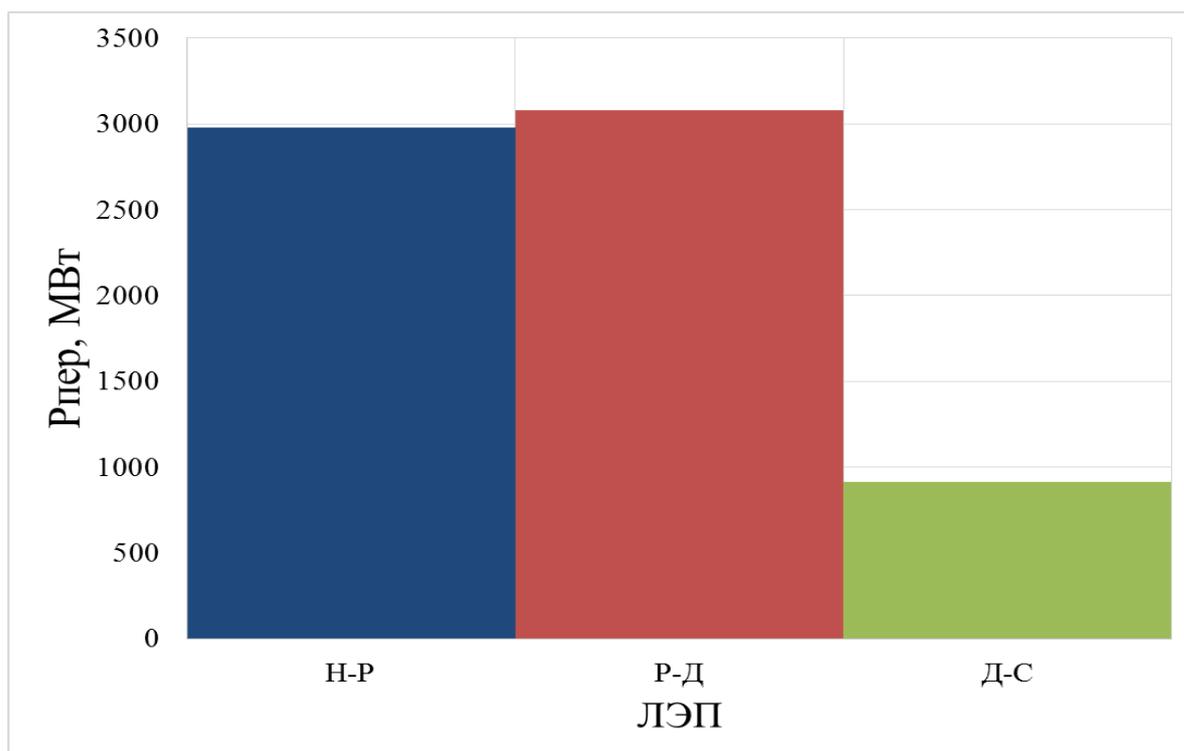


Рисунок 3. – Изменение передаваемой мощности по ЛЭП 500 кВ

Определяем значение максимальной передаваемой мощности по ЛЭП Душанбе 500 – Сугд.

$$P_{пер}^{Д-С} = P_{нат} \cdot \frac{U_D}{U_C} \cdot \frac{1}{\sin \lambda} = 857 \cdot \frac{488,245}{484,56} \cdot \frac{1}{\sin 70,4} = 916,63 \text{ МВт.}$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

где λ – волновая длина линии.

$$\lambda = \omega \cdot \beta_0 \cdot l = 314 \cdot 1,052 \cdot 10^{-3} \cdot 213 = 70,4^0$$

На рис. 3. в виде гистограммы показана изменение максимальной передаваемой мощности по ЛЭП 500 кВ электрической сети.

Из рис. 3 видно, что с увеличением длины воздушной линии электропередачи (увеличении индуктивной сопротивлении) значение максимальной передаваемой мощности уменьшается.

Определяем пропускной способности ЛЭП в нормальном режиме.

Нурек – Регар.

$$P_{max}^{H-P} = \frac{P_{nep}^{H-P}}{1,2} = \frac{2977,31}{1,2} = 2481,1 \text{ MВт.}$$

Регар – Душанбе 500.

$$P_{max}^{P-D} = \frac{P_{nep}^{P-D}}{1,2} = \frac{3078,94}{1,2} = 2565,8 \text{ MВт.}$$

Душанбе 500 – Сугд.

$$P_{max}^{D-C} = \frac{P_{nep}^{D-C}}{1,2} = \frac{916,33}{1,2} = 763,61 \text{ MВт.}$$

Используя значений активной мощности, которые передаются по ЛЭП 500 кВ, определяем коэффициент запаса статической устойчивости в нормальном режиме.

Нурек – Регар.

$$K_3^{H-P} = \frac{P_{max}^{H-P}}{P_{z1}^{H-P}} = \frac{2481,1}{1823,757} = 1,36.$$

Регар – Душанбе 500.

$$K_3^{P-D} = \frac{P_{max}^{P-D}}{P_{z1}^{P-D}} = \frac{2565,8}{904,1} = 2,84.$$

Душанбе 500 – Сугд.

$$K_3^{D-C} = \frac{P_{max}^{D-C}}{P_{z1}^{D-C}} = \frac{763,61}{519,85} = 1,47.$$

Как видно из результатов расчета пропускной способности ЛЭП 500 кВ в нормальном режиме, запас по статической устойчивости каждой ЛЭП составляет более 20 %, где 20 % является критерием статической устойчивости.

4. Заключение

Исходя, из полученных результатов можно сделать вывод, что в настоящее время на линиях электропередачи, номинальное напряжение

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

которых составляет 500 кВ, нет необходимости устанавливать компенсирующие устройство.

Литература

5. Лыкин, А.В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов: учебное пособие / А.В. Лыкин. – 2 – е изд. перераб. и доп. – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2009. – 228 с.
6. Тиходеев Н. Н. Передача электрической энергии. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, ЛО, 1984. 248 с.
7. L. Ming, F. Sahlen, K. Johansson, E. Martensson, and O. Koponen, “Investigations on End Corona Protection System for Converter-fed HV Motors,” Int. Electr. Insul. Conf. (INSUCON), May 2009.
8. Александров Г. Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, ЛО, 1989. 360 с.
9. Чехов В. И. Пути и способы повышения пропускной способности линий электропередачи. М.: МЭИ, 1991. 56 с.

Сведения об авторах

Наимов С.Х. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Рахматов Р.Дж. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Мамаджонова Д.Т. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ
ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОТКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

Гафоров А.Дж., Саидализода Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рахимзода Дж.Б.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.

Осими

E-mail: jam-rahimov@mail.ru

***Аннотация:** В статье произведен анализ параметров переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН) на основе расчёта токов трехфазных КЗ в узлах напряжением 110, 220 и 500 кВ электроэнергетической системы Республики Таджикистан.*

***Ключевые слова:** выключатели, номинальное напряжение, номинальные токи, токи коротких замыканий, переходные процессы.*

**DETERMINATION OF ELECTRICAL NETWORK PARAMETERS FOR
ASSESSING THE CONFORMITY OF THE BREAKING CAPACITY OF
CIRCUIT BREAKERS**

Abstract: The article analyzes the parameters of transient recovery voltages (TRV) based on the calculation of three-phase short-circuit currents in 110, 220 and 500 kV nodes of the electric power system of the Republic of Tajikistan.

Keywords: switches, rated voltage, rated currents, short-circuit currents, transient processes.

Введение

В целях повышения уровня благосостояния населения осуществляется рост экономики, сопровождающийся увеличением генерирующих мощностей за счет строительства новых крупных электростанций и развития электрических сетей. При этом уровни токов коротких замыканий (КЗ) в сетях различного напряжения электроэнергетической системы (ЭЭС) РТ возрастают. Параметры электротехнического оборудования, ранее установленного на электростанциях и подстанциях ЭЭС РТ, в том числе высоковольтных выключателей (ВВ), могут оказаться не соответствующими уровню токов КЗ и параметрам переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН), что может привести к росту аварийности и к недоотпуску электроэнергии потребителям.

В связи с этим актуальной является проблема оценки соответствия отключающей способности выключателей с номинальными напряжениями 110,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

220 и 500 кВ, установленных на ПС и электрических станциях ЭЭС РТ, токам КЗ и параметрам ПВН.

2. Постановка задачи и исходные данные

Анализ параметров ПВН выполнен на основе расчёта токов трехфазных КЗ $I_{КЗ}^{(3)}$ в узлах напряжением 110, 220 и 500 кВ ЭЭС РТ, вычисленных с помощью программного комплекса *NEPLAN*. Номинальные токи отключения выключателей $I_{откл.ном}$, установленных в линейных присоединениях $N_{ЛП}$ равны:

- Для 110 кВ – 20, 25 и 40 кА;
- Для 220 кВ – 25, 40 и 50 кА;
- Для 500 кВ – 50 кА.

Результаты расчетов токов трехфазных КЗ на шинах, всех рассматриваемых ПС ЭЭС РТ показали, что они находятся в следующих пределах от номинальных токов отключения выключателей:

- Для 110 кВ – 20 – 100 %;
- Для 220 кВ – 25 – 75 %;
- Для 500 кВ – 14 – 30 %.

Для расчета скорости нарастания ПВН на контактах выключателей в режиме неудаленного КЗ принята схема электрической сети, представленная на рисунке 1. Расстояние от выключателя до точки КЗ принято равным 1 км [1].

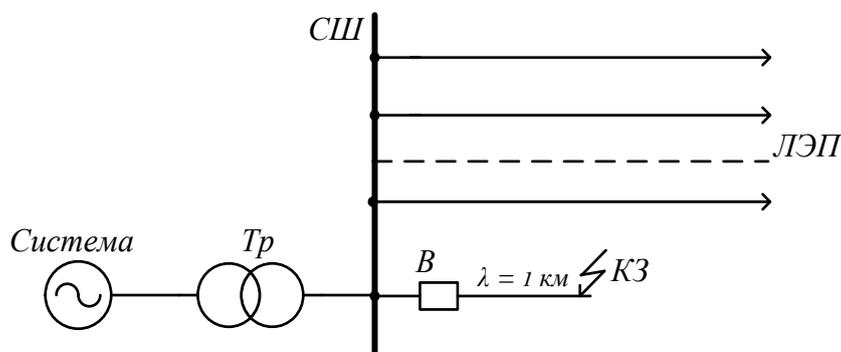


Рисунок 1. Схема электрической сети для расчета ПВН

Расчётные значения токов трехфазных КЗ, отношения значений токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей и параметры РУ рассматриваемых ПС 110, 220 и 500 кВ ЭЭС РТ, приведены в таблицах 1.1, 1.2 и 1.3.

Таблица 1.1. Расчётные значения токов трехфазных КЗ, отношения значений токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей и параметры РУ рассматриваемых ПС 110 кВ ЭЭС РТ

ПС	Тип выключателя	$N_{Л}$, шт.	$I_{КЗ}^{(3)}$, кА	$I_{откл.ном}$, кА	$I_{КЗ}^{(3)}/I_{откл.ном}$, %
----	-----------------	---------------	---------------------	---------------------	---------------------------------

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ТТМ	масляный	2	16,816	25	67,3
Академгородок	масляный	2	12,252	40	30,6
Шахри	масляный	2	14,949	25	59,8
Герань	масляный	5	5,018	20	25
Главная	элегазовый	2	17,572	40	43,9
Советская	масляный	2	15,905	20	79,5
Заводская	масляный	3	14,999	25	60
Хатлон	элегазовый	4	8,866	40	22,2
Ордж-Абад2	масляный	9	13,927	20	69,6
Восе	масляный	6	8,787	25	35,2
Колохозабад	масляный	5	8,817	20	44
Северная	масляный	5	15,581	20	77,9

Таблица 1.2. Расчётные значения токов трехфазных КЗ, отношения значений токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей и параметры РУ рассматриваемых ПС 220 кВ ЭЭС РТ

ПС	Тип выключателя	$N_{л}$, шт.	$I_{КЗ^{(3)}}$, кА	$I_{откл.ном}$, кА	$I_{КЗ^{(3)}}/I_{откл.ном}$, %
Регар	элегазовый	3	13,99	40	34,975
Новая	элегазовый	3	14,17	40	35,425
Равшан	элегазовый	2	11,24	40	28,1
Лолазор	элегазовый	6	17,2	50	34,4
ДТЭЦ2	элегазовый	2	13,03	50	26,06
Душанбе500	элегазовый	6	15,21	50	30,42
Нурек (ГЭС)	элегазовый	5	26,5	40	66,25
Байпазинская	масляный	4	18,72	25	74,88
Головная	масляный	4	15,14	25	60,56
Сангтуда1	элегазовый	8	17,68	40	44,2
Джангал	элегазовый	3	13,19	25	52,76
Яван	масляный	2	16,58	25	66,32

Таблица 1.3. Расчётные значения токов трехфазных КЗ, отношения значений токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей и параметры РУ рассматриваемых ПС 500 кВ ЭЭС РТ

ПС	Тип выключателя	$N_{л}$, шт.	$I_{КЗ^{(3)}}$, кА	$I_{откл.ном}$, кА	$I_{КЗ^{(3)}}/I_{откл.ном}$, %
Регар	элегазовый	3	9,13	50	18,3
Душанбе	элегазовый	2	7,329	50	14,7
Нурек	элегазовый	2	13,22	50	26,4

Из таблиц 1.1, 1.2 и 1.3 видно, что отношения токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей составляют 14,7 – 98,3 %,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

поэтому для оценки соответствия отключающей способности ВВ параметрам ПВН были рассмотрены следующие случаи:

1. Отключения токов КЗ, равных 10, 30, 60 и 100 % от номинального тока отключения выключателя с номинальным напряжением 110 кВ;
2. Отключения токов КЗ, равных 10, 30, 60 и 100 % от номинального тока отключения выключателя с номинальным напряжением 220 кВ;
3. Отключения токов КЗ, равных 10 и 30 % от номинального тока отключения выключателя с номинальным напряжением 500 кВ.

На рисунках 1.1., 1.2. и 1.3. показаны полученные зависимости расчетных скоростей нарастания ПВН от отношения значений токов трехфазных КЗ $I_{КЗ}^{(3)}$ к номинальным токам отключения выключателей $I_{откл.ном}$ на контактах выключателей с номинальным напряжением 110, 220 и 500 кВ. По оси абсцисс находятся отношения значений токов трехфазных КЗ на выводах выключателя к номинальным токам отключения выключателей, а по оси ординат находятся расчетные значения скоростей нарастания ПВН на контактах выключателей.

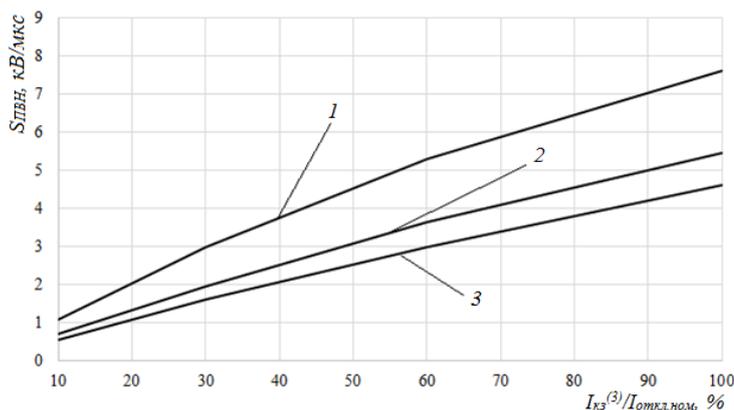


Рисунок 1.1. Зависимости расчетных скоростей нарастания ПВН от отношений $I_{КЗ}^{(3)}/I_{откл.ном}$ для выключателей с $I_{откл.ном} = 40$ кА (кривая 1), 25 кА (кривая 2) и 20 кА (кривая 3) и с $U_{ном} = 110$ кВ

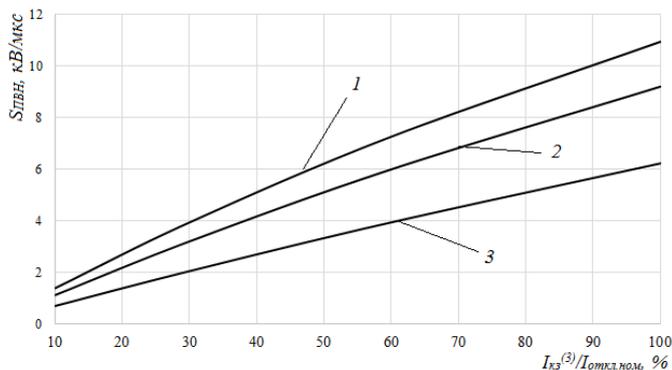


Рисунок 1.2. Зависимости расчетных скоростей нарастания ПВН от отношений $I_{КЗ}^{(3)}/I_{откл.ном}$ для выключателей с $I_{откл.ном} = 50$ кА (кривая 1), 40 кА (кривая 2) и 25 кА (кривая 3) и с $U_{ном} = 220$ кВ

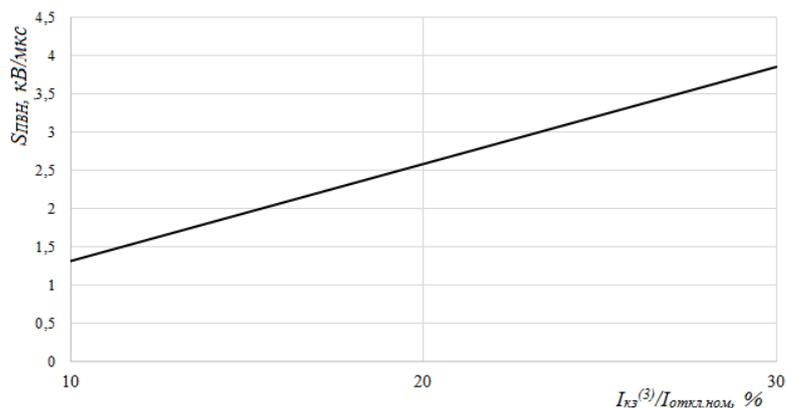


Рисунок 1.3. Зависимость расчетных скоростей нарастания ПВН от отношений $I_{кз}^{(3)}/I_{откл.ном}$ для выключателей с $I_{откл.ном} = 50 \text{ кА}$ и с $U_{ном} = 500 \text{ кВ}$

Кривые скорости нарастания ПВН построены для случаев отключения выключателем с номинальными напряжениями 110, 220 и 500 кВ токов трехфазных КЗ в пределах от 2 до 50 кА в режиме неудаленного КЗ на ЛЭП на расстоянии 1 км от выключателя. Количество неповрежденных линейных присоединений шин РУ рассматриваемых ПС принято равным 4 шт. Зависимости скоростей нарастания ПВН от отношения значений токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей для линейных присоединений шин РУ равных от 2 до 11 шт.

Из рисунков 1.1., 1.2. и 1.3. следует, что при увеличении отношений значений токов трехфазных КЗ к номинальным токам отключения выключателей, скорость нарастания ПВН возрастает. Например, из рисунка 1.1. видно, что при отключении тока КЗ, равного 60 % от номинальных токов отключения выключателей, которые равны на 20, 25 и 40 кА, скорости нарастания ПВН составляют 3; 3,6 и 5,3 кВ/мкс.

3. Заключение

Для проверки выключателей по отключающей способности по параметрам ПВН, были сопоставлены расчетные значения ПВН с нормируемыми параметрами ПВН для данных выключателей. Так как на ПС электрических сетей ЭЭС РТ установлены как элегазовые, так и масляные ВВ, для сравнения расчетных скоростей нарастания ПВН с нормированными параметрами, использовались ГОСТ 687 – 78 [2] и ГОСТ Р 52565 – 2006 [3].

Литература

10. Гусев Ю.П., Касобов Л.С., Каюмов А.Г., Рахимов Дж.Б. Проверка выключателей высокого напряжения по параметрам переходных восстанавливающихся напряжений // Энергетик. 2017. №9. С. 28 – 30.
11. ГОСТ 687 – 78: Выключатели переменного тока на напряжение

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

свыше 1000 В. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 687 – 70 и ГОСТ 688 – 67; введ. 1980 – 01 – 01. – М.: Госстандарт СССР, 1980. – 108 с.

12. ГОСТ Р 52565 – 2006: Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. – Введ. 2007 – 04 – 01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 91 с.

Сведения об авторах

Гафоров А.Дж. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Саидализода Н.С. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ
РАЗРАБОТКИ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Мусофев Ф.Ш., Саидализода Н.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рахимзода Дж.Б.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.

Осими

E-mail: jam-rahimov@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрены различные программные средства и комплексы для разработки расчетной модели энергосистемы Республики Таджикистан.

Ключевые слова: программный комплекс, модель, разработка, энергосистема, режим.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF SOFTWARE FOR THE
DEVELOPMENT OF A CALCULATION MODEL OF THE ENERGY
SYSTEM OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Abstract: The article examines various software tools and complexes for developing a calculation model of the energy system of the Republic of Tajikistan.

Keywords: software package, model, development, power system, mode.

Введение

Надежное и качественное электроснабжение (ЭС) потребителей зависит от качества проектирования и эксплуатации электроэнергетического оборудования (ЭЭО). Современные условия дефицита времени требуют от специалистов электроэнергетической отрасли принятия оперативных, технически грамотных и обоснованных решений. Таковые могут быть приняты лишь грамотными и опытными специалистами на основании инженерных изысканий и соответствующих расчетов. В частности, выбор параметров электротехнического (ЭТ) и ЭЭО основан на результатах расчета установившихся электрических режимов и токов короткого замыкания (ТКЗ). Оперативный расчет данных параметров возможен только при наличии персонала, способного использовать современное прикладное программное обеспечение. Обучение прикладных специалистов для нужд современного производства включает в себя изучение современных наиболее распространенных прикладных программ, которые повышают производительность труда, и качество получаемых результатов. Цифровое моделирование современных электроэнергетических систем (ЭЭС) в настоящее

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

время является неотъемлемой частью повседневной исследовательской деятельности.

Электрическая система как часть ЭЭС представляет собой широко разветвленную сеть источников электромагнитной энергии (генераторов) и потребителей этой энергии (нагрузок), соединенных между собой передачами. Работа электрической системы характеризуется режимом и параметрами электрической системы, вернее значениями мощности, частоты, напряжений в узловых точках сети и значениями токов, протекающих по ее элементам, и электрическими параметрами элементов системы. Количественный показатель работы электрической системы – это вырабатываемая мощность, но со стороны потребителя качество вырабатываемой энергии характеризуется неизменными значениями напряжения и частоты.

Для ЭЭС характерны следующие режимы работы: нормальный, аварийный, послеаварийный и ремонтный, причем аварийный режим является кратковременным, а остальные – продолжительными. Основной причиной перехода энергосистемы из нормального (ремонтного) состояния к аварийному является КЗ. Для расчета ТКЗ необходимы параметры элементов электрической сети: ЛЭП, трансформаторов, автотрансформаторов, токоограничивающих реакторов, а также параметры источников ТКЗ: синхронных генераторов, асинхронных и синхронных двигателей. Допущения при расчете ТКЗ складываются из допущений метода расчета и допущений, принятых при формировании математической модели энергосистемы.

2. Постановка задачи и исходные данные

При проектировании и реконструкции электрических сетей необходимо не только выполнять расчеты установившихся режимов, но и выполнять расчеты токов КЗ. Расчеты установившихся режимов и токов КЗ решаются разными подразделениями проектных институтов и энергетических компаний с использованием различных программных средств, такими как *RastrWin*, *APM CP3A*, *TK3 – 3000*, *V – VI – 50ПЗ*, *NEPLAN* и т.д. Это приводит к тому, что в подразделениях проектных институтов и энергетических компаний используются различные расчетные модели одной и той же электрической сети, что является источником ошибок и не соответствует принципам автоматизированного проектирования.

В отличие от программных комплексов *APM CP3A*, *TK3 – 3000* и *V – VI – 50ПЗ* в программном комплексе *NEPLAN* расчеты токов КЗ решаются на той же расчетной модели, что и расчеты установившихся режимов. В программном комплексе *NEPLAN* расчеты токов КЗ выполняются в специальном модуле

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

«*Short Circuit*», а расчеты установившихся режимов – «*Loadflow*». Расчетная модель, которая используется для расчета токов КЗ, удовлетворяет самым жестким требованиям, предъявляемым к расчетам для выбора уставок релейных защит. Токи ветвей электрических сетей приводятся к своим номинальным напряжениям. Наряду с этим, учитываются точные значения коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и изменения сопротивлений обмоток при переключении ответвлений РПН и ПБВ.

В настоящее время программный комплекс *NEPLAN* в рамках расчетов токов КЗ позволяет определять:

- Начальные действующие значения периодической составляющей токов трехфазных КЗ, двухфазных КЗ, двухфазных КЗ на землю и однофазных КЗ;
- Начальные значения мощностей КЗ;
- Максимальные значения токов КЗ;
- Значения симметричных и несимметричных отключаемых токов КЗ;
- Значения апериодической составляющих токов КЗ в заданный момент времени;
- Значения термических токов КЗ.

Программный комплекс *NEPLAN* позволяет при заданной точке КЗ рассмотреть распределение токов по всем ветвям схемы, вывести в таблицу или на схему максимальные значения действующих токов КЗ.

Во время расчета токов двухфазного и однофазного КЗ на землю в заданной точке, схема замещения нулевой последовательности формируется автоматически на основе следующих факторов:

- Топологической структуры расчетной схемы;
- Информация о группе соединения обмоток трансформатора и режима его нейтрали;
- Информация о наличии и способе заземления грозозащитных тросов.

Что касается интерфейсов программных комплексов *АРМ СРЗА*, *ТКЗ – 3000*, *V – VI – 50ПЗ* и *NEPLAN* для расчета токов КЗ, то здесь преимущество имеет *NEPLAN*. Интерфейс *NEPLAN* прост и интуитивно понятен. Окно программы и ее основное меню напоминают стандартное окно *Windows*, что позволяет даже неопытному пользователю быстро сориентироваться и начать работу. В первую очередь необходимо отметить преимущества *NEPLAN* перед *АРМ СРЗА*, *ТКЗ – 3000* и *V – VI – 50ПЗ* при создании расчетной схемы.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Наличие в программном комплексе *NEPLAN* встроенной базы данных типового силового оборудования ЭЭС позволяет расходовать минимальное время на ввод расчетной схемы электрической сети. Например, для ввода ветви, достаточно выбрать необходимый элемент в базе: марка провода, тип трансформатора и т.п. Кроме того, базу данных можно самостоятельно дополнять и редактировать.

При вводе ветвей и узлов в программном комплексе *NEPLAN* мгновенно отображаются номер узла и ветви, класс напряжения, тип элемента. Перечень параметров электрооборудования определяется пользователем и применяется для всей расчетной схемы одновременно, что обеспечивает однородность расчетной схемы.

В программных комплексах *APM CP3A*, *TK3 – 3000* и *V – VI – 50ПЗ* вывод параметров электрооборудования расчетной схемы выполняются вручную для каждого элемента. Эта особенность программных комплексов требует больших затрат времени.

Значительно различается и графический вид расчетных схем электрических сетей в рассматриваемых программах. В *APM CP3A*, *TK3 – 3000* и *V – VI – 50ПЗ* электрическая сеть представлена принципиальной схемой, в то время как в *NEPLAN* используется однолинейная схема соединений электрических элементов. Это делает расчетную схему наглядной и удобной для чтения.

В программном комплексе *NEPLAN* уравнения для определения начальных действующих значений периодической составляющих токов КЗ зависят от типа КЗ:

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ $I_{n0}^{(3)}$ определяется по уравнению

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{E_{\text{ЭК}}}{Z_1}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ $I_{n0}^{(1)}$ определяется по уравнению:

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{3 \cdot E_{\text{ЭК}}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ $I_{n0}^{(2)}$ определяется по уравнению:

$$I_{n0}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_{\text{ЭК}}}{Z_1 + Z_2}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ $I_{n0}^{(1,1)}$ на землю определяется по уравнению:

$$I_{n0}^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{Z_2 \cdot Z_0}{(Z_2 + Z_0)^2}} \cdot \frac{E_{эк}}{\left(Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_0}{Z_2 + Z_0} \right)}$$

В вышеприведенных уравнениях приняты следующие обозначения:

$E_{эк}$ – эквивалентная ЭДС, кВ;

Z_1, Z_2, Z_0 – полное сопротивление прямой, обратной и нулевой последовательности электрической сети относительно точки КЗ, Ом.

С учетом вышеперечисленных преимуществ программного комплекса *NEPLAN* швейцарской компании ВСР, расчетная модель ЭЭС РТ для определения значений токов КЗ и оптимизирование СДС, будет разработана именно в этом программном комплексе. Программный комплекс *NEPLAN* представляет собой набор из 42 модулей, каждый из которых предназначен для решения конкретной задачи, например, расчета токов КЗ, надежности, оптимизация потоков мощности [1-2]. *NEPLAN* является программным средством, применяемым во всем мире для сетевого планирования, моделирования и анализа и используется в более чем 80 странах мира и около 600 электрическими компаниями [3].

4. Заключение

Процесс обработки результатов расчетов в АРМ СРЗА, ТКЗ – 3000 и V – VI – 50ПЗ весьма трудоемок. При большом количестве исследуемых узлов и ветвей сложно избежать ошибок. В *NEPLAN* результаты расчетов могут быть представлены как в виде различных по содержанию таблиц, так и выведенных на чертеж расчетной модели. При этом полученные таблицы могут быть переданы автоматически в Microsoft Excel посредством заранее подготовленных шаблонов.

Литература

1. Гусев О.Ю., Гусев Ю.П. и Трофимов В.А. Опыт использования расчетных моделей в распределительных сетях. Энергетик, 2015, №1. Стр. 25 – 27.
2. Рахимов Дж.Б., Насыр уулу К., Гусев Ю.П. О компьютерных технологиях в развитии электрических сетей // Энергия – 2017. Тезисы двенадцатой международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 7т. Т.3. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2017. – С. 20 – 21.
3. *NEPLAN Packages // NEPLAN Power System Analysis and*

Engineering. Zurich, Switzerland. URL:
http://www.neplan.ch/html/e/e_electricity_packages_default.htm.

4. Bizjak G., Zunko P., Povh D. Combined Model of SF6 Circuit Breaker for Use in Digital Simulation Programs. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 1, pp. 174 – 180, 2004.

Сведения об авторах

Мусоев Ф.Ш. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Саидализода Н.С. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

(на примере РЭС района И.Сомони г. Душанбе)

Рахимов Ф.М.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: rm-firdavs@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены задачи по определению уровня надежности распределительных сетей 6-10кВ. Выполнен анализ состояния распределительных сетей РЭС Исмоили Сомони города Душанбе, а также сформулирована математическая постановка задачи оценки надежности распределительных сетей.

Ключевые слова: электрические сети, надежность, линии электропередач, электроснабжение.

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF DISTRIBUTION ELECTRICITY
NETWORKS

(on the example of DEN of I. Somoni district of Dushanbe)

Abstract. The article considers the problems of determining the reliability level of 6-10 kV distribution networks. The analysis of the state of the distribution networks of the Ismoili Somoni RES of the city of Dushanbe was performed, and a mathematical formulation of the problem of assessing the reliability of distribution networks was formulated.

Keywords: electrical networks, reliability, power lines, power supply.

Введение. В настоящее время после реформирования ОАХК «Барки Точик» электроэнергетическая система (ЭЭС) Республики Таджикистан оказалась разделена между различными субъектами экономического права [1]. В связи с этим наряду с вопросом получения и распределения прибыли актуален вопрос необходимого уровня надежности энергосистемы [2-4]. Обоснование необходимого уровня надежности электроэнергетической системы (ЭЭС) имеет большое значение как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации, поскольку перерывы электроснабжения могут привести к значительному ущербу потребителей и другим негативным последствиям.

Для выработки решений, направленных на обеспечение надежного питания потребителей, используются оптимизационные и оценочные математические модели [5,6]. Первые позволяют находить оптимальные решения в соответствии с выбранной целевой функцией. Вторые

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

предназначены для технико-экономической оценки последствий мероприятий по повышению надежности.

Цель настоящей работы – установление основных факторов, оказывающих влияние на уровень надежности электроэнергетической системы РЭС Исмоили Сомони.

В настоящее время методы надежности систем электроснабжения достаточно проработаны. Надежность электроэнергетической системы принято разделять на структурную и функциональную, которая, в свою очередь, подразделяется на балансовую и режимную [3,6].

Для определения показателей надежности распределительных сетей района Исмоили Сомони приведем необходимые данные, далее на основе аналитического метода определяем основные показатели (табл. 1).

С учетом данные приведенных в таблице 1 и с целью снижения расчетов приведем основные расчетные формулы.

Таблица 1 - Данные для расчёта надёжности электроснабжения

№ п/п	Наименование Класс напряжения ЛЭП	Ед. изм.	РЭС И. Сомони	
			ВЛ	КЛ
1	10кВ	км	7,78	32,364
2	6кВ	км	66,722	204,101
3	0,4кВ	км	111,929	181,218
ВСЕГО:		км	200,952	417,683

Вероятность аварийного простоя ЛЭП определяется по формуле

$$q_{P,6} = \frac{\omega T_B + \mu T_P}{8760} \quad (1)$$

T – длительность периода наблюдения, T=8760 ч.

Таблица 2 - Показатели надежности линий электропередачи

Линия	Номинальное напряжение $U_{НОМ}$, кВ	ω ,* 1/год	T_B , ч /1	μ ,** 1/год	T_P **, ч/1
Воздушная	до 1	25	1,7	0,17	...
	6 - 10	7,64	5	0,17	...
Кабельная	до 1	10	24***	1	...
	6 - 15	7,5	16***	1	2

*На 100 км

**На одну линию

***Указано продолжительность ремонта

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С учетом данные о протяженности воздушных и кабельных ЛЭП (таблица 1) РЭС Исмоили Сомони, производим перерасчет показателей надежности приведенных в таблице 2.

$$\omega_{\text{лэп}} = \omega \cdot l, 1/\text{год} \quad (2)$$

Результаты вероятности аварийного простоя ЛЭП определяется с учетом перерасчета приведем в таблице 3.

Таблица 3 – Вероятность аварийного простоя линий электропередачи

Показатель	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$, кВ			
	Воздушная		Кабельная	
	до 1	6 - 10	до 1	6 - 15
$q_{P,6}$	0,543	0,324	4,964	3,239

Заключение

Для детальной оценки показателей надежности распределительных сетей 6-10 кВ необходимо располагать данными о количестве аварийных и преднамеренных отключении ЛЭП, а также их продолжительности по времени. При получении этих данных можно определит комплексные показатели надежности РЭС Исмоили Сомони, и на их основе предложит мероприятие по повышения надежности систем электроснабжения.

Литература

1. https://www.mewr.tj/?page_id=542 Реструктуризация электроэнергетического сектора Таджикистана (дата обращения 01.12.2024г.)
2. Руденко Ю. Н., Ушаков И. А. Надёжность систем энергетики. – М.: Наука, 1986. – 252 с.
3. Гук Ю. Б. Теория надёжности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
4. Кучеров Ю. Н. Влияние прерогативы надёжности электроснабжения на реформирование отрасли //Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2005. – № 1. – С. 2–8.
5. Чукреев Ю. Я., Чукреев М. Ю. Обеспечение надёжности при управлении развитием электроэнергетических систем для условий реформирования электроэнергетики // Известия РАН. Энергетика. – 2008. – № 4. – С. 39–51.
6. Розанов М. Н. Надёжность электроэнергетических систем. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200 с.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сведения об авторе

Рахимов Фирдавс Мирзоумарович – старший преподаватель кафедры «Электрические станции», Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИЙ

Джоншоев Ф., Рахимов Ф. М.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: rm-firdavs@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматриваются особенности проведения контроля состояния электрооборудования и контактных соединений, с целью перехода на обслуживание по фактическому состоянию оборудования. Приводятся преимущества бесконтактной диагностики электрооборудования способом тепловизионного контроля. Определены критерии оценки состояния контактных соединений на примере разъединителя напряжением 35 кВ. Предлагаемый бесконтактный метод оценки и контроля электрооборудования и контактных соединений позволяют увеличивать межремонтные периоды, снизить трудо- и финансовые затраты, повысить надежность электроснабжения.

Ключевые слова: тепловизионный контроль, электрооборудования, контактные соединения, метод оценки, надежность, диагностика, ремонт.

THERMAL IMAGING CONTROL OF ELECTRICAL EQUIPMENT AND CONTACT CONNECTIONS OF A SUBSTATION

Abstract: This article discusses the features of monitoring the condition of electrical equipment and contact connections, with the aim of switching to maintenance based on the actual condition of the equipment. The advantages of contactless diagnostics of electrical equipment using thermal imaging control are given. The criteria for assessing the condition of contact connections are determined using a 35 kV disconnecter as an example. The proposed contactless method for assessing and monitoring electrical equipment and contact connections allows increasing the periods between repairs, reducing labor and financial costs, and improving the reliability of power supply.

Keywords: thermal imaging control, electrical equipment, contact connections, assessment method, reliability, diagnostics, repair.

Для достижения энергетической независимости Правительством Республики Таджикистан в качестве одной из основных стратегических задач в рамках Национальной стратегии развития до 2030 года [1]. Известно, что в период эксплуатации особенно в осенне-зимний период электрооборудования подвергаются сверхнормативными перегрузками приводящее нагреву отдельных частей в основном контактных соединений. Нагрем

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

электрооборудования в частности контактные соединения часто становятся причинами аварии в системе электроснабжения потребителей, а также причиной временных и финансовых затрат предприятий который отразится на себестоимость выпущенной электроэнергии.

Одним из эффективных методов контроля технического состояния электрооборудования и контактных соединений является тепловизионное обследование. Появившиеся новое тепловизионное оборудование и аппараты позволяют наиболее эффективно и в достаточном объеме получить исходную информацию в виде термограмм и сопровождающей с ним дополнительной информации.

Практический опыт зарубежных энергокомпаний и исследование научных коллективов многих стран показывает, что переход от планово – предупредительных ремонтов к ремонтам по фактическому состоянию оборудования при использовании универсальных средств бесконтактной диагностики, к которым относятся современные тепловизионные приборы, могут способствовать снижению затрат на ремонт и обслуживание. Переход к ремонтам по фактическому состоянию электрооборудования дает возможность увеличить технический ресурс электрооборудования и контактных соединений за счет своевременного выявления дефектов на ранней стадии развития.

Тепловидение – это получение изображения объектов с помощью исходящего от них теплового (инфракрасного) излучения. На сегодня тепловизионная техника имеет достаточно широкое применение. Это и специальные медицинские тепловизоры, и приборы для энергоаудита – поиска утечек тепла в зданиях и на теплотрассах, и всевозможные приборы наблюдения, используемые спасателями и охранниками в условиях задымления и отсутствия света и т.д.

В физике для расчета теплового излучения принята модель абсолютно черного тела, тепловое излучение которого описывается законом Стефа - Больцмана, который первоначально был выведен экспериментально. Его современный вид основан на представлении, что тепловое излучение генерируется в процессе простого гармонического колебания атомных осцилляторов .

На графиках спектральной плотности излучения черного тела в большом диапазоне температур видно, что спектр меняется в зависимости от температуры: максимум излучения с увеличением температуры смещается в сторону меньших длин волн. Это объясняет причину, по которой не видно свечения железа при нормальной температуре – максимум излучения приходится на невидимую невооруженным глазом область спектра 6–12 мкм.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Строго говоря, даже при температуре 1000 К благодаря колоколообразной форме кривой на графике спектральной плотности излучения только часть его приходится на видимую область.

Резюмируя вышесказанное, можно сказать, что:

- излучают, т. е. светятся все тела; это означает, что при помощи тепловизора можно наблюдать объекты в условиях полной темноты, так как тепловизор воспринимает собственное электромагнитное излучение объектов;
- чем выше температура тела, тем ярче оно светится; отсюда следует простой алгоритм интерпретации теплового излучения на экране тепловизора: чем выше температура наблюдаемого объекта, тем ярче данный объект;
- при температурах от -30 до $+100$ °С спектр излучения тел попадает на диапазон 6–16 мкм, поэтому этот диапазон оптимален для наблюдения таких объектов, как люди, животные и деревья, здания, автомобили и т. д. В то же время для тепловизионных головок самонаведения, нацеленных на нагретые двигатели самолетов, оптимален диапазон 3–5 мкм. Примеры термограмм приведены на рисунках 1 и 2.

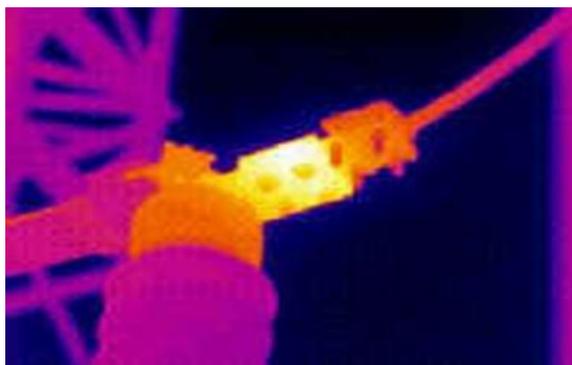


Рисунок 1 – Повышение температуры из-за плохого контакта на вводе выключателя

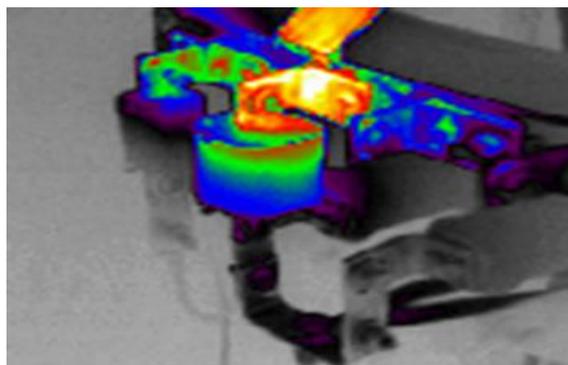


Рисунок 2 – Повышение температуры из-за плохого контакта болтового соединения

Для получения наиболее точной термограммы при использовании тепловизоров необходимо учитывать ниже следующие факторы (см. табл. 1).

Всепогодность: Тепловизоры работают в любых погодных условиях, будь то туман, дождь, снег или полная темнота. Они не зависят от внешнего источника света, так как регистрируют собственное тепловое излучение объектов.	Высокая стоимость: Качественные тепловизоры имеют достаточно высокую стоимость, что ограничивает их доступность для широкого круга потребителей.
--	---

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

<p>Высокая дальность обнаружения: В зависимости от модели и условий наблюдения, тепловизоры позволяют обнаруживать объекты на значительных расстояниях. Это особенно полезно при охоте, наблюдении за дикой природой или проведении поисково-спасательных операций.</p>	<p>Ограничения в использовании: Тепловизоры не могут "видеть" сквозь непрозрачные материалы, такие как металл или бетон. Кроме того, их эффективность может снижаться при сильной задымленности или при наличии источников сильного теплового излучения.</p>
<p>Высокая детализация изображения: Современные тепловизоры способны создавать четкие и детализированные тепловые изображения, позволяющие различать даже небольшие температурные различия.</p>	<p>Сложность в освоении: Для получения качественных результатов необходимо уметь правильно настраивать тепловизор и интерпретировать полученные изображения.</p>
<p>Быстрая реакция: Тепловизоры практически мгновенно реагируют на изменение тепловой картины, что позволяет оперативно обнаруживать движущиеся объекты.</p>	<p>Ограничения по разрешению: Несмотря на высокую детализацию, разрешение тепловых изображений может быть ниже, чем у оптических приборов.</p>
<p>Широкий спектр применения: Тепловизоры нашли применение в различных сферах, включая:</p>	<p>Зависимость от температурного контраста: Эффективность тепловизора напрямую зависит от наличия температурного контраста между объектом и фоном.</p>

В общем виде выражение для расписания нормального режима работы будет выглядеть следующим образом:

$$-j \cdot \omega \cdot C + R = j \cdot \omega \cdot L. \quad (1)$$

При возникновении дефекта в разъединителе выражение принимает вид

$$j \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta + R_1 = j \cdot \omega \cdot L_1. \quad (2)$$

Проведем расчет $\operatorname{tg} \delta$ на основании данного дефекта. Энергия E_1 , выделяющаяся на поверхности разъединителя [2],

$$E_1 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot s \cdot T_4, \quad (3)$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

где ε – коэффициент излучения, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана, (Вт/м²·К⁴), $s = 1$ – площадь поверхности нагрева, м²; T – излучаемая температура, К.

Значение активной составляющей тока I_a рассчитывается согласно формуле

$$I_a = \left[\frac{E \cdot I_{\text{раб}}}{U_{\phi}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

где $U_{\phi} = 6000$ – фазное напряжение, В; $I_{\text{раб}}$ – рабочий ток, А.

Величина тангенса угла диэлектрических потерь

$$\text{tg} \delta = I_a / I_p = I_a / I_{\text{раб}} \quad (5)$$

где I_p – реактивный ток, А.

Тогда установившееся напряжение определяется как

$$U_y = U_{\phi} \cdot \text{tg} \delta. \quad (6)$$

В качестве примера приведем термограмму разъединителя 35 кВ на рисунке 3.



Рисунок 3 - Дефект контактного соединения опорного изолятора шинного разъединителя напряжением 35 кВ

Применяя расчетные формулы (3) – (6) можно определить расчетные значения (см. табл. 2)

Таблица 2 – Расчетные значения для разъединителя 35кВ

Энергия, Вт	Активный ток, I_a , А	Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$, %	Установившееся напряжение, кВ
821,97	3,511	1,17	23,4

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Полученные расчетные значения дают возможность оценить фактическое состояние электрооборудования и контактных соединений на основе чего будет решен вопрос о проведении ремонтных работ. Для определения времени проведения ремонтных работ на основе вышеприведенного для разъединителя напряжением 35 кВ запишем следующее:

$0 \leq \operatorname{tg} \delta \leq 0,45\%$ – начальный дефект, продолжать измерения.

$0,45 \leq \operatorname{tg} \delta \leq 0,9\%$ – развившийся дефект, устранить в течение 1 квартала.

$\operatorname{tg} \delta > 0,9\%$ – сильно развитый дефект, устранить замечание в течение 1 месяца.

Заключение. Как показывает опыт переход проведения ремонтных работ по фактическому состоянию электрооборудования позволяет своевременно обнаруживать дефекты на ранних стадиях развития и снизить количество аварийных отключений электроснабжения потребителей, тем самым повышать надежность и экономичность электроэнергетических систем.

Литература

1. Джемисон Дж. Э. и др. Физика и техника инфракрасного излучения / Пер. с англ. под общ. ред. Н. В. Васильченко. М.: Книга по требованию, 2013. 640 с.
2. Коротаев В. В., Мельников Г. С., Михеев С. В. и др. Основы тепловидения: Учебн. пособие. СПб.: НИУ ИТМО. 2012. 122 с
3. Интернет ресурс <https://www.bbrc.ru/articles/printsip-raboty-teplovizora/> (дата обращения 09.12.2024)
4. Мамонтов А.Н., Рычков А.В., Астанин С.С. Тепловизионный контроль трансформаторов тока и трансформаторов напряжения [Текст] // Вести высших учеб-ных заведений Черноземья. 2016. № 4. С. 9-18.

Сведения об авторах:

Джоншоев Фахриддин – студент 4 курса гр. 430101 кафедры «Электрические станции», Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими.

Рахимов Фирдавс Мирзоумарович – старший преподаватель кафедры «Электрические станции», Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими.

СЕКЦИЯ – 2

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ
ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ**

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Шокиров К.Ш.

Институт энергетики Таджикистана, р. Кушониён, Таджикистан

E-mail: makhsumovib@tpei.tj

Аннотация: В статье рассматриваются технические и экономические аспекты использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с учетом современных тенденций и вызовов в энергетике. Проведен анализ ключевых технологий солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергетики, а также энергии биомассы. Особое внимание уделено интеграции ВИЭ в энергосистеме, включая решение проблем интермиттентности, развитие систем накопления энергии и строительство интеллектуальных сетей. Обоснована переход к ВИЭ для обеспечения устойчивого развития.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, интеграция ВИЭ в энергосистему, интермиттентность, накопление энергии, интеллектуальные сети, устойчивое развитие, солнечная энергетика, ветроэнергетика, гидроэнергетика, биомасса.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Abstract: The article examines the technical and economic aspects of using renewable energy sources (RES) taking into account modern trends and challenges in the energy sector. An analysis of key technologies of solar, wind, hydro and geothermal energy, as well as biomass energy, is carried out. Particular attention is paid to the integration of RES in the energy system, including solving intermittency problems, developing energy storage systems and building smart grids. The transition to RES to ensure sustainable development is substantiated.

Keywords: renewable energy sources, integration of renewable energy sources into the power system, intermittency, energy storage, smart grids, sustainable development, solar energy, wind energy, hydropower, biomass.

Введение

Глобальный рост энергетики на последних этапах стал одной из основных движущих сил для развития экономики и повышения качества жизни населения. Однако этот рост также приводит к возникновению экологических проблем, таких как увеличение количества парниковых газов, учитывая качество воздуха и истощение внешних ресурсов. Основные источники энергии

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

по-прежнему остаются природными видами топлива, что способствует негативному воздействию на окружающую среду и климат. Переход к возобновляемым источникам энергии становится шагом для снижения этих экологических последствий и обеспечения развития в будущем. В связи с этим требуется активное внедрение технологий, направленных на оптимизацию энергетического потребления и снижение антропогенной нагрузки на экосистемы [1].

Актуальность исследований технических, экономических источников возобновляемых источников энергии, вызванных нарастающими вызовами, перерывами с глобальным ростом потребления энергии и сопутствующими экологическими проблемами. В последнее время мир сталкивается с резким изменением климата в области энергоресурсов, что, в свою очередь, приводит к увеличению использования традиционных видов топлива. Этот процесс приводит к созданию новых парникового газа, соблюдая качество воздуха и негативным образом.

Изменение климата, вызванное антропогенной средой, представляет собой одну из самых серьезных угроз для человечества. Увеличение частоты и распространение экстремальных погодных явлений, таких как ураганы, наводнения и засухи, создают условия для устойчивого развития стран и регионов, особенно уязвимых к изменениям климатических условий. Эти обстоятельства требуют срочных действий по переходу к более устойчивым и чистым источникам энергии, таким как солнечная энергия, ветровая энергия и других видов ВИЭ [2, 3]. На рис. 1 приставлена глобальное производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии за последние 14 лет (источник IRENA).



Рисунок 1. Глобальное производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии за последние 14 лет (источник IRENA)

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Цель данного исследования заключается в комплексном всестороннем анализе технических, экономических аспектов использования возобновляемых источников энергии. В рамках этой цели предлагается: анализ технической характеристики, изучить основные технологии, связанные с солнечной, ветровой, гидро-, геотермальной и энергия биомассы, а также оценить их эффективность и возможность применения в современных энергетических системах.

Технологические характеристики возобновляемых источников энергии

Технологические характеристики возобновляемых источников энергии (ВИЭ) варьируются в зависимости от их типа и применяемых технологий. Рассмотрим основные из них:

Солнечная энергия широко используется благодаря фотоэлектрическим панелям, которые преобразуют солнечный свет в электричество. Эти панели создаются на основе кремния, а их КПД составляет от 15 до 22%. Также существуют солнечные тепловые системы, где энергия солнца используется для нагрева воды или выработки пара, который приводит в действие турбины, генерирующие электричество.

Ветровая энергия преобразуется в электричество через ветроэнергетические установки, оснащенные роторами и генераторами. Мощность таких турбин варьируется от небольших (несколько кВт) до промышленных (несколько МВт). Хотя КПД ветровых установок варьируется в пределах 15–45% в зависимости от скорости ветра и условий установки, масштабность их применения компенсирует эти ограничения.

Гидроэнергия считается одним из самых эффективных источников энергии. Гидроэлектростанции используют кинетическую энергию падающей воды для вращения турбин, а их КПД может достигать 90%. Помимо крупных станций, существуют малые гидроэлектростанции, которые обеспечивают локальную генерацию энергии в удалённых районах.

Геотермальная энергия использует тепло Земли для выработки пара, который вращает турбины. Геотермальные электростанции особенно эффективны в регионах с активной геотермальной деятельностью, таких как Исландия или США. Они выделяются низким уровнем выбросов углекислого газа, хотя их применение ограничено географическими условиями.

Энергия биомассы базируется на использовании органических материалов, таких как древесные отходы или сельскохозяйственные остатки, для выработки тепла и электричества. Электростанции на биомассе демонстрируют КПД в пределах 25–40%. Биогазовые установки дополнительно

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

перерабатывают органические отходы в метан, который используется для нагрева или генерации электричества. Каждый из этих источников имеет свои особенности, включая эффективность, стоимость эксплуатации и воздействие на окружающую среду. Развитие технологий продолжает совершенствовать их применение, делая ВИЭ всё более привлекательным решением для устойчивой энергетики [4-5].

Интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистемы

Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в современные энергосистемы является важным шагом к созданию устойчивого энергетического будущего. Однако процесс сопровождается множеством технологических и системных вызовов, среди которых ключевыми являются непостоянство генерации, необходимость развития систем накопления энергии и внедрение интеллектуальных сетей.

Одной из главных проблем ВИЭ остается их зависимость от природных факторов. Так, солнечная энергия доступна только в светлое время суток и существенно снижается в пасмурные дни, а ветровая энергия характеризуется высокой изменчивостью, что обусловлено непредсказуемыми ветровыми условиями. Такое непостоянство требует внедрения механизмов балансировки потоков энергии, чтобы обеспечить надежное энергоснабжение даже в периоды снижения генерации.

Одним из ключевых решений проблемы непостоянства являются технологии накопления энергии. Они позволяют аккумулировать избыточную энергию, вырабатываемую в периоды пикового производства, и использовать ее в моменты, когда генерация снижается. Литий-ионные аккумуляторные системы получили широкое распространение благодаря своей высокой плотности энергии и долговечности. Эти батареи используются как в домашних условиях, так и на крупных объектах, несмотря на их высокую стоимость и ограниченный срок службы. Также перспективными технологиями являются гидроаккумулирующие станции, которые используют избыточную энергию для подъема воды в верхние резервуары, а затем возвращают ее в виде электричества через турбины. Такие станции отличаются высокой эффективностью и долговечностью, хотя их строительство требует значительных инвестиций и подходящих природных условий.

Важным элементом интеграции ВИЭ являются интеллектуальные сети, которые внедряют цифровые технологии для управления энергосистемами. Эти сети предоставляют возможность мониторинга энергопотребления в реальном времени, адаптации под текущие условия выработки энергии и автоматического перераспределения нагрузки. Интеллектуальные сети также

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

способствуют интеграции децентрализованных источников энергии, таких как частные солнечные панели или ветроустановки, что минимизирует потери при транспортировке. Они активно вовлекают потребителей в управление энергосистемой через программы ответного спроса, позволяя снизить нагрузку в периоды пикового потребления.

Таким образом, эффективная интеграция ВИЭ в энергосистемы возможна только при комплексном подходе, который включает решение проблемы непостоянства генерации, развитие технологий накопления энергии и использование интеллектуальных сетей. Этот подход позволяет обеспечить надежность и устойчивость энергоснабжения, создавая основы для перехода к экологически чистому и стабильному энергетическому будущему [6-7].

Экономические аспекты возобновляемых источников энергии

Инвестиции в возобновляемые источники энергии (ВИЭ) продолжают расти, поскольку их технологии становятся более доступными и конкурентоспособными. Экономическая эффективность ВИЭ во многом определяется динамикой снижения затрат на оборудование и инфраструктуру, а также сравнением себестоимости электроэнергии с традиционными источниками.

За последние десятилетия стоимость технологий ВИЭ существенно снизилась благодаря технологическим инновациям, масштабированию производства и активной политической поддержке. Так, стоимость солнечных панелей с 2010 года сократилась на 85%, что обусловлено усовершенствованием технологий и удешевлением сырья, такого как кремний. Прогнозы указывают, что к 2030 году солнечная энергия станет одним из самых дешевых источников энергии во многих регионах мира. Ветроэнергетика также показывает значительное снижение стоимости: цена энергии ветра упала на 55–60% благодаря модернизации турбин и увеличению их мощности. Морские ветровые установки также становятся экономически более доступными за счет совершенствования технологий строительства и эксплуатации.

Системы накопления энергии, в частности литий-ионные батареи, также демонстрируют стремительное снижение стоимости на 89% с 2010 года. Это делает их все более привлекательным решением для интеграции с ВИЭ, позволяя стабилизировать энергосистему и сглаживать пиковую нагрузку. Одним из ключевых инструментов для оценки экономической конкурентоспособности ВИЭ является показатель приведённой стоимости электроэнергии (LCOE), который учитывает все затраты на протяжении жизненного цикла установки. Для солнечных панелей LCOE сегодня составляет \$20–40 за мегаватт-час, что делает их конкурентоспособными, а в ряде случаев

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

дешевле традиционных источников энергии. Ветровая энергия на суше имеет LCOE \$30–50 за мегаватт-час, а морские ветровые установки около \$70–100 за мегаватт-час. Для сравнения, угольные станции демонстрируют LCOE в диапазоне \$60–120, газовые \$50–90, а атомные \$90–130 за мегаватт-час. Таким образом, во многих регионах ВИЭ уже превосходят традиционные источники по экономической эффективности.

На экономическую привлекательность ВИЭ влияет ряд факторов. Первоначальные инвестиционные затраты остаются относительно высокими, но их снижение делает технологии более доступными. В то же время эксплуатационные расходы для ВИЭ минимальны по сравнению с традиционными источниками, такими как угольные и газовые станции, которые требуют постоянных затрат на топливо и обслуживание. Политическая поддержка, включая субсидии и налоговые льготы, также играет важную роль, снижая общую стоимость проектов и стимулируя их развитие.

Снижение стоимости технологий возобновляемой энергии и их конкурентоспособность относительно традиционных источников свидетельствуют о том, что ВИЭ становятся основой глобальной энергетической системы будущего. Солнечная и ветровая энергия уже сегодня часто обходятся дешевле угля и газа, а продолжающееся удешевление этих технологий лишь укрепит их позиции в мировой энергетике [8-10].

Заключение

Развитие возобновляемых источников энергии и их интеграция в энергосистему являются предпосылками на пути к экологически чистому и устойчивому энергетическому будущему. Проведенный анализ показал, что эффективная интеграция ВИЭ в энергосистему возможна только при комплексном подходе, включающем решение проблем интермиттентности, создания систем накопления энергии и использования интеллектуальных сетей. Такие меры предпочтительнее не только снижать дефицит природных видов топлива, но и обеспечивать стабильное энергоснабжение, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. Экономическая конкурентоспособность технологий ВИЭ и снижение их стоимости делают их привлекательными.

Литература

1. IRENA (International Renewable Energy Agency). Latest global trends in renewable energy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series> (дата обращения: 07.11.2024).

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. Mathiesen, B.V., et al. Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions // Applied energy. – 2015. – Vol. 145. – P. 139-154.
3. Dadashi, Z., Mahmoudi, A., Rashidi, S. Capacity and strategies of energy production from renewable sources in Arab countries until 2030: a review from renewable energy potentials to environmental issues // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29. – No. 32. – P. 47837-47866.
4. Афанасьев, В.А. Возобновляемые источники энергии: теория и практика / В. А. Афанасьев. – М.: Энергоатомиздат, 2015. – 320 с.
5. Дьяков, А. И. Экономика возобновляемой энергетики / А.И. Дьяков. — СПб.: Наука, 2018. – 256 с.
6. Махсумов, И. Б. Влияние распределенной генерации на работу электрической сети / И. Б. Махсумов, А. Н. Давлатзода, К. Ш. Шокиров // Наука - основа инновационного развития: Материалы IX международной научно-практической конференции, Душанбе, 18–19 апреля 2024 года. – Душанбе: "Промэкспо", 2024. – С. 14-18.
7. Махсумов, И. Б. Понимание основ систем распределенной генерации и перспектив её развития / И.Б. Махсумов, А.Н. Давлатзода, К.Ш. Шокиров // Наука - основа инновационного развития: Материалы IX международной научно-практической конференции, Душанбе, 18–19 апреля 2024 года. – Душанбе: "Промэкспо", 2024. – С. 10-13.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2023. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
9. Махсумов, И.Б. Оценка эффективности использования солнечной энергетики на территории Хатлонской области Республики Таджикистан / И.Б. Махсумов // Возобновляемая энергетика регионов России и сопредельных стран: Коллективная монография. – Москва: Издательский дом КДУ, 2024. – С. 42-50.
10. Методика расчёта мощности солнечной системы автономного типа на примере электроснабжения частного дома / И.Б. Махсумов, Н.Х. Одинаев, А.Н. Давлатзода, К.Ш. Шокиров // Окружающая среда и энерговедение. – 2024. – № 2(22). – С. 79-97. – DOI 10.24412/2658-6703-2024-2-79-97.

Сведения об авторах:

Махсумов Илхом Бурхонович – к.т.н., старший преподаватель, заведующий кафедрой альтернативных источников энергии Института

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 909-22-24-24, E-mail: makhsunovib@tpei.tj

Давлатзода Абуфазл Нусратулло – старший преподаватель кафедры естественных, точностных и математических наук Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992)977-287-15-15, E-mail: davlatzoda.88@mail.ru

Шокиров Кудбиддин Шамсиддинович – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электробезопасности Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 93-400-38-42

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

МАЛАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ – ВЕКТОР ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Икромов Н.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Худжасаидов Дж.Х.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика М.С.

Осими

E-mail jahon_nstu@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрена роль малой энергетики и необходимость интеграции объектов малой генерации в общую систему.

Ключевые слова: распределенная генерация, возобновляемые источники, потребитель, малая энергетика.

SMALL DISTRIBUTED GENERATION IS A VECTOR OF PROMISING DEVELOPMENT OF ENERGY

Abstract: The article examines the role of small-scale energy and the need to integrate small-scale generation facilities into the overall system.

Keywords: distributed generation, renewable sources, consumer, small-scale energy.

Введение

На сегодняшний день, в мире не существует единого понятия «распределенной» генерации (distributed generation). Например, Международный Совет по большим электрическим системам высокого напряжения – СИГРЭ определяет РГ, как генерацию с установленной мощностью меньше 50МВт или 100МВт, без централизованного планирования и диспетчирования и которая подключена к распределительной сети. Министерство энергетики США трактует понятие РГ как малые, модульные электрогенераторы, расположенные вблизи потребителей, которые позволяют отсрочить или исключить дорогостоящую реконструкцию магистральных ЛЭП и распределительной сети, и обеспечивают потребителей более качественной энергией с высокой надежностью. Также различна классификация установок распределенной генерации по установленной мощности, которые находятся в диапазоне от десятков кВт до 100 МВт, по видам производимого энергоресурса и схеме подключения к электрической сети, по классу напряжения сети, а также по режиму работы [1,2].

В данном тексте под терминами «распределенная» и «малая» генерация, будут иметься ввиду установки синхронной генерации небольшой мощности до 100 МВт подключаемые к распределительной электрической сети через

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

распределительные устройства (РУ), трансформаторных подстанций (ТП) или распределительных пунктов (РП), или работающие автономно, которые используют различные виды источников энергии.

2. Предпосылки к развитию МРГ

Электроэнергетика экономически развитых стран мира, в том числе, бывшего СССР, усиленно развивалась в течение 20 века, путем повышения уровня централизации электроснабжения, создавая все более мощные электроэнергетические объекты (электростанции, линии электропередач).

Вследствие этого сформировалось территориальное распределение протяженных электроэнергетических систем (ЭЭС). Это позволило достичь существенного экономического эффекта, повысить надежность электроснабжения и качество электроэнергии.

В начале 20 века технологии стандартных тепловых и атомных электростанций, а также паротурбинных агрегатов совершенствовались путем применения более высоких параметров пара, вследствие чего появилась необходимость в использовании более современных материалов для производства турбин и котлов, также имело место направление увеличения единичной мощности установок. Все это позволило улучшить технико-экономические параметры энергетических установок, т.е. удельные капиталовложения и постоянные текущие издержки на единицу мощности, а также удельные расходы топлива на единицу вырабатываемой электроэнергии. Данное направление укрупнения агрегатов наблюдалась и в гидроэнергетике, хоть и в меньшей мере.

, на передвижных, резервных и автономных электростанциях.

Сейчас в Таджикистане существует единая энергетическая система (ЕЭС), которая является централизованной и обеспечивает электроэнергией и теплом. Так же большую роль играет и малая энергетика. Она нужна для обеспечения в чрезвычайные периоды, для автономного энергоснабжения, а также в удаленных, труднодоступных и малоизученных районах страны. По различным оценкам 40-50% территории Таджикистана не имеет централизованного электроснабжения. Обеспечить этих потребителей электроэнергией и теплом допустимо только с поддержкой малой энергетики (там, где строительство крупных ЭС нецелесообразно или нежелательно с экономической точки зрения). Данную проблему можно решить именно с помощью малой энергетики. Поскольку малые электростанции в порядке случаев способны успешно находить решение к тем же задачам, что и крупные, но в большинстве случаев с минимальными затратами и с высокой

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

производительностью. У современных электростанций КПД составляет около 80%, таким образом, малые местные источники энергии могут называться энергетикой будущего.

Строительство малых ЭС является более реальным и выгодным, нежели строительство крупных, т.к. возведение последних потребуют существенных инвестиций и долгие сроки окупаемости. При строительстве малых ЭС можно значительно сократить объем начальных вложений и срок их возврата, понизить инвестиционный риск, уменьшить сроки строительства и ввода станций в эксплуатацию. К таким ЭС относятся мини-ГЭС, небольшие энергетические установки на базе газотурбинных и парогазовых технологий, также геотермальные, тепловые и электрические станции, ветровые и солнечные, энергетические и теплонасосные установки.

Главные факторы, стимулирующие развитие распределенной генерации:

- адаптация потребителей к неопределенности рынка в ценовом сегменте стоимости электроэнергии;
- повышение адаптационных возможностей ЭЭС к неопределенности рыночных условий развития экономики и снижение тем самым инвестиционных рисков;
- разработка и внедрение новых высокоэффективных энергетических технологий (ГТУ и ПГУ);
- оптимизация экологических требований, стимулирующих использование ВИЭ (таких как энергия ветра, солнца, биомассы и т.д.).

Малые ГТУ-ТЭЦ достаточно интенсивно развиваются. К примеру, в странах ЕС прогнозируется рост суммарной мощности ГТУ-ТЭЦ (прежде всего небольшой мощности) с 74 ГВт до 91-135 ГВт в 2010 г. и 124-195 в 2020 г., что составляет 13-18 % от суммарной генерирующей мощности в 2010 г., 15-22% в 2023 г.

В последнее время использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для производства электроэнергии заслужило признание во многих странах мира. В планах западноевропейских стран стоит задача увеличения производства электроэнергии более чем на 10 % на базе ВИЭ к 2020 г., наиболее приоритетным направлением этой отрасли будет энергия ветра. Уже сейчас в США и Европе за счет распределенных мощностей покрывается от 10 до 25 % прироста потребности в электроэнергии. Суммарная установленная мощность работающих в мире ветроэнергетических установок (ВЭУ) составляет более 31 ГВт, наибольшая по мощности единичная ВЭУ - 4,5 МВт - введена в Германии. Основные вводы ВЭУ приходятся на европейские

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

страны - Германию, Данию, Великобританию, Нидерланды, Испанию, Швецию, Италию [1,2].

Поскольку при интеграции малой РГ с единой национальной электрической системой исключаются необходимости строительства избыточных генерирующих мощностей и реконструкция перегруженных ЛЭП, появляется возможность более гибкого регулирования нагрузки в электрической сети, снижаются потери в сетях, решается вопрос энергоснабжения географически удаленных, изолированных энергорайонов [1,2].

Также интерес к РГ проявляют и потребители, не только географически удаленные, но и находящиеся в зонах централизованного энергоснабжения. Для них, прежде всего, привлекательность РГ объясняется доступностью и надежностью автономного электроснабжения. А для промышленных потребителей, учитывая темпы роста тарифа на электроэнергию из Единой энергетической системы России, стоимость которой может превышать стоимость энергоснабжения от собственных генерирующих мощностей, переход к РГ является экономически обоснованным.

В сфере энергетического бизнеса привлекательность РГ объясняется отсутствием продолжительного и дорогого инвестиционного цикла, дешевой и простой эксплуатацией. Наряду с быстрой окупаемостью, РГ располагает к себе и минимизацией отложенного запуска производства благодаря быстрой доставке и монтажу компактных установок. Свободное, быстрое размещение такого оборудования позволяет преодолеть технологическую и экономическую инерционность традиционной энергетики.

Перспективными являются технологии SMART GRID, которые позволят объединить объекты малой генерации в изолированно работающую энергосистему (ИРЭС), а также обеспечить их параллельную работу с традиционной энергосистемой. В таких режимах снижается уровень необходимого резервирования, улучшается надежность и качество энергоснабжения, сглаживаются пиковые нагрузки. Технологии SMART GRID весьма популярны на западе.

3. Проблемы формирования рынка малой энергетики

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, а также выполненные перспективные проработки, роль малой энергетики постоянно возрастает. В зонах децентрализованного энергоснабжения малая энергетика является не только поставщиком электроэнергии и тепла, определяющим фактором развития региона и его социальной и экономической структуры, но и обеспечивает энергетическую безопасность этих регионов. Для

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

рассматриваемых объектов принципиальное значение могут иметь местные альтернативные виды энергоресурсов, в том числе возобновляемые ресурсы, которые не могут пока существенно влиять на энергетический баланс большой энергетики.

Благодаря современным системам малой энергетики можно получить абсолютную автономность и независимость предприятий индустрии с постоянным технологическим циклом. Например, дизельные, малые газовые и другие автономные электростанции крайне необходимы на буровых вышках и в передвижных поселках топливной индустрии, а также в дачных поселках и удаленных деревнях. В свою очередь автономные ЭС и котельные малой мощности должны обеспечивать потребителей энергией в полном объеме в режиме нормального функционирования и в минимально гарантированном объеме в критических и чрезвычайных ситуациях. А для малых электростанций все аспекты обеспечения энергобезопасности (наличие на рынке необходимых энергоресурсов, их цена, качество, способ транспортировки, создание запасов топлива, технико-экономические характеристики, ресурс и состояние энергетического оборудования, возможность его замены и модернизации и т.п.) имеют значение не меньшее, чем для объектов большой энергетики [3].

4. Преимущества и недостатки объектов МРГ

В настоящее время, оценивая роль и место малой энергетики, видны положительные и отрицательные стороны. Основной акцент в поиске новых источников энергии делается на автономность и безопасность. Но главное преимущество их должно быть в том, чтобы производить энергию непосредственно в месте её потребления и в любом необходимом объеме.

Кроме электростанций, использующих энергию солнца и ветра, создаются образцы так называемых электрохимических ячеек-устройств, преобразующих энергию химических процессов непосредственно в электрическую. На основе плазменных, резонансных и других технологий создаются системы, способные получать энергию из окружающей среды.

С одной стороны, развитие распределенной генерации - это удобно и современно, во многих случаях позволяет решить экологические проблемы. Например, приходится сжигать огромное количество попутного газа при разработке нефтяных месторождений и шахтных газов при разработке полезных ископаемых. Использование их для выработки электроэнергии позволит извлечь не только экономическую выгоду, но и сберечь окружающую среду. Развитие производства электроэнергии из возобновляемых источников вообще стимулируется на государственном уровне. Ветер, солнце, приливы,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

энергия земли, городские свалки и очистные сооружения городской канализации дают не только электроэнергию, но и уменьшают загрязнение окружающей среды и экономят энергоресурсы. Потребитель электроэнергии, имеющий у себя маленькую станцию и подключенный к централизованному энергоснабжению, всегда имеет возможность включить её на период высоких цен на электроэнергию или во время перебоев в энергоснабжении. С другой стороны, распределенная генерация, особенно при подключении её потребителей к сетям, осложняет диспетчеризацию и планирование электропотребления, приводит к необходимости держать в энергосистеме дополнительный резерв мощности на случай, если у потребителя возникнет необходимость воспользоваться централизованным энергоснабжением. Не вызывает сомнений, что распределенная генерация будет развиваться в ближайшие годы, особенно в условиях роста цен и стоимости подключения к сетям, и оказывать влияние на энергопотребление. При этом не сама распределенная генерация влияет на наблюдаемое электропотребление, но будет влиять на наблюдаемое электропотребление и осложнять тем самым сбор и анализ статистических данных, и построение корректных прогнозов.

Еще одна важная сторона влияния распределенной генерации - это её влияние на цены на электроэнергию для потребителей в том случае, если часть подключенных к централизованному энергоснабжению потребителей обзаведутся собственной генерацией, оставаясь при этом подключенными к сетям. Цена для конечного потребителя складывается из цены электроэнергии и мощности, поставляемых электростанциями, стоимости услуг по передаче, инфраструктурных платежей и сбытовой надбавки энергосбытовых компаний. Из всех перечисленных составляющих единственная, которая напрямую зависит от объема производства электроэнергии — это цена на электроэнергию, зависящая от стоимости используемого топлива. Остальные составляющие, хоть и могут платиться в расчете на киловатт-час, не зависят непосредственно от уровня производства и являются условно-постоянными величинами.

Это означает, что при увеличении доли потребления электроэнергии, покрытой за счет малой генерации, соотношение условно-постоянных и переменных составляющих цены электроэнергии, поставляемой централизованно, будет меняться в сторону увеличения условно-постоянных. То есть цена электроэнергии для конечного пользователя будет расти. Рост цены, в свою очередь, подтолкнет других потребителей к приобретению собственной генерации, что ухудшит наблюдаемость и прогнозируемость электропотребления. Другой вариант реакции потребителей на высокие цены -

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

падение электропотребления вследствие мероприятий по энергосбережению или из-за сокращения производства по причине нерентабельности [4].

Вывод

Анализируя роль малой энергетики, следует сказать, что она не может решить проблемы снабжения, надежности и постоянства ЕЭС. Но с развитием стабильного роста энергопотребления, на стадии реформирования энергетики, большей её адаптации к рыночным отношениям, при отсутствии крупных инвесторов, росте малого и среднего предпринимательства, малая энергетика, весьма значима.

Малая энергетика позволяет решать многие проблемы энергоснабжения страны и является:

- важным конкретным направлением энергоснабжения у производителей тепла и электроэнергии;
- одним из путей энергосбережения у потребителя; средством решения проблем энергоснабжения для многих проблемных с точки зрения энергетики регионов страны;
- источником экологически чистой энергии, позволяющим снизить вредные выбросы энергетики и улучшить экологическую обстановку в регионах;
- привлекательной сферой инвестирования разных программ, в том числе и за счет «квот по выбросам»;
- одним из путей коммерциализации отрасли электроэнергетики; важным средством поддержки малого и среднего предпринимательства и независимых производителей энергии.

Литература

1. Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru>;
2. Энергопортал [Электронный ресурс]. URL: <http://zodiak-energo.ru>;
3. СТРАТЕГИЯ развития малой гидроэнергетики Республики Таджикистан / Министерство Энергетики и промышленности Республики Таджикистан. Душанбе. – 2007. – 117с.
4. Малик Л. К. Проблемы и перспективы создания малых ГЭС на малых реках / Ежеквартальный информационный бюллетень возобновляемая энергия май-2005. -с.5-11
5. Закон Республики Таджикистан об использовании обновляемых источников энергии. – Душанбе. -12 января 2010, №587.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сведения об авторах

Икромов Н.М. – магистрант 1-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Махсумов И.Б., Рахимов З.С., Рахимов Х.А.

Институт энергетики Таджикистана, р. Кушониён, Таджикистан

E-mail: makhsuovib@tpei.tj

Аннотация: В статье рассмотрены экологические и экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также перспективы их внедрения. Проведен анализ влияния ВИЭ на окружающую среду, включая преимущества и потенциальные недостатки, такие как снижение выбросов парниковых газов, энергонезависимость, а также проблемы, связанные с утилизацией компонентов. Особое внимание уделено современным тенденциям в области "зелёной экономики" и устойчивого развития. Использование иллюстраций и графиков в работе подчеркивает важные данные по эффективности, затратам и экологической безопасности различных технологий ВИЭ.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, экологические аспекты, экономические выгоды, устойчивое развитие, зелёная экономика, утилизация, климатические изменения.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC FEATURES AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Abstract: The article examines the environmental and economic aspects of renewable energy sources (RES) development, as well as the prospects for their implementation. An analysis of the impact of RES on the environment is provided, including advantages and potential disadvantages, such as reduced greenhouse gas emissions, energy independence, and problems associated with the disposal of components. Particular attention is paid to modern trends in the field of "green economy" and sustainable development. The use of illustrations and graphs in the work highlights important data on the efficiency, costs and environmental safety of various renewable energy technologies.

Keywords: renewable energy sources, environmental aspects, economic benefits, sustainable development, green economy, recycling, climate change.

Введение

Современный мир сталкивается с серьезными экологическими вызовами, изменением климата, загрязнением воздуха и истощением внешних ресурсов. Эти проблемы обусловлены уровнем использования природных видов топлива.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Возможные источники энергии (ВИЭ), такие как солнечная, ветровая и гидроэнергетика, обеспечивают устойчивую альтернативу, способную минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Они не только ограничивают выбросы парникового газа, но и соблюдают требования к качеству воздуха, сохранению водных ресурсов и уменьшению зависимости от природных топливных ресурсов.

Исследования в данной области направлены на разработку экологически безопасных технологий, минимизацию рисков для экосистем и разработку мер по утилизации компонентов ВИЭ. Эти усилия играют ключевую роль в обеспечении развития и достижении климатических целей [1-3]. На рис. 1 представлена иллюстрация отражающей экологические и экономические аспекты развития ВИЭ.



Рисунок 1 – Экологические и экономические аспекты развития ВИЭ

Целью данной статьи является анализ экологических особенностей использования возобновляемых источников энергии и определение перспектив их развития с учетом современных требований к экологической, экономической и технической устойчивости. В рамках работы рассматривается влияние возобновляемых источников энергии на окружающую среду, включая их потенциал в снижении выбросов парниковых газов и предотвращении загрязнения.

Особое внимание уделяется экологическим преимуществам и возможным недостаткам различных видов возобновляемых источников энергии, таких как

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

солнечная, ветровая, гидроэнергетика и биомасса. Также проводится оценка экологической безопасности на всех этапах жизненного цикла ВИЭ, включая эксплуатацию и утилизацию их компонентов, например, солнечных панелей и аккумуляторов.

Анализируются современные тенденции в развитии экологически ориентированных технологий, а также роль государственной политики в поддержке экологически безопасного внедрения ВИЭ. На основе проведенного исследования формулируются рекомендации по минимизации негативного воздействия на окружающую среду при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов возобновляемой энергетики.

Экономические выгоды от возобновляемых источников энергии

Внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приносит множество долгосрочных экономических выгод, которые выходят за рамки просто снижения выбросов углекислого газа. Эти выгоды включают снижение операционных затрат, создание новых рабочих мест, развитие "зелёной экономики" и укрепление энергетической независимости стран и регионов. Все эти факторы вносят вклад в устойчивое развитие мировой экономики.

Одним из ключевых преимуществ ВИЭ является их способность значительно сокращать операционные расходы по сравнению с традиционными источниками энергии. Солнечные и ветровые установки не требуют закупки топлива, что устраняет затраты на сырьё, характерные для угольных, газовых и атомных станций. Это позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы после установки оборудования. ВИЭ также обладают низкими эксплуатационными и техническими расходами: солнечные панели и ветряные турбины требуют минимального технического обслуживания, а срок службы таких установок может достигать 20-25 лет и более при низких затратах на их обслуживание. Кроме того, эти системы не зависят от колебаний цен на уголь, нефть или газ, что позволяет компаниям и государствам поддерживать более стабильные долгосрочные расходы и прогнозы.

Переход на возобновляемые источники энергии оказывает положительное влияние на рынки труда. Он способствует созданию новых рабочих мест в секторе ВИЭ, который продолжает расти. По данным Международного агентства возобновляемых источников энергии (IRENA), в 2022 году в этом секторе было занято более 12 миллионов человек по всему миру. Рабочие места создаются на всех этапах от разработки и производства технологий до их установки и обслуживания. Многие страны также инвестируют в развитие внутреннего производства компонентов для ВИЭ, таких как солнечные панели, турбины и аккумуляторы. Это способствует росту

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

национальной экономики, снижению зависимости от импорта и созданию высокотехнологичных рабочих мест. В то же время, ВИЭ помогают смягчить последствия сокращения рабочих мест в угольной и нефтегазовой промышленности, предоставляя возможности для переобучения работников и трудоустройства в растущем секторе [4].

Развитие ВИЭ также способствует росту смежных отраслей, таких как производство аккумуляторов, переработка отходов и модернизация инфраструктуры энергоснабжения. Это создаёт дополнительные рабочие места и стимулирует рост "зелёной экономики", направленной на устойчивое развитие.

Кроме того, возобновляемые источники энергии играют важную роль в повышении энергетической независимости стран и регионов. Для стран, зависимых от импорта ископаемого топлива, развитие ВИЭ позволяет снизить эту зависимость, что делает их менее уязвимыми к колебаниям мировых цен и политическим рискам. Например, Европейский Союз активно развивает ВИЭ, чтобы снизить зависимость от импорта газа и нефти, особенно в условиях энергетической безопасности, актуальной после геополитических кризисов. ВИЭ также позволяют производить электроэнергию непосредственно на месте, что уменьшает потребность в транспортировке и снижает потери на передаче энергии, что особенно важно для изолированных регионов.

Таким образом, внедрение ВИЭ оказывает многостороннее влияние на экономику, включая снижение операционных затрат, создание новых рабочих мест, развитие "зелёной экономики" и повышение энергетической независимости, что делает этот процесс важным шагом на пути к устойчивому экономическому развитию [5-8].

Финансовые механизмы и барьеры

Финансовые механизмы играют ключевую роль в стимулировании развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), однако на этом пути существуют и значительные барьеры. Государства активно используют инструменты поддержки, такие как субсидии, налоговые льготы, гранты и льготные займы, чтобы снизить стоимость технологий ВИЭ. Одним из эффективных механизмов являются льготные тарифы (feed-in tariffs), которые обеспечивают производителям электроэнергии из ВИЭ фиксированные высокие цены. Это позволяет гарантировать стабильные доходы, что, в свою очередь, способствует запуску новых проектов.

Тем не менее, развитие ВИЭ сталкивается с серьезными вызовами при привлечении инвестиций. Высокие капитальные затраты на начальном этапе могут отпугнуть частных инвесторов, особенно на развивающихся рынках.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Финансовые риски, такие как непредсказуемость доходов из-за переменной генерации и зависимость от государственного регулирования, усиливают неуверенность среди потенциальных инвесторов. К тому же недостаточная развитость инфраструктуры, в частности энергетических сетей для интеграции ВИЭ, создает дополнительные преграды для вложений.

Эти барьеры подчеркивают необходимость долгосрочных политических обязательств и стабильного регулирования, которые смогут создать благоприятные условия для привлечения частного капитала и стимулирования масштабных инвестиций в сектор ВИЭ.

Экологические аспекты

Экологические аспекты возобновляемых источников энергии (ВИЭ) связаны с их воздействием на окружающую среду. Эти технологии играют ключевую роль в смягчении негативных экологических последствий традиционных источников энергии. Одним из главных преимуществ ВИЭ является снижение выбросов парниковых газов, так как солнечные, ветровые и гидроэнергетические установки практически не выделяют углекислого газа и других загрязняющих веществ. Это способствует борьбе с изменением климата и улучшению качества воздуха. Кроме того, использование технологий ВИЭ помогает сократить расход водных ресурсов, поскольку, например, солнечные панели и ветровые турбины требуют значительно меньше воды по сравнению с тепловыми электростанциями.

Однако, несмотря на значительные экологические преимущества, ВИЭ также могут оказывать определенное воздействие на окружающую среду. Например, ветроэнергетика иногда представляет угрозу для птиц и летучих мышей, которые могут погибать при столкновении с лопастями турбин. Кроме того, строительство ветропарков способно нарушить среду обитания диких животных. Гидроэнергетика также может вносить изменения в экосистемы рек, препятствуя миграции рыб и разрушая природные водные ландшафты [9].

Значительная площадь, требуемая для крупных солнечных ферм, может привести к вытеснению природных или сельскохозяйственных территорий. В некоторых случаях это вызывает конфликты с задачами охраны природы. Кроме того, производство и утилизация оборудования для ВИЭ, таких как солнечные панели и аккумуляторы, также являются важной экологической проблемой. Эти процессы требуют редкоземельных металлов и других материалов, которые при неправильной переработке могут загрязнять окружающую среду. Вопросы утилизации отходов становятся всё более актуальными, особенно с учётом роста объёмов использования ВИЭ. Некоторые технологии ВИЭ вызывают негативное восприятие со стороны

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

местных жителей из-за шумового и визуального загрязнения. Ветровые турбины могут создавать постоянный шум, а их присутствие иногда нарушает гармонию природных ландшафтов [10].

В целом экологические преимущества возобновляемых источников энергии значительно превышают их возможные негативные последствия. На рисунке 2 представлен график, а в таблице 1 данные, отражающие экономические и экологические особенности использования ВИЭ.

Таблица 1 – Экономические и экологические характеристики ВИЭ

Источник	Эффективность (%)	Стоимость (долл./кВт·ч)	Выбросы CO ₂ (т/МВт·ч)	Площадь для установки (м ² /кВт)	Ожидаемый срок службы (лет)	Доступность (часов/год)
Солнечная энергия	20	0,07	0,045	10	25	1800
Ветровая энергия	40	0,05	0,030	50	20	2500
Гидроэнергия	85	0,02	0,005	5	50	5000
Биомасса	30	0,06	0,020	15	20	4000

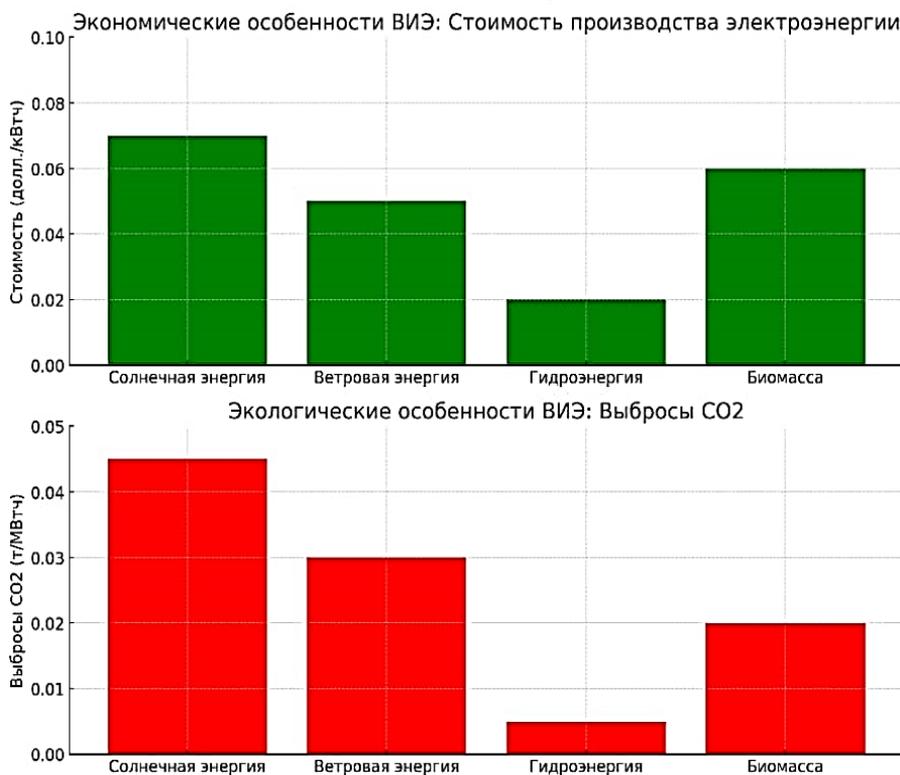


Рисунок 2. График отражающие экономические и экологические особенности использования ВИЭ

Заключение

Результаты исследования подтверждают, что возобновляемые источники энергии играют ключевую роль в смягчении экологических последствий традиционной энергетики и продвижении устойчивого экономического развития. На основе анализа, представленного в статье, можно сделать вывод, что экологические преимущества ВИЭ значительно превышают их возможные недостатки. Однако для успешного внедрения необходимо учитывать локальные условия, экологические риски и инвестировать в развитие технологий переработки и утилизации.

Иллюстрации, представленные в статье, отражают ключевые характеристики ВИЭ: их эффективность, экологическую безопасность и долгосрочные экономические преимущества, такие как снижение операционных затрат и увеличение энергетической независимости. Это подтверждает важность комплексного подхода к развитию ВИЭ для достижения глобальных климатических целей и перехода к устойчивому будущему.

Литература

1. IRENA (International Renewable Energy Agency). Latest global trends in renewable energy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series> (дата обращения: 07.11.2024).
2. Mathiesen, B.V., et al. Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions // *Applied energy*. – 2015. – Vol. 145. – P. 139-154.
3. Dadashi, Z., Mahmoudi, A., Rashidi, S. Capacity and strategies of energy production from renewable sources in Arab countries until 2030: a review from renewable energy potentials to environmental issues // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Vol. 29. – No. 32. – P. 47837-47866.
4. Международное агентство возобновляемых источников энергии (IRENA). Обзор мирового рынка ВИЭ за 2022 год: доклад / IRENA. – Абу-Даби: IRENA, 2022. – 125 с.
5. McKinsey & Company. The Future of Renewable Energy: Trends and Opportunities. McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-future-of-renewable-energy> (дата обращения: 07.11.2024).
6. Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A. A Path to Sustainable Energy by 2030. *Scientific American*, 2011, Vol. 304, No. 5, pp. 58-65. URL:

<https://www.scientificamerican.com/article/a-path-to-sustainable-energy-by-2030/>
(дата обращения: 07.11.2024).

7. Bloom, D. E., Canning, D. The Economic Benefits of Renewable Energy Deployment: A Global Perspective. *Energy Economics*, 2020, Vol. 88, p. 104775. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104775>.

8. Sovacool, B. K. The Political Economy of Renewable Energy: Lessons from the Past and Future Challenges. *Energy Research & Social Science*, 2019, Vol. 56, p. 101196. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101196>.

9. Махсумов, И.Б. Оценка эффективности использования солнечной энергетики на территории Хатлонской области Республики Таджикистан / И.Б. Махсумов // *Окружающая среда и энерговедение*. – 2024. – № 1(21). – С. 62-74. DOI 10.24412/2658-6703-2024-1-62-74.

10. Махсумов, И.Б. Оценка потенциала солнечной энергии с использованием солнечных кадастров / И.Б. Махсумов // *Энергетик*. – 2024. – № 4. – С. 38-42.

Сведения об авторах:

Махсумов Илхом Бурхонович – к.т.н., старший преподаватель, заведующий кафедрой альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 909-22-24-24, E-mail: makhsumovib@tpei.tj

Рахимов Зафар Саидалиевич – к.э.н., доцент, кафедры альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 935-81-60-60, E-mail: zafar.430105@mail.ru

Рахимов Хуршед Абдуллоевич – к.т.н., и.о. доцента кафедры альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, район Кушониён, Тел: (+992) 550-69-64-64, E-mail: kh.rakhimov.69@mail.ru

ТАРБИЯИ ЭКОЛОГИИ КЎДАКони СИННИ ТОМАКТАБЇ ЗАМИНА
БАРои РУШДИ ИҚТИСОДИ САБЗ

Аминов Х. Н., Аминзода С. Л.

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айний, шаҳри
Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон,
Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи М.Осимӣ, шаҳри Душанбе,
Ҷумҳурии Тоҷикистон,
E-mail: Oamisasima0@gmail.com

Аннотатсия: Тарбияи экологии кӯдакони синни томактабӣ асос барои ташаккули муносибати масъулони ба муҳити зист ва рушди иқтисоди сабз мегардад. Ин раванд тавассути қорӣ намудани барномаҳои таълимӣи ҳифзи муҳити зист, истифодаи таҷрибаҳои инноватсионӣ ва фаъолгардонии тарбияи маънавию эстетикӣ ба кӯдакон кӯмак мекунад, ки арзиши табиатро дарк намуда, мафҳумҳои истифодаи устувори захираҳои биомӯзанд. Инчунин, тарбияи экологии дуруст ба рушди ҷомеаи устувор ва иқтисоди сабз мусоидат мекунад.

Калидвожаҳо: тарбияи экологӣ, кӯдакони синни томактабӣ, иқтисоди сабз, муҳити зист, захираҳои табиӣ, тарбияи маънавӣ, устуворӣ, истифодаи оқилона, барномаҳои таълимӣ, рушди ҷомеа.

**ECOLOGICAL EDUCATION OF SCHOOL-AGE CHILDREN IS THE
BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF A GREEN ECONOMY**

Abstract: The ecological upbringing of preschool children forms a foundation for cultivating responsible attitudes toward the environment and fostering the development of a green economy. This process involves introducing environmental education programs, employing innovative methods, and enhancing moral and aesthetic education. Proper ecological education helps children understand the value of nature and learn concepts of sustainable resource use, contributing to the creation of a sustainable society and a green economy.

Keywords: ecological upbringing, preschool children, green economy, environment, natural resources, moral education, sustainability, rational use, educational programs, societal development.

Тарбияи экологӣ дар кӯдакон на танҳо ба омӯзиш ва шиносоии онҳо бо муҳити зист, балки ба рушди хислатҳои инсондӯстӣ, ҳассосияти эҳсосии онҳо ва эҳтиром ба табиат равона мешавад. Аз овони кӯдакӣ бояд кӯшиш шавад, ки кӯдакон ҳис кунанд, ки онҳо қисми муҳити зист мебошанд ва ин муҳити

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

атрофро бояд ҳифз кунанд. Тарбияи экологӣ кӯмак мекунад, ки кӯдакон на танҳо ба зебоии табиат ва ҳайвонот, балки ба масъулияти шахсӣ ва иҷтимоии худ дар ҳифзи муҳити зист дарк кунанд.

Дар ин раванд, муҳити тарбиявӣ бояд кӯдаконро ба фаъолиятҳои, ки ба табиат ва муҳофизати он рабт доранд, ҷалб кунад. Масалан, машғулиятҳои дар бораи дарёфти ҳашарот, растаниҳо ва олами ҳайвонот ё ташкили як "боғи хурд" дар муассисаҳои таълимӣ метавонанд шавқ ва хости кӯдаконро ба муҳити зист бештар намоиш диҳанд.

Иқтисоди сабз як раванд ва система аст, ки ба коҳиш додани таъсири манфии иқтисод ба муҳити зист ва рушди устувор тавачҷӯх мекунад. Тарбияи экологӣ дар кӯдакон метавонад як унсури муҳими рушди иқтисоди сабз бошад, чунки кӯдакон, ки имрӯз ба таври фаъол бо муаммоҳои экологӣ ва муҳофизати муҳити зист ошно мешаванд, дар оянда ҳамчун муҳаққиқон, мутахассисон ва роҳбарони соҳаҳои гуногун метавонанд иқтисоди сабзро пеш баранд.

Аз овони кӯдакӣ, кӯдакон бояд бо мавзӯҳои муҳим, ба монанди самаранокии истифодаи захираҳои табиӣ, ҳифзи манбаҳои энергия ва кам кардани партови газҳои гулхонаӣ шинос шаванд. Ин раванд метавонад бо иштирок дар бозиҳои таълимӣ экологӣ, омӯзиши маводи мусоиди табиат ва ташкили манобеи даромад дар муҳити сабз оғоз шавад. Бо ин роҳ, кӯдакон аз хурдсолӣ фаҳмидани муҳимияти истифодаи манбаҳои устувор ва масъулияти шахсиро дар самти ҳифзи муҳити зист барои рушди иқтисоди сабз меомӯзанд.

Моҳияти тарбия ва таълим дар соҳаи экология дар асл дар ҳосил кардани ҳисси дӯст доштани табиат, тавони дарк кардани ҷаҳон ва арзишу зебоии он барои ҳар як инсон асос ёфтааст. Ин раванд ба фаҳмидани он ки табиат асоси ҳаёт ва мавҷудияти тамоми зиндагӣ дар Замин аст ва инчунин иртиботи ногусастанӣ ва шартӣ табиат ва инсонро дар бар мегирад.

Инсон қисми муҳити атроф буда, ба қонунҳои умумии рушд таслим шудааст. Дар ҷомеаи муосир, одамон бо мушкилоти зиёде рӯбарӯ ҳастанд, аммо масъалаи муҳимтарин ва ғаврии он нигоҳдории муҳити зист мебошад. Ояндаи инсонҳо ба сатҳи фарҳанги экологӣ ва иштироки мақсадноки ҳар як инсон дар ҳалли ин мушкилот вобаста аст. Дар чунин шароити, таълим ва тарбия дар соҳаи экология дар ҳамаи сатҳҳо аҳамияти муҳим ва пешқадамро касб мекунад.

Дар вобастагӣ бо иқтисоди сабз, таълимоти экологӣ на танҳо ба афзоиши дониш дар бораи табиат ва ҳифзи муҳити зист, балки ба таҳкими малакаҳои амалии қабули қарорҳои устувор ва самаранок низ равона шудааст. Иқтисоди сабз ба рушди иқтисод, ки дар он эҳтиром ба муҳити зист ва устуворӣ дар авлабият қарор дорад, ишора мекунад. Дар чунин манбаи матнӣ, ба таълимоти экологӣ бояд тавачҷӯх бештар ба масъалаҳои амалӣ, ба монанди идоракунии

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

самараноки захираҳо, коҳиш додани партовҳо ва хатарҳои экологӣ ба муҳити зист ва рушди манбаъҳои табиӣ равона шавад.

Мақсади таълимоти экологӣ дар мактабҳо ва муассисаҳои таълимии муосир бояд шомил кардани донишҷӯён ба раванди қабул кардани қарорҳои экологӣ бошад, ки барои рушди устувори иқтисоди сабз зарурӣ аст. Инчунин, бояд ба ҷавонон омӯхт, ки чӣ гуна истифодаи оқилона ва самараноки захираҳои табиӣ метавонад бо рушди иқтисоди сабз пайванд дошта бошад. Ба ин васила, онҳо бояд дарк кунанд, ки ба ҳисоб гирифтани омилҳои экологӣ ва иқтисодӣ дар раванди истифодаи манбаъҳои табиӣ ва рушди истеҳсолот барои таъмини ояндаи устувор ва муҳофизати муҳити зист муҳим аст.

Мо ва табиат як ҷузъи якдигар ҳастем. Дар тӯли асрҳо, одамон дар тамоми ҷаҳон бо табиат дар робита буда, он ба онҳо паноҳгоҳ, ғизо, дору ва шароити зистро фароҳам меовард. Дар он вақтҳо, инсон табиатро ҳифз мекард ва маҷбур буд, ки муносибатҳояшро бо он ба тавре созад, ки захираҳои заруриро муҳофизат кунад. Мутаассифона, дар замони мо ин робита гум шудааст. Имрӯз мо, шаҳрвандон табиатро аз дур аз экранҳои телевизион мебинем ва шамими тозаи алафзорро истишмомнакарда ба ҷойи он ҳавои аз кондитсионерҳо хоричгардидаро эҳсос мекунем.

Агар мо, калонсолон, тавонем ба кӯдакон зебоии табиат ва арзишҳои он ва аҳамияти таъмини муҳити зистро нишон диҳем, агар онҳо фаҳманд, ки ивазкунандаи рӯҳияи табиӣ вучуд надорад, агар мо бо сабр ва тавачҷӯх ба даҳҳо саволҳои кӯдакон ҷавоб диҳем, онҳо дар оянда аз мо ноумед намешавад. Масъалаҳои экологӣ яке аз муҳимтарин ва ғамангезтарин масъалаҳои муосир мебошад.

Масъалаи тарбияи экологӣ ва рушди иқтисоди сабз ба ду паҳлуи асосӣ ишора мекунад: 1) муносибати мусбат ва эҳсоси масъулият нисбат ба табиат. 2) таълимоти ахлоқӣ ва психологӣ, ки барои устувории ҷамъият ва рушди иқтисоди сабз муҳим аст.

Муносибат бо табиат ва фаъолиятҳои эҷодӣ кӯмак мекунанд, ки кӯдакон эҳсосоти мусбат ва ҳештаншиносии муҳити атрофро ба вучуд оранд, ки он дар ҳаёти онҳо ба як масъулият ба нигоҳубини табиат ва бо ҳавасмандӣ зиндагӣ кардани он табдил мешавад. Ин раванд на танҳо эҳсоси эстетикӣ, балки эҳсоси ахлоқии кӯдаконро, ки барои ояндаи устувори экологӣ муҳим аст, ташвиқ мекунад. Ба ин васила, кӯдакон ҳангоми рӯй овардан ба табиат ва омӯзиши муносибат бо он, як муносибати маънавии мусбӣ ва эҳсоси масъулиятро ташаккул медиҳанд, ки барои рушди иқтисоди сабз ва устувор хеле муҳим аст.

Ин гуна муносибатҳо дар оянда ба кӯдакон кӯмак мекунанд, ки дар ҷомеа ҳамчун шаҳрвандони масъул ва дӯстдорони табиат амал кунанд, ва онҳо таъсир

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

мегузоранд ба рушди як ҷомеаи устувор, ки бар асоси принципҳои ҳифзи муҳити атроф ва истифодаи оқилонаи захираҳо асос ёфтааст.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон солҳои охир тавачҷуҳ ба масъалаҳои ҳифзи муҳити зист, тарбияи экологӣ ва рушди иқтисоди сабз афзоиш ёфтааст. Маблағгузорӣ дар ин самтҳо асосан аз ҷониби давлат, созмонҳои байналмилалӣ ва ташкилотҳои ғайридавлатӣ сурат мегирад.

Давлат тавассути барномаҳои миллии ҳифзи муҳити зист, ба монанди **Барномаи миллии мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим** ва дигар лоиҳаҳо, барои баланд бардоштани сатҳи маърифати экологӣ дар мактабҳо маблағ ҷудо мекунад. Ҳамчунин, лоиҳаҳои аз ҷониби созмонҳои байналмилалӣ, аз қабили **Барномаи рушди СММ (UNDP)**, **Бонки ҷаҳонӣ**, ва **Созмони ҳифзи муҳити зисти АвруОсиё (OSCE)** маблағгузорӣ мешаванд, ки ба тарбияи экологӣ ва рушди устувор равона шудаанд.

Ин барномаҳо нақши муҳим дар рушди тарбияи экологии хонандагони томактабӣ ва иқтисоди сабз дар Тоҷикистон доранд.

Барномаи миллии мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим: Ин барнома тавассути ҷорӣ намудани лоиҳаҳои экологӣ ба муҳити таълимии томактабӣ, кӯдаконро бо асосҳои муносибати масъулona ба табиат ошно мекунад. Масалан, ташкили боғҳои хурди таълимӣ дар назди муассисаҳо ва омӯзиши истифодаи захираҳои табиӣ кӯдаконро дарки тағйирёбии иқлим ва зарурати ҳифзи табиатро омӯзонида, онҳоро барои зиндагии устувор омода месозад. Дар доираи ин барнома, ҷорабиниҳо барои баланд бардоштани огоҳии тарбиягарон ва падару модарон оид ба истифодаи оқилонаи захираҳо, ки барои иқтисоди сабз муҳиманд, роҳандозӣ мешаванд.

Барномаи рушди СММ (UNDP): Барномаҳои UNDP аксар вақт ба баланд бардоштани сатҳи маърифати экологӣ тавассути омӯзиши ҷанбаҳои амалии нигоҳдории муҳити зист дар мактабҳои томактабӣ равона шудаанд. Ин барномаҳо омӯзгоронро бо мавод ва усулҳои замонавии таълимӣ таъмин мекунанд, ки ба кӯдакон дарки зарурати муҳофизати табиат ва истифодаи самараноки захираҳои табииро таълим медиҳад. Лоиҳаҳои ташаккулёфта аз ҷониби UNDP инчунин кӯдаконро бо истилоҳҳои муҳими иқтисоди сабз, аз қабили сарфакорӣ ва истифодаи энергияҳои таҷдидшаванда, ошно мекунанд.

Бонки ҷаҳонӣ: Дар доираи маблағгузориҳои лоиҳаҳои экологии Бонки ҷаҳонӣ, муассисаҳои томактабӣ метавонанд инфрасохтори худро такмил диҳанд, масалан, ҷорӣ кардани таҷҳизоти сарфакунандаи энергия ё истифодаи оби борон барои сарфаи захираҳои табиӣ. Ин барои тарбия кардани фарзандон дар муҳити устувор мусоидат мекунад. Лоиҳаҳо ба беҳтар намудани муҳити

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

зист ва омӯзиши кӯдакон дар бораи ҳифзи он, инчунин таъсири фаъолияти инсон ба табиат равона шудаанд.

Созмони ҳифзи муҳити зисти АвруОсиё (OSCE): OSCE тавассути омӯзишҳои махсус ва маъракаи иттилоотӣ кӯдакони томактабро ба фаҳмиши арзишҳои муҳити зист ва масъулияти шахсӣ дар муносибат бо табиат равона мекунад. Ин ташаббусҳо одатҳои рӯзмарро ташаккул медиҳанд, ки ба рушди фарҳанги устувор дар оянда мусоидат мекунанд. Дар доираи лоиҳаҳои OSCE, омӯзиши педагогҳо ва падару модарон дар мавриди роҳҳои ташаккули муносибати сабз ва хирадмандона ба захираҳо анҷом дода мешавад.

Илова бар ин, дар доираи ин ташаббусҳо, ташкили боғҳои мактабӣ, баргузори чорабиниҳои экологӣ, мусобикаҳои фаҳмондадиҳӣ, ва омӯзиши фанҳои марбут ба ҳифзи муҳити зист дар мактабҳо мусоидат мекунанд. Ин барномаҳо на танҳо барои баланд бардоштани дониши хонандагон дар бораи масъалаҳои экологӣ, балки барои тарғиби зиндагии устувор ва истифодаи оқилонаи захираҳо равона шудаанд, ки як қисми муҳими рушди иқтисоди сабزو ташкил медиҳад.

Барои татбиқи барномаҳои марбут ба мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим ва рушди иқтисоди сабз дар Тоҷикистон, маблағгузори назаррас пешбинӣ шудааст. Ба гуфти манбаъҳо, танҳо барои марҳилаи аввали Стратегияи мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим 2,1 миллиард доллар лозим аст. Аммо, маблағгузори солоне то ҳол хеле маҳдуд буда, дар соли 2023 камтар аз 1% буҷаи давлатӣ барои ин самтҳо ҷудо шудааст.

Қисми зиёди маблағҳо аз шарикони байналмилалӣ рушд, аз қабилӣ Бонки ҷаҳонӣ ва дигар ташкилотҳо, таъмин мегарданд. Масалан, Бонки аврупоӣ таҷдид ва рушд ба маблағи 50 миллион доллар сармоягузори сабزو оғоз кардааст. Аммо ҳукумат ҳанӯз ҳам ба маблағгузори бештар аз сармоягузори дохилӣ ва хоричӣ ниёз дорад.

Маблағгузорӣ ба рушди маърифати экологӣ ва тавсеаи иқтисоди сабз дар Тоҷикистон то ҳол натиҷаҳои назарраси аввалияро дар бар гирифтааст, гарчанде ки душвориҳо боқӣ мемонанд:

Таълим ва маърифати экологӣ: Барномаҳои таълимӣ, ки тавассути созмонҳои байналмилалӣ ва давлат амалӣ мегарданд, маърифати экологиро дар мактабҳо ва муассисаҳои томактабӣ зиёд кардаанд. Дар доираи барномаҳои Бонки ҷаҳонӣ ва UNDP, ташаббусҳои омӯзиши устувори муҳити зист ҷорӣ карда шудаанд, ки кӯдакон ва ҷавонро бо мафҳумҳои ҳифзи табиат ва истифодаи самараноки захираҳо ошно мекунанд. Омӯзгорон ва ташкилотҳои маҳаллӣ дар усулҳои замонавӣ таълими экологӣ ва устуворӣ омода шудаанд.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Тавсеаи иқтисоди сабз: Бо маблағгузории шарикони рушд, аз чумла Бонки аврупоии таҷдид ва рушд, лоихаҳо дар самти истифодаи энергияи таҷдидшаванда, барқарорсозии чарогоҳҳо, ва беҳдошти захираҳои об амалӣ мешаванд. Ин раванд барои коҳиш додани таъсири тағйирёбии иқлим ва дастгирии кишоварзии сабз мусоидат мекунад. Лоихаҳои дигар, ба монанди истифодаи технологияҳои сарфакунандаи энергия дар инфрасохтори давлатӣ, ба пешбурди иқтисоди сабз мусоидат мекунад.

Душворихо ва маҳдудиятҳо: Ҳанӯз маблағгузорӣ кофӣ нест ва иҷрои барномаҳо ба таври комил сурат намегирад. Дар сатҳи маҳаллӣ, огоҳии ҷиддии ҷомеа ва дастгирии ғаёб аз тарафи бахши хусусӣ лозим аст.

Адабиёти истифодашуда

1. Николаева С.Н. Юный эколог: программа и условие ее реализации в детском саду. // М., 2009.-262 стр.
2. Николаева С.Н. Система экологического воспитания детей в дошкольном учреждении. М., 2005. -150 стр.
3. Маркова Т.А. Основы дошкольной педагогики// Под ред. А.В.Запорожца. М., 2000. -464 стр.
4. Шиленок Т., Помощь педагогу в работе по экологическому воспитанию дошкольников// 1992. -211 стр.
5. Мукминов М.Н., Шуралев Э.А., Бадрутдинов О.Р., Основы экологии и природопользования // Казан-2017. -146 стр.
6. Ибрагимова К.К., Леоноваэкология Т.Ш. Рациональное природопользование // Учебно-методическое пособие для практических занятий. Казань-2014. -96 стр.

Маълумот дар бораи муаллифон

1. **Аминов Хушбахт Начмиддинович**-омӯзгори кафедраи геоэкологияи Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни. Суроға: 734003 ш. Душанбе, хиёбони Рӯдаки 121. E-mail: voru0051@gmail.com.
2. **Аминзода Салимшоҳ Латиф** - донишҷӯи курси 2-юми ихтисоси Сертификатсия ва идоракунии сифат, факултети Механикӣ ва технологӣ. Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.Осимӣ, шаҳри Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, суроға: 734025 ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Рафабовҳо 10-а. E-mail: 0amisasima0@gmail.com

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

Аминов Х., Зиёдалиев С.

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айний, шаҳри

Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

E-mail: voru0051@gmail.com

Аннотация: Гидроэнергетика и возобновляемая энергетика играют ключевую роль в обеспечении устойчивого развития и энергетической безопасности. В работе рассматриваются современные подходы к использованию водных ресурсов для производства электроэнергии, акцентируя внимание на их экологических аспектах. Обсуждаются перспективы интеграции гидроэнергетики с другими возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная и ветровая, для минимизации воздействия на окружающую среду. Особое внимание уделено вопросам рационального использования природных ресурсов, уменьшения выбросов углерода и сохранения биоразнообразия.

Ключевые слова: гидроэнергетика, возобновляемая энергия, экология, природные ресурсы, окружающая среда, возобновляемые источники, энергия, устойчивость, устойчивое развитие, изменение климата.

HYDROPOWER, RENEWABLE ENERGY AND ECOLOGY

Abstract: Hydropower and renewable energy are pivotal in achieving sustainable development and energy security. This study explores modern approaches to utilizing water resources for electricity generation, emphasizing their environmental aspects. It discusses the prospects of integrating hydropower with other renewable energy sources, such as solar and wind, to minimize environmental impact. Special attention is given to the rational use of natural resources, reducing carbon emissions, and preserving biodiversity.

Keywords: hydropower, renewable energy, ecology, natural resources, environment, renewable sources, energy, sustainability, sustainable development, climate change.

Энергетика как мы знаем – это, отрасль хозяйственно - экономический деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем всех видов.

Однако формулировка определения кажется несколько тяжеловесной, а структура предложения нарушена из-за избыточного количества пояснений.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Терминология нуждается в уточнении, например, использование слова "хозяйственно-экономический" можно заменить на "экономический и хозяйственный" для повышения ясности.

Целью использования энергетики является обеспечением производства энергии путём преобразования первичной, природной энергий во вторичную, приведём обыкновенный пример: в электрическую или тепловую энергию. При этом производства энергий чаще всего как мы наблюдаем происходит в несколько стадий. Для этого мы используем специальную таблицу:

1 Получения и концентрация энергетических ресурсов, примером может послужить добыча, переработка и обогащения ядерного топлива.

2 Передача ресурсов к энергетическим установкам, например, всеми нами известны распространенные доставка газа, мазута, метана на топливную электростанцию.

3 Преобразование с помощью электростанций первичную нам энергий на вторичную, например, химической энергий угля в всеми нами известную электрическую и тепловую энергию.

4 Передача вторичной энергий потребителям по линиям передачи.

Статья описывает различные виды природных источников энергии, которые могут быть использованы для производства тепловой и электрической энергии. Основное внимание уделяется солнечной энергии, которая является самым богатым и доступным ресурсом, способным обеспечивать энергию даже в облачную погоду. Этот аспект подчеркивает универсальность солнечной энергии как перспективного источника для устойчивого энергетического будущего.

Далее рассматривается энергия ветра, которая использовалась людьми еще в древности. В статье акцентируется внимание на том, что ветер может быть использован не только для традиционных целей, таких как вращение мельниц, но и для генерации чистой энергии. Энергия ветра представляется как один из наиболее экологически чистых источников энергии, что делает её привлекательной для использования в современных энергосистемах.

Третьим источником упоминается энергия течения воды, которая также считается одним из самых чистых природных ресурсов. Для использования этой энергии требуется строительство гидроэлектростанций (ГЭС), как больших, так и малых. В статье подчеркивается важность гидроэнергии для получения стабильного потока энергии, однако отмечается, что её использование связано с необходимостью крупных инфраструктурных вложений.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Возникает лишь один вопрос? Зачем нам нужно изучать что такое энергетика и для чего она нам нужна? Цель использования энергетики является обеспечение производства энергии путём преобразования первичной, природной энергий во вторичную.

Чтобы понять по понятнее мы можем привести пример из Швейцарского экологического исследовательского компаний на потребление энергетике.



Рисунок 1. Уровень производство мировой электроэнергии

Современная жизнь человека немислима без использования различных форм энергии, в том числе тепловой, которая является неотъемлемой частью комфортных условий проживания и работы. Система отопления и горячего водоснабжения играет ключевую роль в обеспечении удобства и безопасности на протяжении всего года. Независимо от внешних климатических условий, создание оптимальной температуры в жилых и рабочих помещениях способствует нормализации терморегуляции организма, что напрямую влияет на здоровье людей.

В развитых странах, таких как Россия, существуют четкие нормативы, регулирующие температурные условия в помещениях. Эти стандарты включают требования к температуре воздуха в жилых, офисных и общественных помещениях, что позволяет обеспечить не только комфорт, но и

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

здоровье людей. Существование таких норм становится важным аспектом социальной политики и гарантией улучшения качества жизни граждан. Отопление и горячее водоснабжение становятся важной частью инфраструктуры, способствующей улучшению уровня жизни и производительности труда.

Примером успешной реализации таких стандартов является Россия, где теплоснабжение в жилых и общественных зданиях имеет строгое регулирование, обеспечивающее стабильность и безопасность. Системы отопления и горячего водоснабжения здесь развиты, что способствует высокому качеству жизни в большинстве регионов страны. В условиях холодного климата соблюдение температурных норм является не только удобством, но и необходимостью для поддержания здоровья граждан и оптимальных условий для работы.



Рисунок 2. Уровень потребления электроэнергии в ЕЭС России

Экология — это наука, изучающая взаимосвязи между живыми организмами и их окружающей средой. Основной задачей экологии является анализ всех сложных взаимодействий в природе, которые, как утверждал Чарльз Дарвин, являются важным условием для борьбы за существование. Экология включает в себя разнообразные аспекты, начиная от исследования

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

индивидуальных видов и их сред обитания до глобальных экологических процессов. Это знание о том, как живые существа взаимодействуют с другими организмами и с органическими компонентами своей среды, помогает понять законы природы и процессы их эволюции.

Слово «экология» происходит от греческих слов «экос» — дом, и «логос» — наука, что подчеркивает важность изучения среды обитания живых существ. Экологи исследуют эти взаимодействия, изучая влияние различных факторов на развитие и выживание организмов. Эта дисциплина включает в себя множество различных направлений, которые сосредоточены на отдельных аспектах экологического процесса. Экология как наука не ограничивается одной областью, а охватывает множество аспектов, от социальной структуры популяций до поведения отдельных видов в новых условиях.

Один из важнейших разделов экологии — это социальная экология, которая изучает, как организмы взаимодействуют друг с другом в группах и как влияют на свою среду. Социальная экология анализирует, как определенные виды приспосабливаются к неестественным для них условиям, что часто связано с исследованием их поведения в новых или измененных экосистемах. Это направление дает важные данные для понимания поведения популяций и воздействия на их развитие.

Эволюционная экология, в свою очередь, направлена на изучение процесса эволюции и развития видов. Она помогает понять, как виды изменяются с течением времени, что способствует их выживанию или исчезновению, и какие экологические факторы влияют на эти изменения. Это направление тесно связано с теорией эволюции Дарвина и помогает объяснить, как естественный отбор способствует адаптации видов к окружающей среде.

Популяционная экология занимается анализом численности и динамики популяций организмов. Это направление направлено на исследование того, как различные факторы, такие как пищевые ресурсы, болезни, хищники и конкуренция, влияют на количество особей в популяции и на их воспроизводство. Изучение популяционной экологии важно для разработки эффективных методов охраны природы и управления биоресурсами.

Поведенческая экология исследует, как различные виды живых существ ведут себя в определенных условиях окружающей среды. Это позволяет понять, как поведение влияет на выживание и размножение организмов. Наблюдения за поведением особей в новых или измененных условиях могут дать ценную информацию о том, как они адаптируются к изменениям в своей среде. Этот раздел экологии помогает изучать механизмы выживания и стратегий поведения, важные для экосистем.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таким образом, экология - это многогранная наука, которая охватывает широкий спектр исследований. Изучение различных направлений экологии помогает лучше понять, как живые организмы взаимодействуют между собой и с окружающей средой, а также какие изменения происходят в природе под воздействием различных факторов.

По мировым источникам каждая страна испытывает свои собственные признаки экологических проблем. Над этой статистикой взяли множество показателей из других стран мира.

Есть ещё и другая важная статистика на счёт выброса мусора не только на Землю, но и на атмосферу нашей планеты. Общие расходы для выработки мусора и очистки её понадобятся триллионы и триллионы долларов.

Энергетика играет ключевую роль в обеспечении современных потребностей общества в энергии. Она охватывает множество процессов — от добычи первичных природных ресурсов до их преобразования в электрическую или тепловую энергию и передачи конечным потребителям. В статье подчеркивается значимость использования альтернативных источников энергии, таких как солнечная, ветровая и гидроэнергия, которые не только удовлетворяют растущий спрос на энергию, но и минимизируют экологическое воздействие. Несмотря на сложность реализации таких проектов, их внедрение является важным шагом на пути к устойчивому развитию.

Адабиёти истифодашуда

1. «Зеленая» экономика: проблемы и пути развития : материалы конференции (Минск, 5 апреля 2017 г.). — Минск : АЖУР Групп, 2017. — 117 с.
2. Альтернативные источники сырья и топлива : сборник научных трудов конференции АИСТ–2015, 26–28 мая 2015 г., Минск. — Выпуск 2. — Минск : Беларуская навука, 2016. — 143 стр.
3. Альтернативные источники сырья и топлива : тезисы докладов конференции АИСТ–2017, 30 мая–1 июня 2017 г., Минск. — Минск : Институт химии новых материалов НАН Беларуси, 2017. — 79 стр.
4. Бердин В. Х. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики /. — Москва : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. — 80 с.
5. Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика / — Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2016. — 421 стр.
6. Карпенко А. Ф. Логистика поступления солнечной энергии в природные системы Беларуси / — Гомель : ГГУ, 2017. — 195 с.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

7. Ковалев М. М. Будущее белорусской энергетики на фоне глобальных трендов: монография / — Минск: Издательский центр БГУ, 2018. — 223 стр.

8. Пенджиев, А.М. Ресурсы и эффективность использования геотермальных вод. Монография Пенджиев, А.М., Пенжиева Д.А. - Издатель: LAP LAMBERT-162 стр.

9. Юдаевым И.В., Даусом Ю.В. и Гамагой В.В. Возобновляемые источники энергии" - это учебник, написанный -301 стр.

Информация об авторах

1. **Аминов Хушбахт Начмиддинович** – преподаватель кафедры геоэкологии Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни. Адрес: 734003 г. Душанбе, проспект Рудаки, 121. E-mail: voru0051@gmail.com.

2. **Зиёдалиев Саидо** - студент 1-го курса специальности география-биология. Таджикский государственный педагогический университет имени Садриддина Айни. Адрес: 734003 г. Душанбе, улица Рудаки 121. E-mail: voru0051@gmail.com.

МЕРЫ ПО СОХРАНЕНИЮ ЛЕДНИКОВ ТАДЖИКИСТАНА ОТ ДЕГРАДАЦИИ

Катаганова Г. Б.¹, Боев М. Р.², Боев У. З.³

1. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

2,3. Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

E-mail: Gulja-76@bk.ru

Аннотация: в статье рассмотрены причины и последствий эволюции и дегредации ледников Республики Таджикистан и вещественными фактами показаны, что в результате дегредации уменьшается площадь и объем ледников, что приводит к уменьшению водного стока в второй половине летнего сезона. Предлагается, что в промышленности, сельском хозяйстве, транспорта и жилищно-коммунальном хозяйстве применить водосберегающих средств и способов использования воды.

Ключевые слова: эволюция и дегредация ледников, глобальное потепление климата, ледниковые площади, ледниковый сток, пульсирующие ладники, уменьшение твердых осадков, подземные водохранилища, лёдобразующие водохранилища.

MEASURES TO PRESERVE THE GLACIERS OF TAJIKISTAN FROM DEGRADATION

Annotation: the article examines the causes and consequences of the evolution and degradation of glaciers in the Republic of Tajikistan. It provides factual evidence showing that as a result of degradation, the area and volume of glaciers decrease, leading to reduced water runoff in the second half of the summer season. It is suggested that water-saving methods and technologies be implemented in industries, agriculture, transportation, and housing and communal services.

Key words: evolution and degradation of glaciers, global climate warming, glacier areas, glacier runoff, pulsating glaciers, reduction of solid precipitation, underground reservoirs, ice-forming reservoirs.

Водные ресурсы сегодня находятся под серьёзным воздействием изменения климата. Яркий пример этого явления мы видим в интенсивном таянии ледников на глобальном уровне, включая ледники Таджикистана, которые составляют до 60 процентов водных ресурсов Центральной Азии.

«За последние несколько десятилетий из 14 тысячи наших ледников, одна тысяча исчезла полностью. С учётом того, что ледники и другие водные источники Таджикистана составляют 60 процентов водных ресурсов Центральной Азии, данный процесс создаёт дополнительные проблемы в

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

отношении планов по использованию воды в странах региона» - отмечал Лидер нации, Президент Республики Таджикистан, уважаемый Эмомали Рахмон в своём выступлении на 27-й Конференции сторон Рамочной Конвенции ООН по изменению климата (КОП-27) 07.11.2022 года в Египте.

По данным Метеорологической службы Таджикистана, Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, ледники страны в первой половине XXI века подвержены глобальной деградации и упадку.

Если общая площадь ледников Средней Азии составляет 18149,1 квадратных километров, то на территории Республики Таджикистан находятся около 10890 кв.км. Ледники в горах Таджикистана расположены между высотами 3400 - 5240 метров.

Одним из актуальных вопросов современности является неблагоприятное состояние ледников земной сферы в условиях глобального потепления. Установлено, что температура Земли увеличилась в среднем на 0,6⁰С на протяжении XX века. Эта ситуация не оставила без следа на формирование, хранение и развитие ледников. Потепление привело к уменьшению образования снежного покрова и ледников. Сегодня таяние ледников важнее хранения, что приводит к уменьшению их площади и запасов. Подсчитано, что ледники Таджикистана потеряли более 20 км³ свежего льда в XX веке [1].

Наземные изучения и исследования из космоса показали, что подобное явление не наблюдалось ни в одной другой стране СНГ. Продолжающиеся исследования второй половины 20 века и первого десятилетия 21 века доказали, что разрушились 132 ледника площадью 1-2 км².

Наблюдения за ледниками Таджикистана с 1930 года до нашего времени свидетельствуют о том, что в среднем 33% площади ледника уничтожено. В связи с этим комплексное изучение ледников Таджикистана в фазу потепления климата имеет большое научное и народнохозяйственное значение, так как основным источником воды в Центральной Азии являются горные ледники, большая часть которых расположена в Таджикистане и Кыргызстане, источником искусственного орошения, промышленного использования и жизни человека. Невозможно составить план развития народного хозяйства без точного понимания эволюции ледников.

Поэтому необходимо на регулярной основе продолжать наземные и дистанционно-космические исследования ледников, поскольку этот вопрос безусловно важен и интересен не только для Таджикистана, но и для всех стран Центральной Азии и Афганистана. С этой целью организация международных экспедиций является насущной необходимостью.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Памиро-Олайский хребет - один из главных ледовых центров Средней Азии. Амударья, Сырдарья, Зеравшан, крупнейшие реки Средней Азии питаются ледниками Помир и Олой и оказывают определенное влияние на экономическую и социальную жизнь и климат.

Ледники Таджикистана имеют площадь 8,4 тыс. км² и составляют 6% территории республики. По сегодняшним данным в Республике Таджикистан насчитывается 13 тысяч ледников, из которых 23 ледника имеют длину более 15 км.

За последние 50 лет площадь льдов в бассейнах рек Ванч, Гунт, Бартанг и Шахдара уменьшилась на 25-30%. На Западном Памире есть небольшие каровые и долинные ледники. К востоку крупные ледники долин и их ветвь меняют мелкие ледники. В этой провинции находится пульсирующий ледник - «прыгающий» - ледник Медвежья.

Восточный Памир представляет собой высокогорную пустыню, расположенную на высоте 5500-6800 метров над уровнем моря. Климат здесь сухой континентальный с небольшим количеством осадков. Из-за холодного и сурового климата таяние льда происходит медленнее, чем в других областях Таджикистана. В районе Сарезского озера растаяли и исчезли пять небольших ледников, а во второй половине 20 века было уничтожено 30-40% ледников в бассейне реки Мургоб.

Анализ картографических материалов 1950 г. и фотографий, сделанных из космоса (1980 г.), показывает, что ледники на левом берегу реки Пяндж (Афганистан) уменьшились на 50%.

В область Гиссаро-Олай, включающую юг Тяньшаня, входят горные хребты Туркестан, Зеравшан, Гиссар, Олой-Каратегин.

Небольшие ледники на северных и южных склонах хребта Петра первого будут таять до 2030 года, будет таять их передняя часть, которая находится ниже основной линии, так как их деградация продолжается быстро и их мощность не очень велика. Исчезают сотни ледников площадью менее 1 км² на правом берегу реки Сурхоб, расположенной на юге Олойского хребта. К этому типу относятся ледники вершины Камароб.

Летом величина суточного таяния ледников достигает 4-5 см, что тесно связано с расположением и температурой местности. В теплый период года в среднем таяние с верхней поверхности каждого ледника составляет от 2 до 5 м. При этом он полностью или частично восстанавливается вновь в результате выпадения осадков в течение года.

Согласно намеченным планам, в будущем предполагается приобретение сотен тысяч гектаров новых земель во всех странах Центральной Азии, что,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

безусловно, требует серьезного регулирования речных вод и рационального водопользования. Некоторые исследователи нашли единственное решение в этом случае - искусственно усилить таяние снега и ледников. По мнению Г.А. Авсюка (1953), при посыпании 5 т угольной пыли на 1 км² снега и льда их таяние увеличивается в 1-1,5 раза.

Эта мера была проверена путем проведения эксперимента в 60-х годах прошлого века в ряде районов Памира, Олая и Тянь-Шаня. Установлено, что если в июле-августе посыпать 50-100 г угольной пыли на 1 м², таяние ледника усилится на 20-45%. В 70-х и 80-х годах прошлого века даже существовал план проведения подобных операций в 8 ледниковых бассейнах Средней Азии и Казахстана. По этому плану угольной пылью следует посыпать 2000-3500 км² ледников, чтобы получить дополнительно 6,5 км³ воды.

Многие ученые подчеркивают, что в результате искусственного таяния общая площадь льда и снега уменьшится, а годовое количество осадков не сможет их полностью восстановить. По мнению известного ученого С.В. Колесником искусственное таяние вечного льда и снега спустя десятилетия приводит к разрушению водной системы рек и влажности. Сейчас идет дискуссия по этому вопросу, он нуждается в окончательном решении.

Попытка искусственно ускорить таяние многолетних снегов и ледников на современном этапе противоречит указаниям науки и мировой практики. Достаточно уменьшить ее потери в оросительных системах и других сферах использования и потребления и повысить ее полезный коэффициент, чтобы рационально использовать имеющиеся водные ресурсы.

Если в странах Средней Азии использовать ирригационный опыт стран Среднего и Ближнего Востока, в том числе и Израиля, то запасы воды увеличатся и можно будет за счет этой экономии привлекать новые земли в сельскохозяйственное производство, а при одновременно получить богатый урожай.

Всемирно известный гляциолог, академик В. М. Котляков (2001) после ряда своих исследований на территории Таджикистана предложил создать несколько заповедников крупных горных ледников в горном районе Памир и Олай. Это предложение приемлемо и заслуживает внимания [5, стр. 195].

По некоторым прогнозам, до 2050 г. количество осадков увеличится на 14-15%, но это изменение не может привести к увеличению речной воды, т. к. 40-50% осадков расходуется на испарение и осадки, а оставшаяся часть (снег) меняет место растаявшим снегом.

Впредь не реже одного раза в год необходимо всесторонне анализировать и учитывать вновь полученные данные о площади, состоянии, деградации

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ледников по космическим фотоснимкам и наземным исследованиям и наблюдениям, а также «собственные методы организации и проведения аэрофотосъемок с БПЛА высокого разрешения, с применением набора актуальных данных и переменных (ЦМР, ортофотомозаики, карты растительности, карты склонов и др.) позволяющие осуществить анализ и последующую оценку селевой опасности в исследуемых территориях: создать базу данных; разработать технологию постоянного мониторинга; определить наиболее подходящие типы БПЛА для использования в различных условиях горно-предгорной зоны РТ при отсутствии собственных спутников для оперативного мониторинга из космоса» [7, стр. 145-146] и предоставлять проектным учреждениям с учетом ледниковая вода должна быть предоставлена конкретная экономическая информация. Такая информация очень важна для водопотребляющих и водоиспользующих производств, чтобы точно регулировать устойчивое развитие отрасли.

Литература

1. Пильгуй Ю.Н., Саидов М.С., Хомидов А.Ш., Шакиржанова Г.Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата. Душанбе. 2008, 116 с.
2. Ледники Таджикистана (Главтаджикгидромет). Душанбе. 2003, 35с.
3. Мухаббатов Х. М. Об-манбаи ҳаёт. Душанбе. “Ирфон” 2003, 146 с.
4. Аброров Х. Пиряхҳои Тоҷикистон. Душанбе, “Дониш” 2017, 147с.
5. Аброров Ҳ., Акмалов М. Мӯҷизаҳои табиати Тоҷикистон. Душанбе “Дониш” 2014, 221с.
6. Щетинников А.С., Оледенение Гиссаро-Алая. Ленинград. 1981, 127с.
7. Сафаров М.С. дис. Работа. Опасные гидрологические процессы в условиях изменения климата и дистанционные методы их мониторинга (на примере горно-предгорной зоны Таджикистана) / Душанбе 2021. – 182 с.

Сведения об авторах:

Катаганова Гулбахор Бароталиевна - соискаель, старший преподаватель кафедры безопасность жизнедеятельности и экологии, механико технологический факультет, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими Gulja-76@bk.ru Тел: (+992) 918377352

Боев Мухаммад Рамазонович - докторант (phD) первого курса, Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

Боев Умед Зафарович магистрант второго курса, Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Исмоилов Ф.О.

*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,
г. Душанбе, Таджикистан*

***Аннотация.** Ввиду дефицита тепла и электроэнергии в республике, доступность солнечной энергии и заинтересованность иностранных инвесторов, использование солнечной энергии является одним наиболее актуальных направлений развития энергетики Республики Таджикистан. Однако, для этого требуются квалифицированные специалисты, доступ к современным технологиям, развитие инфраструктуры и проведение научных исследований, которые бы позволили повысить эффективность использования солнечной энергии в условиях нашей страны. В данной работе анализированы некоторые аспекты указанного вопроса.*

***Ключевые слова:** энергетические ресурсы, солнечная энергия, угол наклона, системы слежения.*

ON THE ISSUE OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF SOLAR ENERGY

***Abstract.** Due to the shortage of heat and electricity in the republic, the availability of solar energy and the interest of foreign investors, the use of solar energy is one of the most relevant areas of energy development in the Republic of Tajikistan. However, this requires qualified specialists, access to modern technologies, infrastructure development and scientific research that would increase the efficiency of using solar energy in our country. In this paper, some aspects of this issue are analyzed.*

***Keywords:** energy resources, solar energy, tilt angle, tracking systems.*

Таджикистан, благодаря своему географическому расположению и природно-климатическим условиям, считается одним из наиболее подходящих регионов для применения солнечной энергетики и получение от нее энергии. Республика расположена между 36°40' и 41°05' северной широты и полностью входит в, так называемый, «мировой солнечный пояс» (45°с.ш. - 45°ю.ш.) [1]. Продолжительность солнечного сияния в зависимости от конкретного региона колеблется от 280 до 330 дней в году. Как заявляют специалисты, интенсивность солнечной радиации в большинстве районов республики доходить до 1000 Вт/м², а годовая сумма радиации превышает 2000 кВт/м². По оценкам специалистов, это в два раза больше, чем в средней полосе Европы, где

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

использование солнечной энергии носит самый широкий характер [2] [3]. Среднее значение солнечного излучения здесь оценено 700-800 Вт/ м². Общая продолжительность солнечного сияния колеблется от 2100 до 3170 часов/ год [3].

Таджикистан имеет благоприятные условия для использования солнечной энергии и как утверждают специалисты, по предварительным оценкам потенциал солнечной радиации в Таджикистане составляет 25 млрд. кВт·ч/год (расчетные значения) [3] [4].

По последним результатам исследований отечественных специалистов, примерно 60-80% потребности населения страны в течение 10 месяцев в году могут быть обеспечены солнечной энергией. Пересчете на условные топливо это составляет около 400 тысяч. тонн условного топлива (тут), что эквивалента 460 млн. м³ газа или 528 тыс. тонн мазута.

Солнечная суммарная месячная радиация в основных населенных пунктах Таджикистана, Вт/м² приведено в приложение 1.20.

По оценкам специалистов, показатели интенсивности прямой солнечной радиации по укрупненным параметрам оцениваются от 10,3 кВт·ч/м² (июнь-июль) до 5,9 кВт·ч/ м² (декабрь-январь). [3]

Однако, из-за дефицита равнинной местности, считающее наиболее подходящее для установки установок солнечных фотоэлектрических панелей, все еще высокой стоимости оборудования солнечной электростанции (практически любой мощности), относительно низкого КПД процесса преобразования возникает необходимость в повышении эффективности использования солнечных фотоэлектрических панелей.

Эффективность солнечной фотоэлектрической системы может быть повышена либо за счет повышения КПД солнечных элементов, либо за счет использования системы слежения за солнечными лучами [1].

Максимальная мощность фотоэлектрической системы будет достигнута, если солнечные лучи будут падать на панель перпендикулярно [5]. Поскольку состояние окружающей среды является ключевым фактором для определения солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, солнечное излучение в таком случае нельзя контролировать. Но правильное использование солнечного излучения может быть обеспечено путем отслеживания солнечного света с помощью эффективной системы слежения [5]. С этой целью вводится система слежения для охвата солнечного света с целью повышения общей эффективности [5]. Двухосевая система слежения, которая имеет две степени свободы и отслеживает суточное и сезонное движение Солнца. В результате

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

двухосевой трекер более точен в отслеживании [5], а эффективность может быть повышена до 40 %.

С этой целью определяется оптимальный угол установки солнечных панелей в течение года по методике, приведенной ниже [6]:

Предполагается, что диффузная радиация состоит из прямой $\mathcal{E}_{пр}$, диффузной $\mathcal{E}_д$ и отраженной $\mathcal{E}_{отр}$ составляющих и расчет \mathcal{E}_β производится по формуле [156]:

$$\mathcal{E}_\beta = K_\Sigma \cdot \mathcal{E}_\Gamma = \mathcal{E}_{пр\beta} + \mathcal{E}_{д\beta} + \mathcal{E}_{отр\beta} \quad (1)$$

где \mathcal{E}_β - приход суммарной радиации на наклонную с углом β площадку; K_Σ - отношение среднемесячных дневных приходов суммарной радиации на наклонную и горизонтальные поверхности, вычисляется по формуле:

$$K_\Sigma = \left[\left(1 - \frac{\mathcal{E}_д^\Gamma}{\mathcal{E}_\Gamma} \right) \cdot K_{пр} + \frac{\mathcal{E}_д^\Gamma}{\mathcal{E}_\Gamma} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + \left(\rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2)$$

где ρ - отражательная способность Земли (альбедо), по данным NASA изменяется от 0,11 до 0,33 в зависимости от продолжительности снежного покрова.

В (2) отношение $\frac{\mathcal{E}_д^\Gamma}{\mathcal{E}_\Gamma} = K_д$ может быть найдено по выражению:

$$K_д = \frac{\mathcal{E}_{\Sigma j}^\Gamma}{\mathcal{E}_{0j}^\Gamma} = 1,39 - 4,03K_{0j} + 5,53K_{0j}^2 - 3,11K_{0j}^3 \quad (3)$$

где K_{0j} - коэффициенты прозрачности атмосферы, определяется по формуле:

$$K_{0j} = \frac{\mathcal{E}_{\Sigma j}^\Gamma}{\mathcal{E}_{0j}^\Gamma} \quad (4)$$

Теперь по полученным значениям $K_д$ и $\mathcal{E}_{\Sigma j}^\Gamma$ определяются искомые значения:

$$\mathcal{E}_{дj}^\Gamma = K_д \cdot \mathcal{E}_{\Sigma j}^\Gamma \quad (5)$$

Значения $K_{пр}$, равное отношению среднемесячных приходов прямой СР на наклонную и горизонтальные площадки определяются по формуле Клейка

$$K_{пр} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + (\pi/180) \cdot \omega_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + (\pi/180) \cdot \omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta} \quad (6)$$

где ω_s (град) - часовой угол захода Солнца на наклонной площадке и определяется по выражению:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$$\omega_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \omega_s \\ \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta) \end{array} \right. \quad (7)$$

где ω_s (град) - часовой угол захода Солнца на горизонтальной площадке, определяется выражением:

$$\omega_s = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (8)$$

Расчет оптимального угла установки солнечных панелей был произведен для всех широт территории республики Таджикистана. В качестве объекта исследования был выбран Мургабский район ГБАО, так как имеет наилучшие показатели применения СФЭУ.

Результаты расчета оптимального угла установки для территории республики показаны на рис.1, а для широты $\varphi=38^\circ$ [8] приведены на рис. 2.

Для условий Мургабского района с северной широтой $\varphi=38^\circ$ оптимальным углом установки солнечных модулей в течение года оказался угол равным $25,9^\circ$ [8].

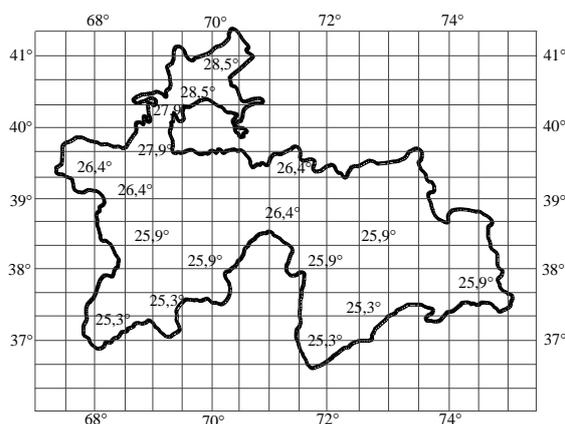


Рис. 1. Оптимальные углы установки солнечных установок в течение года для всей территории республики

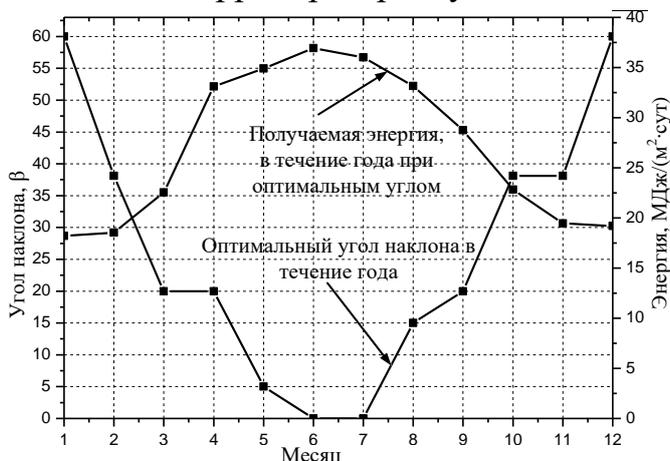


Рис. 2. Оптимальный угол установки солнечной панели для каждого месяца года и приходящая при оптимальном угле энергия в Мургабском районе.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Обеспечить их оптимальное положение относительно Солнце помогают специальные конструкции – солнечные трекеры. Чем больше степеней свободы имеет поворотное устройство, и чем выше уровень его автоматизации, тем производительнее окажется СЭС.

Системы слежения за Солнцем, в зависимости от технологических возможностей механизма, обеспечивает ориентацию рабочих поверхностей на солнце предельно близко к 90° (рис. 3). В недорогих моделях периодическое изменение угла наклона производится вручную – ручное управление. Устройства автоматического управления же изменяют ориентацию автоматически, в режиме реального времени [6].

Конструктивно, системы слежения бывают двух основных типов: Одноосные и двухосные системы слежения за Солнцем.

Одноосные системы производят слежение по вертикальной, горизонтальной, наклонной и полярной траектории. Отсутствие второй оси делает эту категорию менее дорогостоящей.

Двухосные солнечные системы производят слежению по системам Tip-Tilt Dual Axis Tracker (TTDAT) и Azimuth-Altitude Dual Axis Tracker (AADAT), которые максимально осуществляют точную ориентацию на солнце. Это повышает удельную производительность электростанций на 25-40%, и для систем большой мощности полностью оправдывает дополнительные расходы [6].

Кроме того, существуют три варианты управления механизмов позиционирования: ручное, автоматическое и полуавтоматическое.

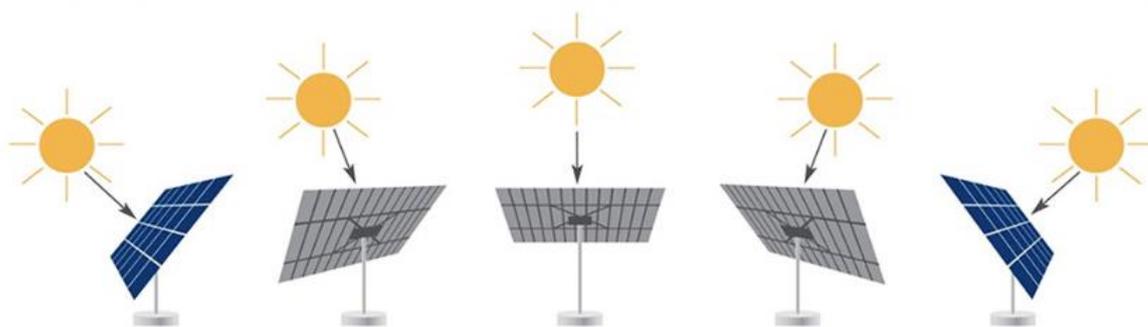


Рис. 3. Схематическая демонстрация работы солнечного трекера в течении характерного дня

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Технологичность и уровень автоматизации систем слежения выбирается в зависимости от суммарной мощности солнечных панелей. Ввиду высокой стоимости оборудования использование подобных систем в маломощных системах экономически нецелесообразно [6].

Для наиболее крупных фотоэлектрических станций как правило предусматривают встроенных метеостанций. Это способствует гарантированного автоматического разворота модулей значительного размера в безопасное положение [6].

Ввиду широкого диапазона спектра требований к этим дорогостоящим установкам, их ассортимент достаточно велик. Уровень технической оснащенности и автоматизации систем слежения за Солнцем как правило принимается в соответствии с конкретными целями, с учетом финансовых затрат. Экономическая целесообразность их приобретения рассчитывается просто – как соотношение средств на приобретение к росту производительности станции, умноженному на стоимость киловатта [6]. Если затраты оказываются меньше потенциальной прибыли, приобретение имеет смысл.

Вывод

Для повышения эффективности использования фотоэлектрических систем производство электроэнергии в стране для вновь проектируемых фотоэлектрических станций малой и крупной мощности необходимо на основании предварительного технико-экономического обоснования предусмотреть установку ручного и автоматического слежения за солнцем. При этом для каждого конкретного случая необходимо обосновать применения или одноосного, или двухосного слежения за положением Солнце. Ссылаясь на опыт передовых стран по использованию солнечной энергии, можно сделать вывод, что применение трекерного оборудования на значительно повышает производительность фотоэлектрических элементов.

Литература

1. Сулейман С. Ш. О зависимости солнечного излучения от географических факторов местности / Гелиотехника. 1985 - №5, - с.68-71.
2. Ахмедов Х. М., Каримов Х. С., Кабутов К. Возобновляемые источники энергии в Таджикистане: состояние и перспективы развития. /Физико-Технический институт им. С. У. Умарова Академии наук республики Таджикистан. – Доклад. – Душанбе: - 2010г. – 30с.
3. Исмоилов Ф.О. Комплексное использование возобновляемых источников энергии для электроснабжения автономных потребителей

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Республики Таджикистан: дис.канд.техн.наук: спец. 05.14.02 / Исмоилов Фирдавс Олимшоевич. — М., 2012. — 188 с.

4. Кабутов. К. Таджикистан: энергетика и возобновляемые источники энергии. (<http://www.rcrc.tj>) – 6с.

5. Аль Гбури Заидун Халаф Махмуд, Мансор Мухаммед Ф. Мансор /Исследование и разработка двухосевой системы слежения за Солнцем с датчиками с помощью Arduino. Казанский государственный энергетический университет/ Информационные технологии «Молодой учёный» . № 11 (301) . Март 2020 г.

6. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, Кузнецова, Н. К. Малинин; под ред. В. И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

7. <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/solnechnye-trekery>.

8. Исмоилов Ф.О., Гулмуродзода С.Г., Саидзода Х.С., Чамолзода Б.С. /Баҳодиҳии истифодабарии энергияи офтоб барои электротабминкунии исеъмолкунандағони автономӣ тавассути татбиқи комплексҳои энергетикӣ/ Паёми политехникӣ. Баҳши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ. Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. – Душанбе. – 2024. №1 (65). – С. 20-25, ISSN 2520-2227

Сведения об авторе

Исмоилов Фирдавс Олимшоевич - кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Мингазетдинов И.Х., Минвалиев И.А.

Казанский национальный исследовательский технический университет им.

А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), г. Казань, Российская Федерация

E-mail: MinvalievResearch@gmail.com

Аннотация. *В статье рассматриваются экономические и экологические преимущества рассматриваемого устройства по сравнению с тепловыми электростанциями (ТЭС). Также предлагаются оптимальные места для размещения этих устройств.*

Ключевые слова: *гидротурбина, парусный катамаран, ТЭС, ветрогенератор, шарниры и ограничители.*

INVESTIGATION OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF AN AERO-HYDRODYNAMIC POWER PLANT

Abstract. *The article considers the economic and environmental advantages of the device in question in comparison with thermal power plants (TPPs). Optimal locations for these devices are also offered.*

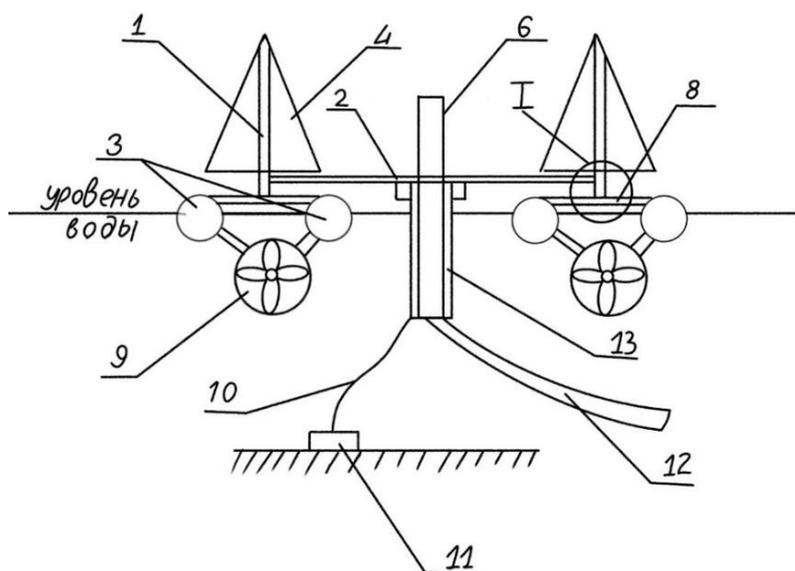
Keywords: *hydro turbine, sailing catamaran, thermal power plant, wind turbine, hinges and limiters.*

Актуальность исследования. В наше время без электроэнергии никуда, она используется во всех сферах нашей жизни. Но с развитием технологий и увеличением населения Земли, электроэнергии требуется всё больше. Сейчас около 60% всей электроэнергии в мире производится путём сжигания ресурсов Земли. Главными негативными последствиями такой добычи электроэнергии являются: загрязнение атмосферы Земли и выделение парниковых газов, что ведёт к глобальному потеплению; истощаемость ресурсов Земли. По оценке экспертов, такие ресурсы, как уголь, нефть и газ, могут закончиться в ближайшую сотню лет. Поэтому в данном исследовании рассматривается альтернативное устройство, которое способно вырабатывать экологически чистую и возобновляемую энергию.

Описание устройства. Устройство, которое нами рассматривается [1], состоит из парусных катамаранов, имеющих: мачту 1, поплавок 3, паруса 4, корпус 8, соединённых штангами 2 с центральным валом 6, вокруг которого под действием ветра они вращаются. У каждого катамарана имеется гидротурбина 9, которая прикреплена к катамарану снизу, находясь под водой. Центральный

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

вал 6 имеет ветрогенератор и при вращении катамаранов он способен вырабатывать энергию. Все катамараны, вне зависимости от направления ветра, вращаются в одну сторону. Это достигается с помощью шарниров и ограничителей 18 (узел I), установленных на катамаранах и соединенных с парусами 4 таким образом, что при встречном ветре паруса 4 сгибаются, а при попутном - поднимаются и двигаются под напором ветра. Также устройство имеет трос 10, якорь 11, кабель 12, кожух 13. Таким образом, устройство может преобразовывать сразу два вида энергии - ветра и воды - в электричество. Устройство имеет возможность устанавливать неограниченное количество катамаранов и гидротурбин, поэтому в данном исследовании для расчётов берётся вариант устройства с 4-мя катамаранами и гидротурбинами.



узел I

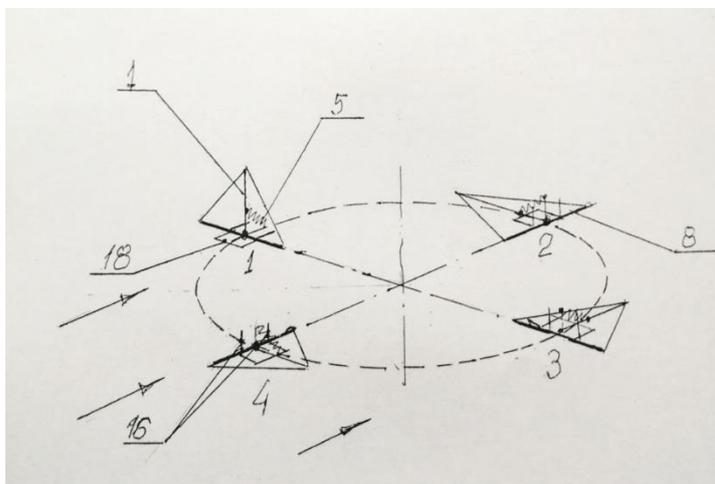
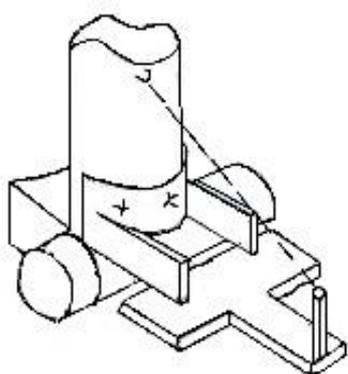


Рисунок 1 – Аэро-гидродинамическая энергоустановка

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Расчёт мощности устройства. Для своих расчётов я использовал учебное пособие А. да Роза «Возобновляемые источники энергии» [2]. Устройство работает только при наличии ветра, поэтому нужно определить скорость устройства в зависимости от скорости ветра. Для этого приравнивается сила сопротивления воды и сила ветра.

Сила сопротивления воды:

$$F_R = k \times \rho_{water} \times A_{turbines} \times V_1^2$$

Сила ветра:

$$F_w = 0.5 \times \rho_{air} \times A_{sails} \times V_{wind}^2$$

- k - коэффициент сопротивления;
- V_1^2 - скорость устройства (м/с);
- ρ_{water} – плотность воды (кг/м³);
- ρ_{air} – плотность воздуха (кг/м³);
- $A_{turbines}$ - ометаемая площадь турбины (м²);
- A_{sails} - ометаемая площадь парусов (м²);
- V_{wind}^2 - скорость ветра (м/с);

Приравнивание:

$$F_R = F_w$$

$$k \times \rho_{water} \times A_{turbines} \times V_1^2 = 0.5 \times \rho_{air} \times A_{sails} \times V_{wind}^2$$

Используя характеристики парусного катамарана “Альбатрос” с сайта Yachtinform.ru [3] и приняв ометаемую площадь паруса равной 8 м², размеры гидротурбины - 0,5 м², скорость ветра - 16 м/с и коэффициент сопротивления - 0,1, по формулам была найдена скорость движения устройства $\approx 3,54$ м/с. Зная скорость устройства, можно найти его мощность по следующим формулам из учебного пособия [2]:

Для ветрогенератора:

$$P_1 = 0.593 \times 0.5 \times \rho_{air} \times A_{sails} \times V^3 \times \eta$$

- V^3 - скорость движения устройства на воде (м/с);
- η – КПД ветрогенератора;

Для гидротурбины:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$$P_2 = 0.5 \times \rho_{water} \times A_{turbines} \times V^3 \times g \times \eta$$

– g – ускорение свободного падения;

– η – КПД гидрогенератора;

Приняв КПД гидрогенератора равным 90% и КПД ветрогенератора равным 60%, и рассчитав их мощности, мы получили общую мощность устройства $\approx 391,4$ кВт/ч.

Стоимость и сравнение соотношения цены и вырабатываемой устройством электроэнергией с ТЭС. Ориентировочная стоимость всей установки, включающей четыре катамарана, четыре гидротурбины и другие элементы, составит около 600 тысяч рублей (примерно 5700 евро). Для сравнения, стоимость теплоэлектростанции (ТЭС), способной вырабатывать 400 МВт/ч электроэнергии, оценивается примерно в 220 миллионов евро [4].

Если построить такое же количество рассматриваемых установок, как и ТЭС, по цене, сопоставимой с ТЭС, то они смогут вырабатывать почти в 35 раз больше энергии, а именно $\approx 13\,918$ МВт/ч. При этом электроэнергия, производимая этими устройствами, будет экологически чистой и возобновляемой, в отличие от ТЭС, которая для получения электроэнергии использует исчерпаемые ресурсы Земли и загрязняет окружающую среду.

Таким образом, можно сказать, что затраты на строительство одной ТЭС могут быть компенсированы получением электроэнергии, эквивалентной 35 ТЭС, если вместо строительства ТЭС направить средства на наши установки.

Размещение установок. Используя метеорологический сайт Ventusky.com[5], я нашёл наиболее эффективное место для установки устройств на территории РФ - это побережье полуострова Камчатка, так как это самый ветреный регион России. Ветер на этой территории часто сохраняет скорость более 16 м/с на протяжении недель, что делает эту территорию эффективной для добычи электроэнергии рассматриваемым устройством. Для Таджикистана - Таджикское море (до 2016 года — Кайраккумское водохранилище) — водохранилище в Согдийской области Таджикистана.

Выводы

Проведенные исследования демонстрируют преимущества перехода на экологически чистые и возобновляемые источники энергии. Данная установка может стать выгодной альтернативой традиционным методам добычи, которые наносят вред окружающей среде и приводят к истощению природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заявка на патент №2023118891 от 1807-2023 Аэрогидродинамическая энергоустановка / Мингазетдинов И.Х., Минвалиев И.А.
2. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие/ А. да Роза; пер. с англ. под редакцией С.П. Малышенко, О.С. Попеля. - Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект»; М.: Издательский дом МЭИ; 2010-704 с.: ил.
3. Yachtinform.ru. URL: <https://yachtinform.ru/eto-interesno/parusnyj-katamaran-albatros.html>
4. Proenergetiku.ru. URL: <https://proenergetiku.ru/voprosy-i-otvety/proizvoditelnoe-zdanie-krupnoj-teplovoj-elektrostatsii-vremya-i-stoimost-stroitelstva>
5. Ventusky.com. URL: <https://www.ventusky.com/?p=55;109;1&l=wind-10m>

Сведения об авторах

1. Мингазетдинов Идгай Хасанович – к.т.н. доцент каф. общей химии и экологии КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Тел. (+7)903-307-92-31.
2. Минвалиев Ислам Айдарович – ученик 10 класса МБОУ Лицей №145, г. Казань, Тел. (+7)939-372-06-63, E-mail: MinvalievResearch@gmail.com , islamminvaliev7@gmail.com.

PERSPECTIVE OF USE RENEWABLE ENERGY SOURCES IN
AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS ON THE TERRITORY OF
THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Saidzoda Kh. S.

Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi

E-mail: khushdil.sangov@mail.ru

Abstract – *The article develops an algorithm for choosing the optimal configuration of the circuit and equipment of an autonomous electrical complex based on windmill according to reliability criteria and technical and economic indicators. Based on the example of rural consumers located on the territory of the Republic of Tajikistan, the energy indicators of the complex are substantiated using meteorological observation databases, as well as real technical parameters of electrical equipment.*

Keywords – *renewable energy sources, windmill, autonomous electrical complex, feasibility study.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН

Аннотация – *В статье разработан алгоритм выбора оптимальной конфигурации схемы и оборудования автономного электротехнического комплекса на базе ветряной мельницы по критериям надежности и технико-экономическим показателям. На примере сельских потребителей, расположенных на территории Республики Таджикистан, обоснованы энергетические показатели комплекса с использованием баз данных метеорологических наблюдений, а также реальных технических параметров электротехнического оборудования.*

Ключевые слова – *возобновляемые источники энергии, ветряная мельница, автономный электротехнический комплекс, технико-экономическое обоснование.*

I. INTRODUCTION

In 2023, the Republic of Tajikistan (RT) celebrated the 32nd anniversary of its sovereign development. Over these years, the country has built and reconstructed 287 small and large hydroelectric power stations, 1 thermal power plant, 1.5 thousand kilometers of high-voltage power lines, 50 high-voltage step-down substations, and

in total, 75 percent of the country's energy system infrastructure was repaired. However, the problem of reliable and high-quality power supply to some territories, including mountainous regions, still remains acute in social, technical and economic aspects. Electrical supply to such places can be carried out either through a centralized power supply, or through the creation of autonomous electrical complexes based on renewable energy sources (RES), the most promising of which are the sun and wind [1]. This decision has a significant impact not only on the implementation of specific technical solutions, but also on the development of “green energy” in the country in accordance with current legislation (Law of the Republic of Tajikistan dated September 19, 2013 No. 1018 “On Energy Saving and Energy Efficiency” and Law of the Republic of Tajikistan dated January 12, 2010 "On the use of renewable energy sources."

The purpose of the presented work is to create an algorithm for selecting equipment for an autonomous electrical complex (EC) based on windmills (WM), which helps to justify, based on technical and economic criteria, decisions made at the design stage of the complex.

Let's consider the use of an algorithm for selecting equipment for an autonomous electronic control system using the EC in remote mountainous regions of the country, in particular those located in the Fayzabad region. For a more precise example, we will consider only the settlement of Kangeli with 389 households and analyze the climatic characteristics of the wind for the placement of an autonomous EC based on a WM.

II. ANALYSIS OF CLIMATIC TERRAIN AND ASSESSMENT OF CONSUMER CHARACTERISTICS

Fayzabad district is located in the Rasht Valley, 60 km east of Dushanbe at an altitude of 1111 m from sea level, coordinates 38°31'33.04" north latitude (N), 69°13'36.79" east longitude (E). In the north and west it borders with the Vakhdat district, in the east with the Rogun region, in the south with the Nurek district of Khatlon region. The area of the district is 874.11 km². The population as of January 1, 2022 is 111,700. The regional center is the urban-type settlement of Fayzabad, located 50 km east of the city of Dushanbe.

The settlement of Kangeli for 389 households was chosen as the object for supplying electrical energy.

According to data from the electrical networks of the Fayzabad district of the branch of OJSC Distribution Electric Networks, existing power lines are characterized by high wear and tear (about 60%). Average monthly electricity consumption is approximately 56.353 kW·h.

III. ANALYSIS OF THE WIND POTENTIAL OF THE CONSUMER LOCATION

An important characteristic of any territory is the average wind speed for a certain period (month, year) and the frequency of various gradations of wind speed. Average wind speed \bar{V}_{wind} is defined as the arithmetic mean obtained from a number of wind speed V_i measurements taken at regular intervals over a period Δt of time T , the duration of which can vary from a few seconds to many years.

Then, the formula for determining the average wind speed for the period will look like this [1]:

$$\bar{V}_{wind} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i, \text{ m/s} \quad (1)$$

where n is total number of wind speed measurements; i - serial number of the measurement; V_i - corresponding value of wind speed, m/s.

Let's analyze the wind potential of the area of the Kangeli settlement. To evaluate the characteristics, data from the global meteorological system and the NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA POWER) database were used [4]. The average annual wind speed was: maximum 6.75 m/s; minimum 4.67 m/s. A diagram of average monthly wind speeds constructed from a series of speed observations and a series of three-hour wind speed observations is shown in Fig. 1.

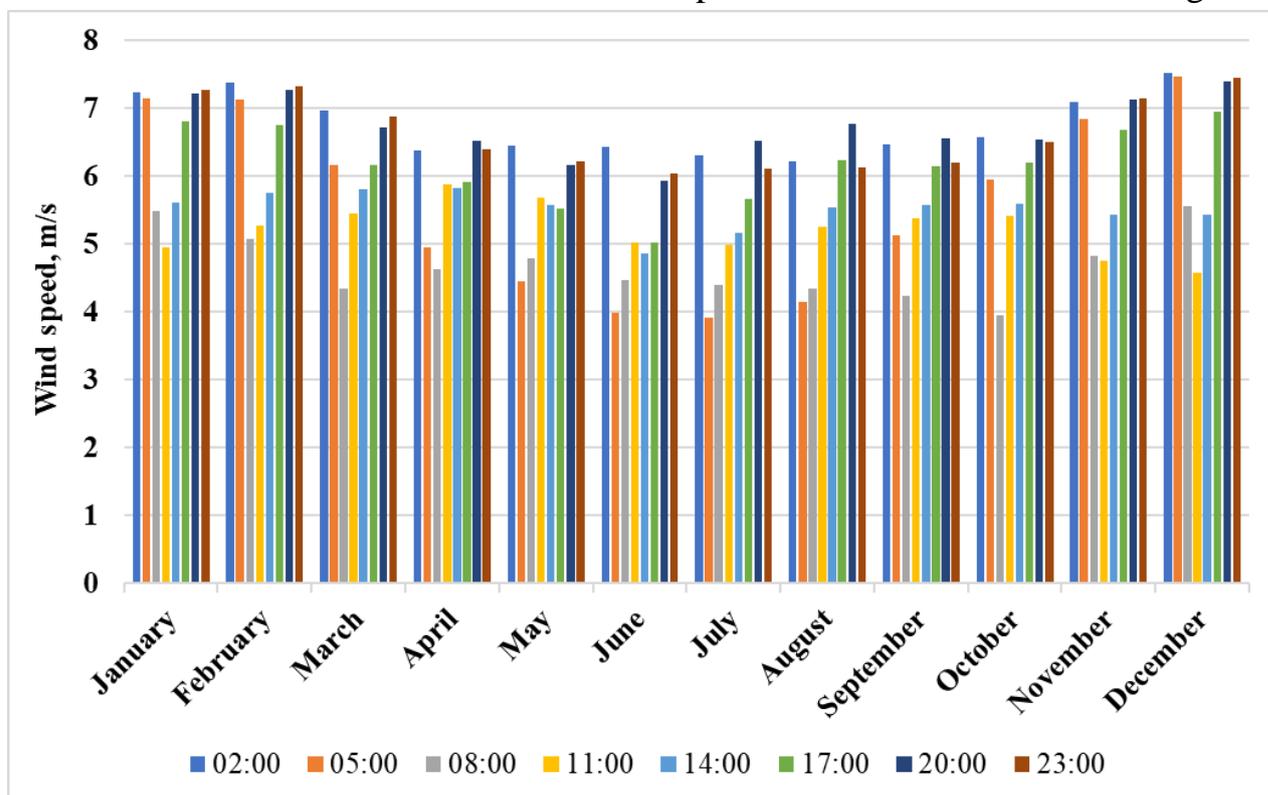


Fig. 1. Diagram of average monthly wind speeds for typical hours from January 1, 2022 to December 31, 2022, in m/s.

IV. SELECTION OF A CIRCUIT DIAGRAM FOR AN AUTONOMOUS ELECTRICAL COMPLEX BASED ON A WINDMILLS

The most common and optimal option for the power supply circuit of the selected facility is to connect an autonomous electrical power supply system through an auxiliary AC bus, as shown in Fig. 2 [6].

In the autonomous EC scheme, consisting of two wind turbines with a power of 150 kW each, one diesel generator set with a power of 150 kW and one block of 24 gel lead-acid storage battery (SB) with a power of each 200 A·h. The batteries are designed for 10-hour autonomous operation in the event of wind generator failure. An autonomous EC operates as follows: WM1 is a working windmill, WM2 is a permanent backup windmill (permanent reserve), which is switched on and off using an automatic switch.

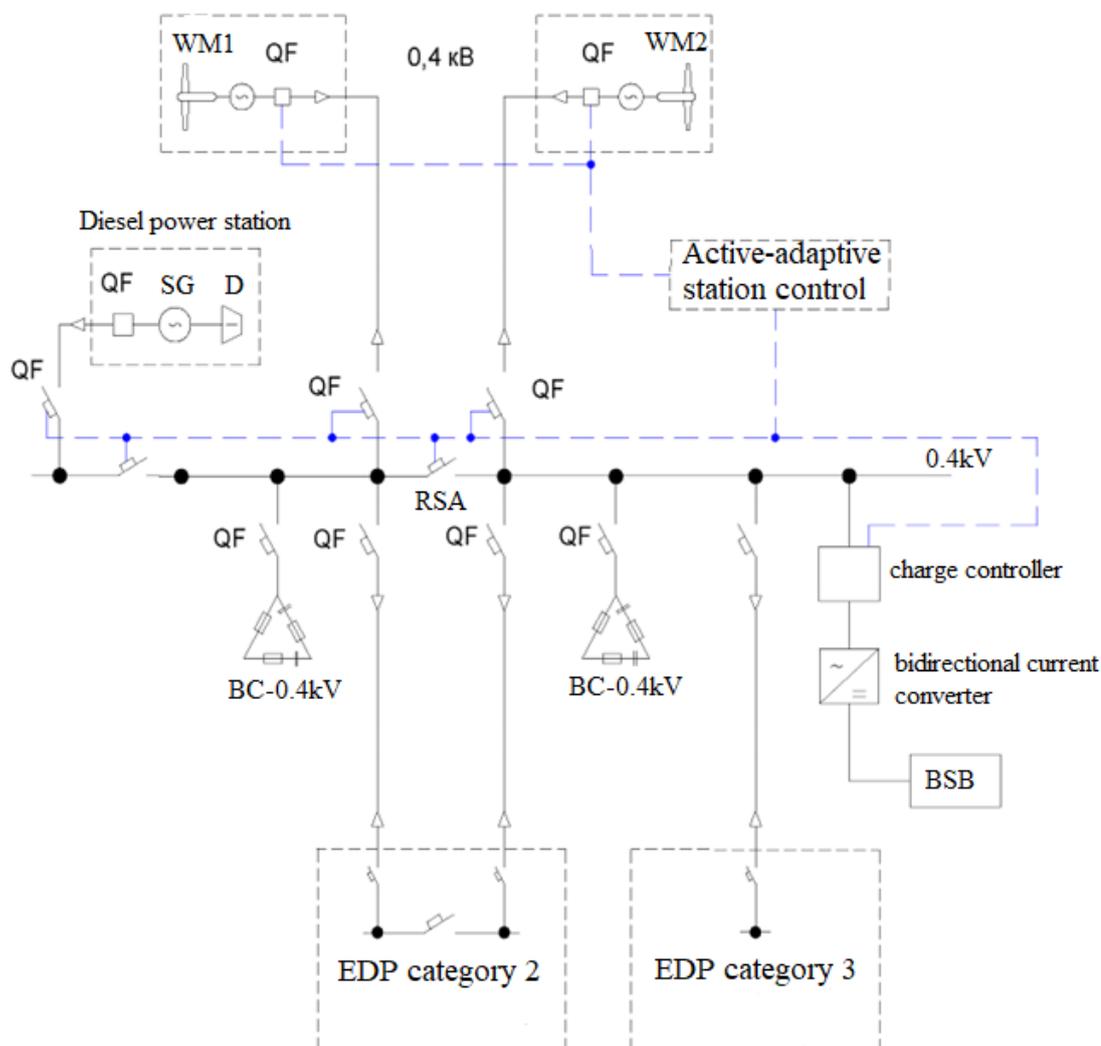


Fig. 2. Single-line diagram of the power supply of the facility from an autonomous EC based on a WM: RSA - reserve supply automatic transfer device;

EDP- electrical distribution panel; BC – block capacitor; BSB - block storage battery.

V. SELECTION OF MODEL AND DETERMINATION OF WINDMILL OUTPUT PARAMETERS

The WM generator electric power P_{WM} (kW) is calculated from the following formula [6]:

$$P_{WM} = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0.45 \cdot V_{wind}^3 \cdot \rho \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{conv} / 1000 \quad (2)$$

As a result of calculations according to (2), a Nordtank-150 wind turbine [7] with a rated power of 150 kW was chosen to evaluate the efficiency. In table 1 shows the results of calculating the electrical energy generated by a wind turbine with a power of 150 kW.

According to the data in table 1, the annual amount of electricity generated by the Nordtank-150 wind turbine is 377,994 kW·h, which is almost one time less than the annual electricity consumption of the village of Kangel. However, to provide consumers with the necessary amount of electricity, it would be more expedient to install two 150 kW wind turbines. Then their total annual electricity generation will be 755,988 kW·h, which exceeds the required electricity consumption by 0.10% and corresponds to a good installed capacity utilization factor (IUR) equal to 28.7%.

TABLE I. Dependence of electricity generation on the Nordtank-150 WM on wind speed (compiled based on [7])

Wind speed range	Average wind speed, m/s	Probability of wind speed, %	Number of hours per year, h	WM power, kW	Electricity production, kW·h
0 - 2 м/с	1,0	9.5	832.2	0.0	0
3 - 6 м/с	4,5	52.2	4577.1	10.0	45771
7 - 10 м/с	8,5	31.0	2715.6	85.0	230826
11 - 14 м/с	12,5	7.0	613.2	160.0	98112
15 - 18 м/с	16,5	0.25	21.9	150.0	3285
19 - 25 м/с	22,0	0.0	0.0	140.0	0
Total		100.0			377 994.0

VI. ASSESSING THE TECHNICAL-ECONOMIC FEASIBILITY OF IMPLEMENTING THE WINDMILL

The following indicators are used in the study: discounted payback period (DPP), net present value (NPV), discounted profitability index (DPI), internal rate of return (IRR), and discounted total cost of ownership (DTCO) [1, 8].

We will analyze the economic efficiency of using an autonomous EC based on a WM in the area of the village of Kangeli. When making calculations, the following initial data are entered:

- data on the cost of wind turbines and their components were obtained from official websites, catalogs of manufacturing companies and from sellers in Russian rubles;
- exchange rates were taken into account as of 02/20/2023 according to the National Bank of the Republic of Tajikistan: 1 ₸= 0.1425 Tajik somoni;
- based on the Decree of the Government of the Republic of Tajikistan dated August 31, 2022 No. 449, electricity tariffs for users, including the population, including VAT, are set at 0.2651 somoni / kW·h.

In table Table 2 shows data on the cost of a set of equipment and associated costs for commissioning the Nordtank-150 wind turbine, as well as some of its technical characteristics.

In table Table 3 shows the values of indicators for assessing the efficiency of using WM for various values of the electricity tariff (provided that the tariff remains unchanged throughout the entire calculation period). According to the data in Fig. 3 and table. 3, we can note the fact that with an increase in the electricity tariff, profit formation proceeds faster, the NPV value increases, and the DPP decreases.

TABLE II. Data on the cost of a set of equipment for an autonomous EC [7, 9, 10]

Component of an autonomous EC	Price per piece, thousand rubles.	Quantity, pcs.	Cost, thousand rubles.
WM Nordtank-150	2702.47	2	5404.94
Controller ENERGYWIND 10 kW	20.0	30	600.0
Lead-acid batteries Ritar Power RA-12–200 (12 V, 200 Ah)	15.4	24	369.6
Inverter MAP-Hybrid 20 kW	303.7	14	4251.8
Mast kit (41 m)	119.4	2	238.8
Cost of autonomous EC			10865.14

Capital costs of an autonomous EC	14124.68
-----------------------------------	----------

During the technical and economic calculation, due to the lack of an average tariff value, consumers of the object under consideration were classified into groups consisting of the population, educational institutions, industrial and non-industrial users. With the tariff value for the first group (0.2651 somoni / kW·h) it is economically ineffective (NPV = 4209.17 thousand somoni, DPP = 20.17 years), but is quite relevant from a social point of view due to restrictions, limits and shutdowns electricity. For the second group (0.4551 somoni / kWh), it is economically feasible (NPV = 13834.03 thousand somoni, DPP = 8.26 years). Also, for the third group (0.2651 somoni / kW·h), it is economically feasible and effective (NPV = 21303.21 thousand somoni, DPP = 5.62 years).

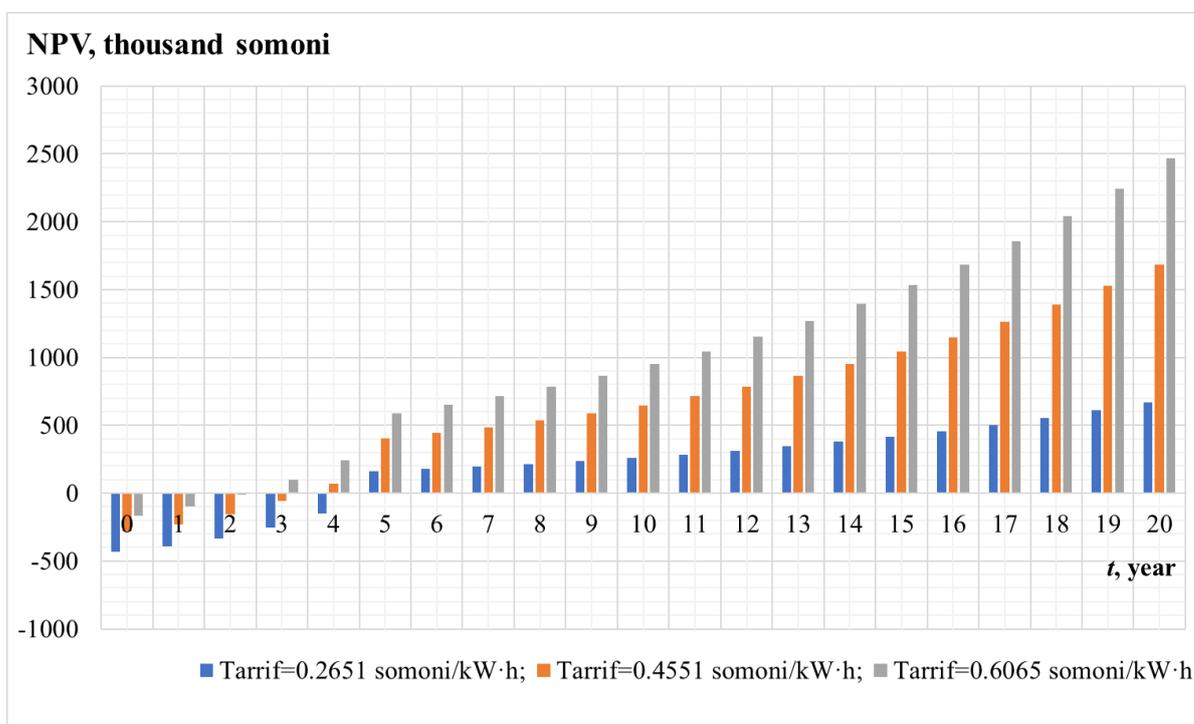


Fig. 3. Net present value during the service life of an autonomous EC for different electricity tariff values

TABLE III. Indicators for assessing the effectiveness of use autonomous EC based on WM

Tariff, somoni /kW·h	NPV, thousand somoni	DPP, year
0.2651	4209.17	20,17
0.4551	13834.03	8,26
0.6065	21303.21	5,62

VII. CONCLUSIONS

Based on this assessment, the potential possibilities for using wind energy resources in different settlements of the region were identified, among which the most promising one was identified - the settlement of Kangeli. The energy characteristics generated by the selected wind turbines are calculated, including for different wind speeds, based on wind parameters such as wind flow power and average speed. An algorithm has been developed for selecting the optimal configuration of an autonomous electrical complex based on wind power plants according to the criteria of technical and economic indicators, based on calculating net discounted income and determining the discounted payback period.

REFERENCES

1. R.V. Andreev. Wind power plant for an autonomous low-power electrical complex // Scientific and Technical Journal of the St. Petersburg State Polytechnic University. 4(207) ' 2014. pp. 49-60.
2. Denisov R.S. On the issue of substantiating the composition and parameters of wind-diesel power plant equipment // Alternative energy and ecology. 2014. No. 11 (151). pp. 72-77.
3. P.A. Khlyupin., G.N. Ispulaeva. Development of an algorithm for selecting an autonomous power supply system based on wind generators // Power and energy equipment. Autonomous systems. Volume 2, Issue 1, 2019. P.8-16.
4. NASA [Electronic resource] // URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (access date: 01/20/2023).
5. Vaskov A.G., Deryugina G.V., Malinin N.K. Wind energy: textbook. M.: MPEI Publishing House, 2016. 384 p.
6. Elbazurov A.R. Adaptation of methods for probabilistic assessment of reliability parameters of optimal modes of using renewable energy sources for the power supply system of a livestock complex in the Chechen Republic: dissertation. Ph.D. tech. Sciences: 2.4.2 / Elbazurov Abdul Ruslanovich. – Moscow, 2022. – 159 p.
7. Wind generator Nordtank-150 [Electronic resource] // StroyVitrina. – Access mode: <http://www.stroyvitrina.ru/items /vetrogenerator-nordtank-150-210921> (date of access: 01/20/2023).
8. Sangov Kh.S., Tsyruk S.A., Mikheev D.V., Sharafeddin K.F. Economic efficiency of using a wind power plant for power supply to remote rural consumers of the Republic of Tajikistan // In the collection: Fedorov readings - 2019. Under the general editorship of B.I. Kudrina, Yu.V. Matyunina. 2019. pp. 330-344.

9. Charge controllers for wind generators EnergyWind [Electronic resource]. – Access mode: <https://energywind.ru/katalog/kontrollery-zarjada-dlja-vetrogeneratora> (access date: 01/20/2023).

10. Ritar - battery manufacturer. URL: <http://www.ritarpower.com/>. (Date of access: 01/25/2023).

About the author

Saidzoda Khushdil Said - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Supply, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Саидзода Х.С.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: khushdil.sangov@mail.ru

***Аннотация.** В статье разработана имитационное компьютерное моделирование ветроэнергетической установки в среде MATLAB/Simulink. Также компьютерная имитационная модель ветроэнергетической установки на основе асинхронный генератор двойного питания представлена преобразователем частоты и системой управления им, обеспечивающей работу генерирующей системы по сети в соответствии с заданным алгоритмом управления.*

***Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, асинхронный генератор двойного питания, компьютерное моделирование.*

DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODEL OF A WINDMILL FOR
SIMULATION

***Abstract.** The article develops a simulation computer simulation of a windmill in the MATLAB/Simulink environment. The developed simulation computer model of a windmill based on a doubly fed induction generator with a frequency converter and its control system is presented, which ensures the operation of the generation system in parallel with the network in accordance with a given control algorithm.*

***Keywords:** windmill, doubly fed induction generator, computer simulation.*

В ветро- и гидроэнергетике асинхронная машина с фазным ротором, работающая автономно или параллельно с электрической сетью, часто используется в качестве преобразователя механической энергии приводного вала в электрическую энергию. Ветряная турбина является одним из важнейших элементов систем преобразования энергии. На протяжении многих лет разрабатывались различные типы ветряных турбин [1]. Энергия ветра преобразуется в электрическую с помощью ветряных турбин с фиксированной или переменной частотой вращения вала. В сетевой ветрогенераторе кинетическая энергия ветра преобразуется в электрическую с помощью асинхронного генератора двойного питания (АГДП) (англ. doubly fed induction generator), подключенного к сети. Для изучения проблематики обеспечения качества электроэнергии в такой системе с переменной скоростью вращения

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

вала ветрогенератора целесообразно использовать структурную схему АГДП, работающего параллельно с сетью [2].

Структурная схема исследуемой ветроэнергетической установки (ВЭУ) показана на рис. 1 [2].

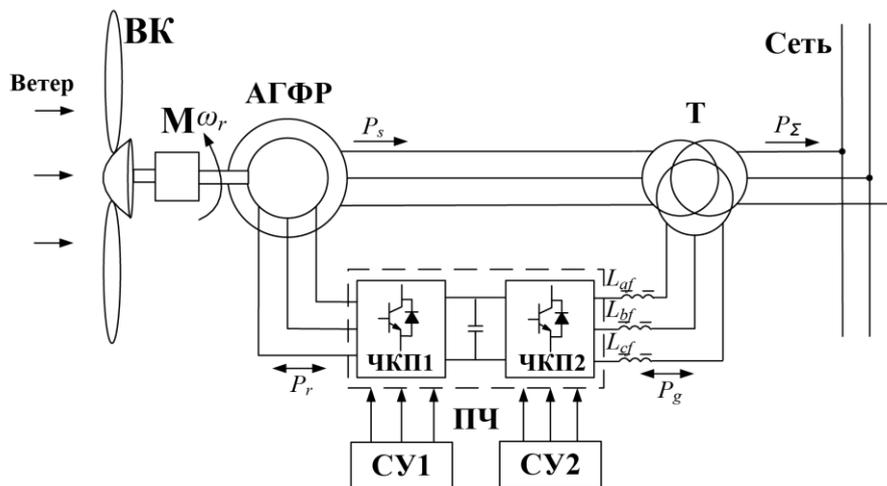


Рисунок 1 – Структурная схема ВЭУ на базе АГДП: ВК – ветроколесо; М – мультипликатор; АГФР – асинхронный генератор с фазным ротором; ЧКП – четырехквадрантный преобразователь; ПЧ – преобразователь частоты; Т – трансформатор; СУ – система управления.

Добиться повышения эффективности процесса разработки и проектирования систем управления сложными объектами можно за счет применения имитационного моделирования [3], что будет показано на примере разработки универсального контроллера. При этом модель системы управления должна поддерживать программирование на языке высокого уровня, чтобы обеспечить переносимость программы управления на целевую систему. В качестве среды разработки и исследования выбран пакет программ для математических расчетов *MATLAB/Simulink*, широко распространенный как в научной среде, так и в различных проектных организациях [4].

В работе приводится описание математических моделей элементов ВЭУ для исследования различных способов регулирования параметров режимов работы ВЭУ.

Целью имитационного моделирования вычислительного эксперимента над компьютерными моделями является исследование эффективности ВЭУ при использовании различных стратегий и алгоритмов управления [5].

На рис. 2 в структурном виде представлена имитационное компьютерное моделирование (ИКМ) ВЭУ на базе АГДП в среде программного обеспечения *MATLAB/Simulink*, включающая в себя: АМФР (мощностью $P_{нс} = 150 \text{ кВт}$, с номинальной частотой вращения $n_n \approx 1500 \text{ об/мин}$, с заданными, известными

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

параметрами); ЧКП1 и ЧКП2 на базе IGBT-транзисторов и их СУ1 и СУ2; L фильтр; сеть, датчики токов (ДТ) и напряжений (ДН).

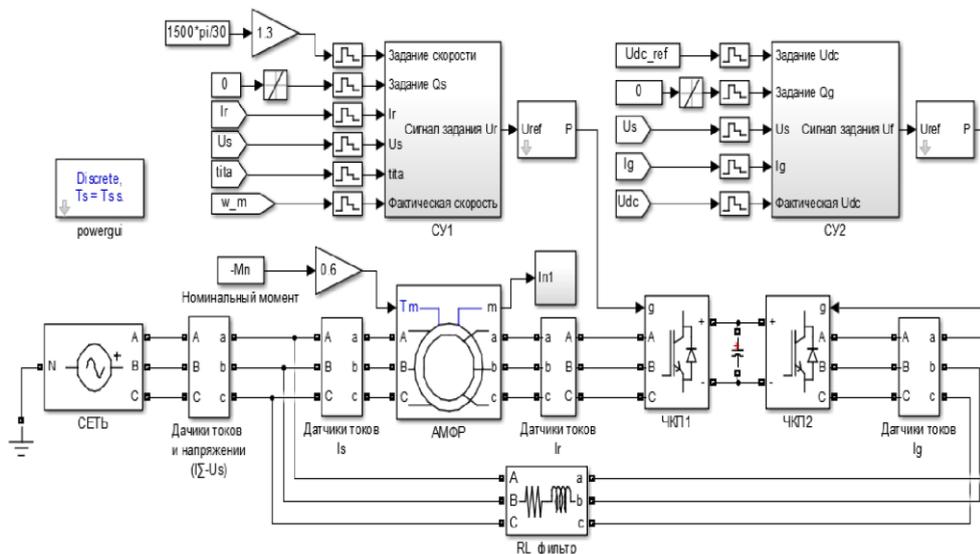


Рисунок 2 – Структурный вид имитационное компьютерное моделирование ВЭУ на базе АГДП в среде программного обеспечения MATLAB/Simulink

Результаты ИКМ представлены на рис. 3, где приведены временные диаграммы и спектрограммы токов и напряжений в системе при её параллельной работе с сетью 400В/50Гц при скольжении $s = \pm 0,3$ и $s = 0$ для крутящего момента $M_{эм} = -612 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

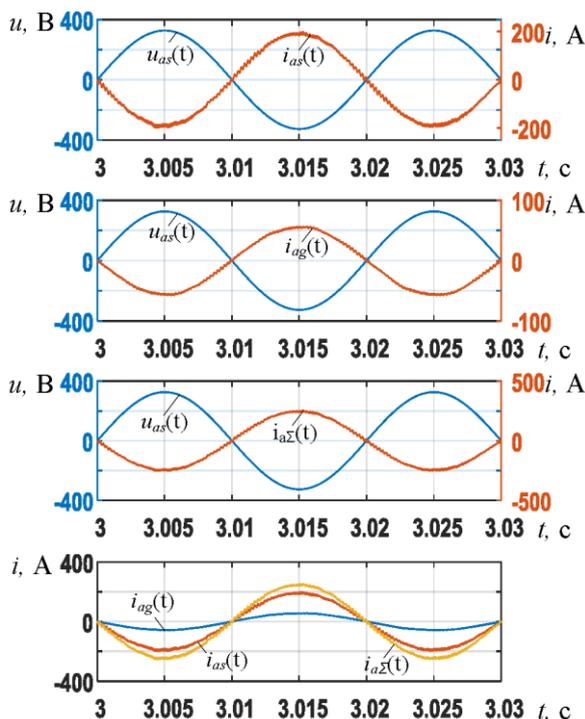


Рисунок 3 – Временные диаграммы процессов и спектрограммы токов и напряжений в ВЭУ на базе АГДП

Выводы

Анализируя полученные на основе ИКМ результаты, можно убедиться в том, что они не только качественно, но и количественно подтверждают (с высокой точностью) ранее теоретически полученные результаты. Разработанная ИКМ ВЭУ на базе АГДП может быть использована для исследования АГДП в широком диапазоне мощностей. Данный результат можно классифицировать как решение задачи по созданию информационно-методического обеспечения для системного проектирования такого класса электротехнического комплекса.

Литература

1. Безруких П.П. Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие) / М.: изд. «Энергия», 2010. – 320 с.
2. Нгуен Хыу Нам, Мызык Г.С. О структурно-алгоритмической организации силовой машинно-электронной части ветроэлектрических установок, работающих параллельно с сетью / Новое в Российской Электроэнергетике, Ежемесячный научно-технический электронный журнал, № 10, 2018, стр. 6-22.
3. Сангов, Х. С. Моделирование системы автоматического регулирования напряжения трехфазного самовозбуждающегося асинхронного генератора ветроэнергетической установки / Х. С. Сангов, Д. В. Михеев // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность: Материалы IV Международного конгресса REENCON-XXI, Сколково, 05–06 июня 2018 года / Под редакцией Д.О. Дуникова, О.С. Попеля. – Сколково: Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, 2018. – С. 168-177.
4. Система автоматического регулирования напряжения асинхронным генератором для возобновляемых источников энергии / Х. С. Сангов, Ф. О. Исмоилов, С. Р. Чоршанбиев, Ф. Д. Махмадджонов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 4(48). – С. 48-56.
5. Tsyruk, S. A. Dynamic analysis of three-phase self-excited induction generator for wind energy / S. A. Tsyruk, K. S. Sangov // Фёдоровские чтения - 2017: XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 15–17 ноября 2017 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. – Р. 272-277.

Сведения об авторе:

Саидзода Хушдил Саид – к.т.н., доцент кафедры электроснабжение, ТТУ имени академика М.С. Осими. E-mail: khushdil.sangov@mail.ru

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Султони С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Саидзода Х.С.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: khushdil.sangov@mail.ru

Аннотация. В статье проведен анализ терминологии и актуальности внедрения распределённого производства электроэнергии в системах электроснабжения потребителей. Рассмотрена структура распределённого производства электроэнергии. Выявлены эффекты внедрения локальных источников питания в системах электроснабжения потребителей с распределенной генерацией.

Ключевые слова: распределённая генерация, локальный источник питания, система электроснабжения.

ANALYSIS OF THE RELEVANCE OF THE INTRODUCTION OF
LOCAL POWER SOURCES IN POWER SUPPLY SYSTEMS FOR
CONSUMERS WITH DISTRIBUTED GENERATION

Abstract. The article analyzes the terminology and relevance of the introduction of distributed power generation in consumer power supply systems. The structure of distributed power generation is considered. The effects of the introduction of local power sources in power supply systems for consumers with distributed generation are revealed.

Keywords: distributed generation, local power supply, power supply system.

Проблемы развития современного производства связаны со спросом на электроэнергию, который опережает прирост генерирующих мощностей. В связи с этим как одно из важных средств решения энергетического обеспечения в мировой практике рассматривают распределённую генерацию (РГ) [1, 2, 3]. Под распределённой генерацией понимается совокупность модульных генерирующих объектов малой мощности, производящих электроэнергию в непосредственной близости к месту потребления.

Подключение систем РГ к основной электрической сети позволяет создавать необходимые решения при работе в двух режимах [1, 2, 3]:

1) параллельно с основной электрической сетью: в нормальном режиме

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

РГ выдает электроэнергию, показатели качества которой сопоставимы с распределительной сетью; в послеаварийном режиме при отключении от основной сети РГ переходит в автономный режим работы;

2) автономно: в тех местах, где отсутствует распределительная сеть РГ обеспечивает потребность в электроэнергии, показатели качества которой соответствуют требованиям нагрузки конкретных электроустановок.

Иногда термин «малая энергетика» (англ. on-site power generation) используется как синоним распределённой генерации [4].

Термин *распределённых систем электроснабжения (РС)* (англ. distributed utility) [7] основывается на сетях и архитектуре систем будущего, основанных на распределённой генерации, распределённых ресурсах и распределённой ёмкости.

В последнее время для труднодоступных регионов Республики Таджикистан (РТ) остро стоит вопрос энергетической безопасности, при которой потребитель имеет надёжный доступ к необходимой ему энергии [5].

Среди этих регионов можно выделить Файзабадский район и Мургабский район ГБАО РТ потенциально благоприятные для реализации проектов локальных источников питания (ЛИП) в системах электроснабжения потребителей с РГ ввиду выгодного географического расположения, возможности использования больших площадей, приемлемых естественно-климатических условий.

Таким образом, внедрение ЛИП в системах электроснабжения потребителей с РГ оказывают положительное влияние на развитие “Зелёной энергетики” в РТ согласно действующими законодательствами – Закон РТ от 19.09.2013 г. № 1018 «Об энергосбережении и энергоэффективности» [5] и Закон РТ от 12 января 2010 г. «Об использовании возобновляемых источников энергии» [6].

Структура распределённого производства электроэнергии

Для дальнейшего анализа необходимо выделить понятие энергоблока (ЭБ) распределённой генерации. *Под энергоблоком распределённой генерации понимается одиночная установка или совокупность генерирующих агрегатов распределённой генерации и технологических комплексов распределённых ресурсов вне зависимости от технологии производства энергии, объединённых территориально – границами объекта или сооружения, и электрически – общей точкой подключения к внешней распределительной сети (точкой общего сопряжения).* Актуальным термином, используемым в литературе, для ЭБ РГ как для источника, прежде

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

всего, электроэнергии, является собственным или *локальный источник питания*.

Режим работы ЭБ РГ, с точки зрения подключения к ЦЭС, может быть автономным и параллельным. Автономный режим является классическим в понимании области применения РГ как собственного источника питания. Тем не менее, параллельный режим обладает рядом преимуществ для потребителя, обуславливающих его применение, таких как повышение надёжности и бесперебойности электроснабжения, устойчивости СЭС. Вместе с этим, процесс подключения собственного источника на параллельную работу и организации межсистемной связи весьма осложнён.

Под точкой общего сопряжения (ТОС, англ.: point of common coupling [7]), с понимается точка присоединения локальной системы электроснабжения к распределительной электроэнергетической системе [7]. В локальных системах электроснабжения, к которым относятся системы внутреннего электроснабжения объектов, выделяется точка, в которой осуществляется непосредственное подключение энергоблоков РГ и РР.

На рис. 1 показана общая принципиальная схема структуры присоединения объектов и межсистемных соединений.

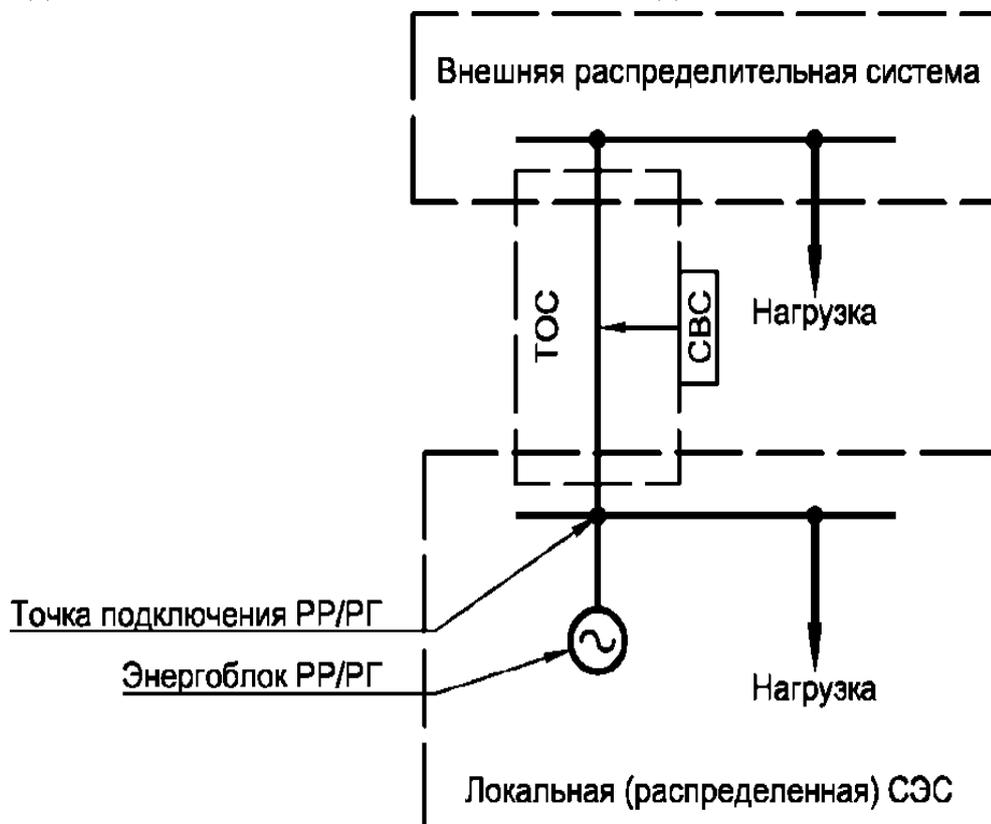


Рис. 1. Структура межсистемных соединений по [3]

В ТОС выделяется система внешних соединений (СВС),

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

представляющая собой совокупность межсистемных технических средств и функций, рассматриваемых как группу, используемых для присоединения энергоблока РГ к внешней распределительной сети [3].

Стандартизация распределённой генерации и распределённых ресурсов

В 2003г. вышел первый из серии стандартов IEEE 1547 (Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems – рус. «Стандарт для присоединения распределённых ресурсов к электроэнергетическим системам»), демонстрирующий открытый процесс развития стандартизации отрасли [7]. Он сфокусирован на техническом описании вопросов присоединения (эксплуатационных показателях, работе, безопасности) и испытаниях при присоединении, а также на терминологии. В частности, устанавливается понятие точки общего сопряжения (ТОС), в которой и устанавливаются требуемые показатели. Каждый из документов серии охватывает отдельные области, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Серия стандартов IEEE 1547

IEEE Std 1547 (2003 с погр. 2014 г.)	Стандарт для присоединения распределённых энергетических ресурсов к электроэнергетическим системам
IEEE Std P1547 (полная версия)	Проект стандарта для присоединения и взаимодействия распределённых энергетических ресурсов со связанными энергетическими системами
IEEE Std 1547.1 (2005)	Стандарт типовых процедур испытаний для присоединения оборудования распределённых энергетических ресурсов к электроэнергетическим системам
IEEE Std 1547.1a	Проект поправок №1
IEEE Std 1547.2 (2008)	Руководство по использованию Стандарт для присоединения распределённых энергетических ресурсов к электроэнергетическим системам IEEE 1547
IEEE Std 1547.3 (2008)	Руководство по обмену информацией мониторинга и контролю распределённых энергетических ресурсов и электроэнергетической системы
IEEE Std 1547.4 (2011)	Руководство по проектированию, функционированию и внедрению изолированных систем распределённых энергетических ресурсов в электроэнергетических системах
IEEE Std 1547.6 (2011)	Рекомендованные практики по присоединению распределённых ресурсов к вторичным распределительным сетям электроэнергетических систем

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

IEEE Std 1547.7 (2013)	Руководство по проведению исследований по влиянию присоединения распределенных ресурсов на распределение
IEEE Std P1547.8	Проект рекомендованных практик по разработке методик и процедур, обеспечивающих дополнительную поддержку стратегиям внедрения для расширенного использования IEEE Std 1547-2003

В таблице 2 включены зарубежные стандарты, сопряженные с IEEE 1547.

Таблица 2 Сопряженные зарубежные стандарты

IEC TS 62257 (серия стандартов)	Рекомендации для малых малых электростанций возобновляемых источников энергии и гибридных систем для сельской электрификации.
IEC PAS 62111:1999	Технические условия по использованию возобновляемых источников энергии для децентрализованного электроснабжения сельской местности
IEEE 2030 (2011)	Руководство по взаимодействию энергетических и информационных технологий Smart grid с электроэнергетическими системами, конечными установками и нагрузками
IEC 61850	Communication Networks and Systems for Power Utility Automation for Distributed Energy Resources (DER)

Выводы

На сегодняшний день вопросы терминологии и присоединения распределённой генерации к распределительным системам рассмотрены в широком наборе зарубежных источников, в частности, в сериях стандартов IEEE 1547, IEEE 519 и др. Стандарты и нормативно-методические документы, описывающие частные вопросы обоснования, проектирования и технологического присоединения децентрализованных систем электроснабжения, отсутствуют. Внедрение локальных источников питания и распределённой генерации связано с определёнными техническими эффектами, связанными с изменением режимов электроснабжения.

Литература

1. Каргиев М.В. Распределенная генерация энергии с использованием возобновляемых источников энергии // Energy Fresh. – 2010 – № 1. – С. 42–45.
2. Кудрин Б.И. Распределённая малая генерация для неэлектрифицированных территорий России // Труды второй Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем» НИУ МЭИ. г. Москва 4-6 июня 2012 г. – С. 369-372.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

3. Казанов, М. С. Разработка алгоритма оптимизации параметров и комплексной оценки эффекта внедрения локальных источников питания в системах с распределенной генерацией электроснабжения потребителей: специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Казанов Максим Сергеевич, 2017. – 230 с.
4. Distributed Utility Associates: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dua1.com>
5. Истифодабарии комплексҳои электротехникии гибриди барои таъмини барқи инфрасохтори баландукухи шарқии Мурғоб / Х. С. Саидзода, Ф. О. Исмоилов, С. Г. Гулмуродзода, Б. С. Чамолзода // Захираҳои обӣ, энергетика ва экология. – 2024. – Vol. 4, No. 1. – P. 73-80.
6. Закон Республики Таджикистан «Об энергосбережении и энергоэффективности» 2013 г. – №1018. – 9 с.
7. Закон Республики Таджикистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» 2010 г. – №1. – 11 с.
8. IEEE 1547TM-2003. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems / IEEE Standard Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Disperced Generation, and Energy Storage. – Approved 12 June 2003. Reaffirmed 25 September 2008 – 27 p.

Сведения об авторах:

Султони Сухайла – магистрант 1-го курса группы 430103Б кафедры электроснабжение, ТТУ имени академика М.С. Осими.

Саидзода Х.С. – руководитель к.т.н., доцент кафедры электроснабжение, ТТУ имени академика М.С. Осими.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Махмудов И.Х., Надиров У.Н., Ансоров И.Н.

Научный руководитель – Султонзода Ш.М..

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г.

Душанбе

E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

Аннотация: *Одной из основных задач эксплуатации гидроагрегатов на энергосистеме является обеспечение надежности их работы. Повышение надежности работы гидрогенераторов неразрывно связано со своевременным выявлением дефектов во время их работы. Для решения этой задачи перспективным является анализ контрольно-диагностических параметров. Оценка фактического состояния силового электрооборудования по результатам диагностических измерений — очень сложная и актуальная задача.*

Ключевые слова: *гидрогенератор, диагностика, вибрация, мониторинг.*

METHODS OF DIAGNOSTICS OF HYDROGENERATORS CONDITION

Abstract: *One of the main tasks of operating hydroelectric units on power systems is to ensure their reliability. Increasing the reliability of hydrogenerators is inextricably linked with timely detection of defects during their operation. Analysis of control and diagnostic parameters is promising for solving this problem. Evaluation of the actual state of power electrical equipment based on the results of diagnostic measurements is a very complex and urgent task.*

Keywords: *hydrogenerator, diagnostics, vibration, monitoring.*

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с другими мерами эта задача в определенной степени решается путем профилактических мер контроля и испытаний гидроагрегатов для раннего выявления и устранения дефектов, развитие которых может привести к аварийным отключениям агрегатов. Однако применяемые в настоящее время методы и средства обнаружения дефектов, особенно в процессе работы гидроагрегатов, далеки еще от совершенства, и в них недостаточно используются современные возможности. Для повышения эффективности диагностики технического состояния гидрогенераторов необходимы разработка новых и совершенствование существующих методов и средств обнаружения признаков дефектов. В настоящее время важнейшими из таких признаков являются местные нагревы и вибрации, а также частичные разряды

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

в изоляции обмоток статора гидрогенераторов. Стационарные системы мониторинга позволяют контролировать работу гидроагрегатов в непрерывном режиме. Что позволяет выявлять многие дефекты на ранних стадиях. Но систем мониторинга оборудования, обеспечивающих непрерывный контроль измеряемых параметров и сравнение их величин с пороговыми значениями, уже недостаточно. В настоящее время, в нашей стране, ремонтная диагностика является практически единственным средством выявления дефектов энергетического оборудования. Ведь важно обеспечить интерпретацию результатов измерений, производимых системой мониторинга, то есть осуществить переход к оценке технического состояния оборудования. Именно за эти более сложные задачи и отвечают системы диагностики.

Контроль местных перегревов

Основными показателями теплового состояния генератора являются температуры обмоток и стали, а также охлаждающей среды (воздуха, масла, воды). В качестве датчиков в настоящее время используются термометры сопротивлений, устанавливаемые в ограниченном числе точек, а для контроля температур применяются многоканальные автономные установки. При этом тепловое состояние обмоток ротора не контролируется.

Применяемые в настоящее время методы контроля температур обмоток и сердечников гидрогенераторов для целей автоматизированной диагностики недостаточны ни по используемой методике, ни по объему. Решением для своевременного обнаружения местных перегревов может стать применение методов интегрального контроля. Одними из наиболее универсальных и эффективных могли бы являться термохимические методы контроля. Локализацию мест перегрева можно осуществлять газовым хроматографом, а также с помощью цветных термоиндикаторов, метки которых наносятся на поверхности доступных для осмотра конструктивных элементов рядом с метками термохимических индикаторов. Выявление перегревов может основываться на регистрации характерных газов, выделяющихся при термоллизе естественных органических веществ, содержащихся в конструктивных узлах машины. При этом следует учитывать, что температура термолиза изоляционных материалов конструктивных узлов генератора может иметь значения 200-300°C и выше, а это может не обеспечивать своевременное выявление перегревов.

Контроль местных вибраций

История Мониторинг состояния вращающихся машин на основе анализа вибрации получил широкое распространение и использовался во многих отраслях нефтехимической и энергетической промышленности на протяжении

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

десятилетий. В начале 1960-х годов было представлено первое поколение бесконтактных датчиков на основе вихретоковых токов, за которым вскоре последовало первое поколение систем непрерывного онлайн-мониторинга для обнаружения уровней вибрации, измеряемых датчиками. За последующие десятилетия системы мониторинга вибрации сильно изменились благодаря усовершенствованной фильтрации и измерениям, а также взаимодействию с программным обеспечением для просмотра и корреляции данных. В то время как более сложные и тщательные системы мониторинга получили признание во многих областях производства электроэнергии, многие гидротурбины/генераторы все еще имели очень упрощенные системы защиты, такие как вибрационные выключатели, если вообще какая-либо система.

Изучение опыта эксплуатации гидрогенераторов показало необходимость обнаружения местных вибраций активной стали зубцовой зоны сердечника и лобовых частей обмоток статора. Вибрации активной стали, в частности крайних пакетов, не могут быть обнаружены с помощью имеющейся в настоящее время аппаратуры. Существующий способ контроля вибраций лобовых частей обмоток статора требует достаточно большого числа датчиков.

Частичные разряды

Одним из возможных направлений контроля частичных разрядов в процессе работы генератора является их регистрация с помощью емкостного или трансформаторного отбора электромагнитных импульсов на выводах и (или) нулевой шине обмотки статора гидрогенератора. При возникновении частичных разрядов опасной интенсивности генератор останавливают и определяют места возникновения их с помощью электромагнитных датчиков.

Многие отключения вращающихся машин вызваны длительным старением изоляции обмотки статора, что в конечном итоге приводит к выходу обмотки из строя. Таким образом, большая часть затрат на испытания и техническое обслуживание на электростанциях уходит на оценку состояния обмотки статора и выполнение необходимого ремонта или перемотки, когда риск отказа высок. С середины 1970-х годов основным инструментом для оценки состояния изоляции обмотки статора гидрогенераторов является онлайн-тест анализатора частичных разрядов (КПК). Испытание на частичный разряд включает в себя измерение небольших электрических искр, которые возникают в пустотах системы изоляции по мере ее разрушения. По мере увеличения величины и количества этих импульсов частичного разряда изоляция обмотки приближается к разрушению. Отслеживая тенденции активности ЧР, коммунальные предприятия могут оценить ухудшение изоляции и спланировать отключения по обслуживанию и ремонт. Типичные

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

условия старения обмотки, которые можно обнаружить с помощью испытания на частичный разряд, включают в себя:

- незакрепленные клинья
- расслоение изоляции
- разрыв связи медь-изоляция
- ухудшение полупроводникового покрытия
- проводящие частицы или отложения грязи на торцевых обмотках
- повреждение полупроводника /градиация площади перекрытия покрытия
- трещины на изоляции обмотки
- проблемы, связанные с тепловым, механическим и/или электрическим

старением изоляции 2. Результаты испытаний на частичный разряд обычно представляют собой сводные числа, полученные на основе стандартных графиков анализа амплитуды импульса, полученных в ходе испытания на частичный разряд. Большинство пользователей отслеживают эти цифры с течением времени, сравнивают их с другими аналогичными машинами или, в последнее время, сравнивают свои показания со статистической базой данных, содержащей более 140 000 тестов ЧР, собранных за последние 20 лет. Если итоговые данные резко увеличиваются за несколько месяцев или около того, начинаются дальнейшие испытания. Затем более внимательно изучается высота импульса и, если таковые имеются, данные о фазовом ЧР, чтобы определить фактическую причину ЧР. Более того, при обнаружении высокого ЧР многие пользователи повторяют испытания на частичные разряды при определенной нагрузке генератора и температурных режимах для дальнейшего уточнения результатов. Отслеживание активности ЧР в зависимости от условий эксплуатации генератора помогает различать процессы отказа и, следовательно, необходимое техническое обслуживание.

Воздушный зазор

Измерения воздушного зазора используются для определения геометрического состояния выравнивания генератора. Основной принцип прост: ротор и статор генератора должны быть круглыми, отвесными и концентрическими. Обычно при вводе генератора в эксплуатацию воздушный зазор проверяется до окончательного закрытия агрегата перед запуском. Существует множество причин деформации воздушного зазора генератора. Строительные дефекты, дефекты проектирования часто выявляются при строительстве и вводе в эксплуатацию. Систему онлайн-мониторинга можно использовать для ввода агрегата в эксплуатацию, но она также позволяет обнаруживать проблемы, отсутствующие в период ввода в эксплуатацию. Одной из причин неисправностей воздушного зазора являются температурные

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

изменения. В больших генераторах обычно имеются плоскости скольжения, позволяющие нагреваться во время работы. Проблемы с плоскостями скольжения приведут к искажению воздушного зазора, что приведет к минимуму воздушного зазора, что приведет к локализованному нагреву и большей магнитной нагрузке. Чтобы быть эффективной, система мониторинга должна обеспечивать обзор всего воздушного зазора генератора в любом рабочем состоянии машины. Статор Датчики воздушного зазора, монтируемые на статоре, являются стандартным отраслевым методом измерения воздушного зазора. Измерение определяет форму ротора путем прямого измерения и, если оно выполнено правильно, также может дать представление о форме статора. Датчики монтируются непосредственно на стенку статора и измеряют расстояние между статором и ротором. Это обеспечивает непрерывное измерение зазора до ротора, а построение графика обеспечивает прямое измерение ротора. Установив несколько датчиков на статор и измерив зазор до ротора для каждого датчика, вы получите измерение того, насколько далеко каждый датчик находится от ротора.

Система диагностики гидрогенераторов

Системы непрерывного контроля и диагностики создавались для увеличения срока работы гидрогенераторов за счёт непрерывного мониторинга ряда параметров генераторов, анализа считываемой с датчиков системы информации, раннего диагностирования неисправностей, выдачи рекомендаций техническому персоналу, направленных на корректировку режима и выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Диагностическая система контролирует:

- параметры электрического режима;
- тепловое состояние гидрогенератора как электрической машины и ее вспомогательного оборудования;
- вибрации корпусов подшипников;
- время срабатывания исполнительных механизмов при пуске и останове генератора и другие параметры в зависимости от конкретного назначения (рис. 1).

На основании анализа собранной информации диагностируются следующие неисправности:

- частичные разряды в обмотке статора;
 - неисправности в системе охлаждения обмоток и сердечника статора
- неисправности в системе смазки и охлаждения подшипников;
- повышенная вибрация направляющих подшипников, вала турбины, направляющего аппарата.

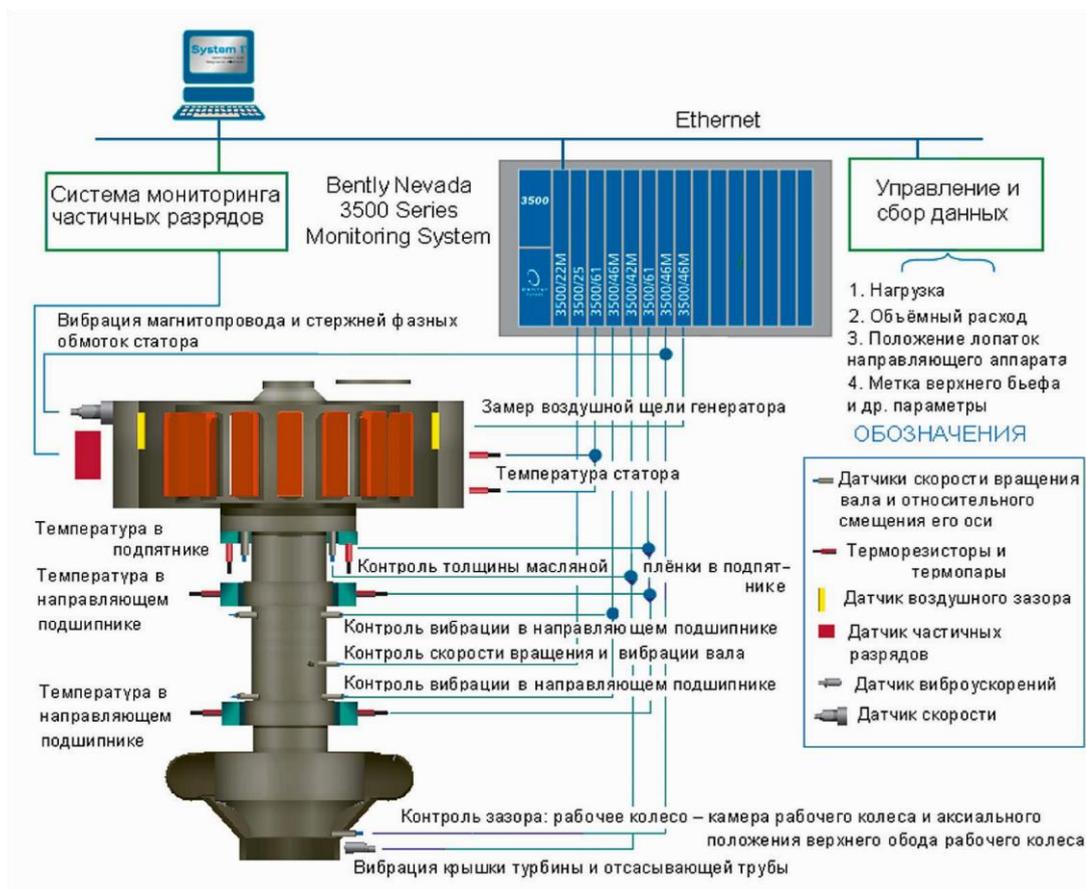


Рисунок 1 – Структурная схема элементов системы мониторинга

Заключение

Как описано в этой статье, для мониторинга гидрогенераторов используется все большее количество сложных онлайн-датчиков и систем. Эти системы мониторинга предоставляют сложные данные, интерпретация которых часто требует значительных знаний. Правильное использование этой информации может помочь коммунальным предприятиям сэкономить расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание, а также сократить количество внеплановых отключений и катастрофических сбоев. Однако большой объем доступных данных от этих сложных мониторов и датчиков может перегрузить персонал и потребовать тщательной интерпретации. Правильная обработка этой информации требует знаний в области проектирования машин и эксплуатационных пределов, сложных инструментов онлайн-мониторинга, а также обработки и интерпретации сигналов тревоги.

Литература

1. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.– 144 с.
2. Lewis P., Grant J. and Evens J. Experience with Hydro Generator Expert Systems // Iris Rotating Machine Conference, June 2008, Long Beach, Ca, 6 P.

3. Potter C., Negnevitsky M. An Expert System for Hydro Electric Generator Scheduling In Tasmania // Journal of Electric & Electronic Engineers, Australia. 2003. Vol. 22. №3.– P. 167 – 171.

6. Современная система контроля и диагностики турбо-и гидрогенераторов СТК– ЭР // Энергетика и промышленность России. № 12 (152) июнь 2010 года. – С. 17.

7. Ниязов Н.Т. Разработка экспертной системы контроля состояния вертикальных гидрогенераторов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Бишкек , 2006. – 19 с.

8. Жданович А.А. Контроль и мониторинг эксплуатационного состояния гидроагрегатов на основе теории нечётких множеств // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Новосибирск, 2010. – 23 с.

9. Белоглазов А.В. Разработка адаптивных средств выявления неисправностей и стратегии обслуживания гидроагрегатов // Автореферат диссертации на соискание учёной степени к.т.н. – Новосибирск, 2011.– 22 с.

Сведения об авторах:

Махмудов И.Х. – докторант PhD, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Надиров У.Н. – магистрант 2-го курса группы 430101, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Ансоров И.Н. – магистрант 1-го курса группы 430101, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

СИЁСАТИ ЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН ДАР ДАВРОНИ ИСТИҚЛОЛИЯТ

Саломзода М.Ш., Замонов Ҳ.Р., Халилов М.Н.

Роҳбари илмӣ – н.и.т., дотсент Султонзода Ш.М.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе

E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

Аннотатсия. Дар мақола дар бораи омилҳои асосии зухуроти резонанс дар шабакаҳои электрикӣ сухан меравад. Инчунин усулҳои гуногуни ҳисоб ва пешгӯии ҳодисаи резонанс баррасӣ карда шуда, хулосаҳои зарурӣ гуфта шудааст.

Калвожаҳо: Стратегияҳои миллӣ, гидроэнергетика, манбаҳои барқароршавандаи энергия.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН В ПЕРИОД НЕЗАВИСИМОСТИ

Аннотация. В статье рассказывается об основных факторах резонансных явлений в электрических сетях. Также были рассмотрены различные методы расчета и прогнозирования резонансного события и сделаны необходимые выводы.

Ключевые слова: национальные стратегии, гидроэнергетика, возобновляемые источники энергии.

Соҳаи энергетика яке аз соҳаи афзалиятноку муҳими иқтисоди кишвар ба шумор меравад ва дар пешбурди фаъолияти иқтисодию қонеъ кардани ниёзҳои аввалияи аҳоли нақши ҳалкунанда дорад. Ҷумҳурии Тоҷикистон дорои захираҳои бойи манбаҳои гидроэнергетикӣ мебошад. Худуди Тоҷикистони муосир дорои захираҳо ва имкониятҳои зиёд барои рушди иқтисоди «сабз» буда, аз қуҳҳои баланд, табиати нотақрор, обҳои мусоффо ва манбаҳои барқароршаванда иборат мебошад. Дар худуди Тоҷикистон беш аз 64 фоизи захираҳои оби Осиеи Марказӣ ташаккул ёфта, нерӯи барқ дар кишвар асосан аз манбаҳои барқароршавандаи энергия истеҳсол карда мешавад. Дар ин раванд гидроэнергетика манбаи асосии таъмини аҳоли ва иқтисодиёти миллӣ бо энергия мебошад, зеро нерӯи барқ асосан аз нерӯгоҳҳои барқи обӣ ҳосил мегардад ва ин соҳа дар рушди иқтимоию иқтисодии Тоҷикистон мақоми асосӣ дорад. Тоҷикистон дорои иқтидори истеҳсоли 527 млрд. кВт/соат қувваи барқ дар як сол буда, айни замон ҳамагӣ 6 фоизи ин иқтидорҳо аз худ карда шудаанд.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Соли 2008 аз ҷониби Созмони Милали Мутаҳид Ташаббуси «Иқтисоди сабз» (Green Economy Initiative) эълон карда шуд, ки мақсади он дар расонидани кумак ба ҳукуматҳои кишварҳои гуногун барои дигар кардани самти сиёсати иқтисодии онҳо бо аввалиндараҷа дониستاني афзалиятнокии технологияҳои аз ҷиҳати экологӣ тоза, манбаъҳои таҷдидшавандаи энергия, хизматрасонӣ дар соҳаи таъминоти об ва нақлиёти аз ҷиҳати экологӣ тоза, зарурати идоракунии партовҳо, бунёди биноҳои «сабз», кишоварзии босубот ва ғайра равона шудааст. Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси таҷрибаи кишварҳои пешрафта ҷонибдори амалисозии принципҳои иқтисоди «сабз» мебошад. Дар ин раванд таҳияи заминаи муносиби ҳуқуқӣ тавассути қабули як қатор санадҳои меъёрии ҳуқуқии нав, инчунин қабули стратегия ва барномаҳо дар маҷмӯъ барои амалисозии иқтисоди «сабз» заминаи муносиб фароҳам оварда, рушди кишвар ва нигоҳ доштани мувозинати экологиро таъмин менамояд. Рушди минбаъдаи иқтидорҳои гидроэнергетикӣ ва амалисозии лоиҳаҳои минтақавии нақлиётӣ коммуникатсионӣ ба Тоҷикистон имконияти табдилёбӣ ба кишвари пешсафи минтақа дар истеҳсол ва интиқоли неруи барқӣ арзон ва аз ҷиҳати экологӣ тоза, вусъатдиҳии имкониятҳои транзитии кишвар фароҳам меоварад.

Манбаъҳои дигари истеҳсоли энергия, ба мисли манбаъҳои энергияи офтобӣ ва бодӣ, энергияи партовҳо метавонанд амалан тақрибан 10%-и талаботи ҷумҳуриро бо нерӯи барқ қонеъ гардонанд. Тибқи арзёбии коршиносон иқтидори тавлиди энергияи офтобии Тоҷикистон қариб 25,16 млрд. кВт/соат дар як солро ташкил дода, 10–20 фоизи талаботи хоҷагии миллӣ ба ҳомили энергия ва 60–80 фоизи талаботи умумии аҳолиро ҳадди ақал давоми 10 моҳ дар як сол, дар тамоми ҳудуди кишвар қонеъ гардонида метавонад.

Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон ба рушди соҳаи энергетика тавачҷуҳи хоса зоҳир намуда, иқтидори назарраси онро асоси рушди соҳаҳои иқтисодӣ иҷтимоӣ ва қоҳиши сатҳи камбизоатӣ дар кишвар муҳим арзёбӣ менамояд.

Яке аз ҳадафҳои асосӣ дар соҳаи энергетика таъмини дастрасии боэътимод ва босифати нерӯи барқ ба тамоми аҳолии кишвар, соҳаҳои истеҳсоли ва хизматрасонӣ, истифодаи самаранокӯ сарфачӯйонаи нерӯи барқ, афзоиши содироти нерӯи барқу пайдо намудани мавқеъ дар бозори энергетикӣ Осиеи Миёна ва Ҷанубӣ дар қатори кишварҳои бузурги содиркунанда, ба шумор меравад.

Сиёсати давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи энергетика мувофиқи муносибатҳои бозоргонӣ, институтсионалӣ ва иттилоотӣ бо мақсади таъмини амният ва рушди соҳа, инчунин ҳимояи манфиатҳои истеъмолкунандагони энергияи барқ асос ёфтааст. Бо мақсади амалӣ намудани сиёсати давлатӣ дар

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

бахши энергетика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон санадҳои меъёрии ҳуқуқии қонунгузорӣ ва меъёрии зарурӣ қабул гардиданд.

Стратегияи энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба самти ноил гардидану таҳким бахшидан ба мустақилият ва амнияти энергетикӣ равона карда шуда, ин дурнамо дар бисёр барномаҳо ва санадҳои қаблӣ ва амалқунанда, аз ҷумла «Стратегияи рушди иқтисоди «сабз» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2023–2037», «Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон то давраи соли 2030» ва дигар санадҳои соҳавӣ инъикос ёфтааст.

Бо мақсади таъмини амнияти энергетикӣ ноил гардидан ба истиқлолияти энергетикӣ Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон самтҳои асосии соҳаро муайян намудааст, ки аз бахшҳои зерин

- бунёд, таҷдид ва навосии инфрасохтори гуногуни мавҷуда ва нави энергетикӣ,
- коҳиш додани талафоти нерӯи барқ,
- истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия,
- ҷорӣ намудани низоми муосири назорат ва баҳисобгирии нерӯи барқ ё худ рақамикунонии соҳа ва
- ташкили бозори минтақавии нерӯи барқ иборат мебошанд.

Соҳаи энергетика, ки соҳаи афзалиятноку муҳими иқтисоди кишвар ба шумор меравад, дар даврони соҳибистиклолӣ барои инкишофи он як қатор тадбирҳои муассир, аз қабилӣ: рушди ҳамкорӣҳои минтақавию умумичаҳонӣ, фазои мусоиди сармоягузорӣ, азнавсозиву барқароркунии иқтидорҳои истеҳсолӣ ва шабакаҳои интиқоли нерӯи барқ амалӣ карда шуданд, ки саҳми Пешвои миллат дар ин самт хеле бузург аст. Хусусан, чиҳати ҳалли норасоии нерӯи барқ ва бо ҳамин роҳ таъмин намудани рушди босуботи иқтисодӣ, баланд бардоштани сатҳи некуаҳволии мардум ва дар ин замина ноил гардидан ба Истиқлолияти комили энергетикӣ, ки яке аз ҳадафҳои стратегии кишвар ба шумор меравад, корҳои барқарорсозиву сохтмонӣ дар иншоотҳои хурду азими тақдирсоз дар заминаи талаботҳои байналмилалӣ ба роҳ монда шуд.

Дар Тоҷикистон 96 зиёда аз ғоизи неруи барқ аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия, яъне асосан бо истифода аз неруи об истеҳсол гардида, яке аз кишварҳои пешбарандаи принципҳои иқтисоди «сабз» дар энергетика эътироф ва аз рӯи ғоизи истеҳсоли энергияи «сабз» шашум кишвари пешсафи сайёра мебошад. Дар Тоҷикистон зиёда аз 13 ҳазор пиряхҳо ва 1 000 дарёҳо мавҷуд аст, ки сарчашмаи ташаккули тақрибан 60 ғоизи обҳои Осиёи Марказӣ мебошанд. Иқтидори истеҳсолии неруи барқ дар кишвар ба ҳолати 1 январи соли 2022 зиёда аз 6 124 МВт мебошад. Дар маҷмуъ дар

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Тоҷикистон 308 адад неругоҳҳои барқӣ обӣ аз ҷумла, 12 адад нерӯгоҳҳои барқӣ обии миёна ва калон, 12 адад неругоҳҳои барқиву обии хурду миёна дар тавозуни ҚСҚ «Помир Энерҷӣ» ва 284 нерӯгоҳҳои барқӣ обии хурд ва 1 адад неругоҳи барқӣ офотобӣ, ки ба низоми энергетикӣ ҚСҚ «Помир Энерҷӣ» пайваст мебошад, мавҷуд аст.

Бо амалисозии лоиҳаҳои бузурги бунёду таҷдиди иншооти энергетикӣ мамлакат, аз ҷумла бунёди нерӯгоҳи «Роғун» ва таҷдиди неругоҳҳои барқӣ обии «Норак», «Сарбанд» ва «Қайроққум» дар солҳои оянда иқтисодии энергетикӣ мамлакат иловатан ба 4 000 МВт афзоиш дода шуда, ба 10 000 МВт расонида мешавад.

Дар кишвар муносибати муносиб барои рушди соҳаи энергетикӣ истифода мегардад. Хусусан, дар аввал таваҷҷуҳ ба соҳаи энергетикаи дохилӣ равона гардидааст ва муносибатҳои доманадори соҳавӣ мавриди истифода қарор мегиранд, ки соҳаҳои нерӯи барқ, газ ва маводи сӯхтро фарогиранд. Вазифаи асосии муносибати мазкур барқарор кардани соҳаи энергетикаи дохилӣ мебошад, ки дар заминаи татбиқи самтҳои асосии дар боло зикргардида, татбиқ мешавад.



Расми 1 – Таъминоти устувор бо нерӯи барқ

Сипас, таваҷҷуҳ ба бозори содиротӣ равона гардида, ҳадафи асосии он ба самти истифодаи ҳарчӣ бештари иқтисодии соҳа ва ба ин васила мусоидат

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

намудан ба баланд бардоштани иқтисодиёти кишвар тавассути содироти нерӯи барқ дар минтақа мебошад. Дар шароити кунунӣ, мавсими тобистон давраи фаровонии нерӯи барқ ба ҳисоб рафта, нерӯи барқи изофагӣ ба Ҷумҳурии Ислонии Афғонистон, қисман ба Ҷумҳурии Қирғизистон ва ба Ҷумҳурии Узбекистон содир карда мешавад.

Илова бар ин, дар доираи Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 ҷиҳати таъмини фаъолияти устувору боэътимоди низоми энергетикӣ ва таъмини босуботи аҳолию соҳаҳои иқтисодиёту иҷтимоиёти кишвар бо нерӯи барқ амалӣ намудани концепсияи 10/10/10/10+500 ба нақша гирифтааст, ки тибқи он расидан ба ҳадафҳои зерин дар назар аст.

Хулоса

Бо мақсади расидан ба ин ҳадафҳо, як қатор барномаю нақшачорабиниҳои соҳавӣ ба тавсиб расидааст. Лоихаҳои афзалиятноки соҳа муайян гардида, аслан барои ноил гардидан ба ҳадафҳои стратегӣ нигаронида шудаанд. Аз ҷумла, татбиқи лоихаҳои таҷдиди нерӯгоҳҳои барқи обии “Сарбанд”, “Норак” ва “Қайроққум”, бунёди нерӯгоҳи барқи обии “Себзор”, татбиқи лоихаҳои CASA 1000 ва азнавпайваस्तшавӣ ба низоми ягонаи энергетикӣ Осиеи Марказӣ, лоихаҳои ҷорӣ намудани низоми мусоирӣ назорат ва ҳисоби нерӯи барқ барои кам намудани талафоти нерӯи барқ, электрофикатсиякунонии деҳоти дурдаст, бунёди нерӯгоҳҳои офтобӣ, бодӣ ва ҳароратӣ барои баланд бардоштани иқтидорҳои истеҳсолию васеъ намудани имкониятҳои содироти энергияи барқ, диверсификатсиякунонии иқтидорҳои истеҳсолӣ ва сарфачуии энергияи барқ равона карда шудаанд.

Дар мавриди самаранок амалинамудани концепсияи номбурда ва татбиқи лоихаҳои зикргардида, Тоҷикистон имконияти бештари интиқоли нерӯи барқи аз ҷиҳати экологӣ тозаро пайдо намуда ва дар қатори кишварҳои бузурги содиркунанда дар бозори энергетикӣ Осиеи Миёна ва Ҷанубӣ соҳиби мақом мегардад.

Адабиёт

1. «Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон то давраи соли 2030»,
2. Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Пешвои миллат, Эмомалӣ Раҳмон ба Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон, 22 декабри соли 2016. ш. Душанбе.
3. Стратегияи рушди иқтисоди «сабз» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2023–2037.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

4. Таджикистан: углубленный обзор энергоэффективности, Секретариат энергетической хартии 2013.

5. Валамат-Заде Т. Водные ресурсы Таджикистана в стратегии национальной и региональной политики/Центральная Азия и Кавказ. -2001. - №2

Мулаллифон:

Саломзода М.Ш. – магистранти курси 1, ихтисоси 430101Б, ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ;

Замонов Ҳ.Р. – донишчуи курси 4, ихтисоси 430101Б1, ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ;

Халилов М.Н. – донишчуи курси 2, ихтисоси 430101Б, ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ;

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Мухаммадиев Н.А, Шарифов Б.Н., Гуламов Ш.Р.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

E-mail: bohir.sharifov89@gmail.com

Аннотация: В работе рассматривается моделирование и анализ влияния внешних условий окружающей среды на энергетические показатели фотоэлектрических модулей. Целью работы является имитация фотоэлектрической установки под действием разнообразных факторов окружающей среды.

Ключевые слова солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, математическая модель, Matlab/Simulink.

SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract: The paper discusses modeling and analysis of the influence of external environmental conditions on the energy performance of photovoltaic equipment. The goal of the work is to simulate photovoltaic equipment under the influence of various environmental factors.

Keywords: solar energy, photovoltaic equipment, mathematical model, Matlab/Simulink.

Создание новых эффективных фотоэлектрических элементов является одной из актуальных задач развития солнечной энергетики. В последние годы, фотоэлектрические элементы используются в системах водоснабжения, насосных и кондиционерных станций в отдаленных и изолированных районах, где линии электропередач не доступны или экономически нецелесообразны. В связи с этим, оценка эффективности их работы является достаточно важной. Необходимо иметь возможность определять выходные зависимости фотоэлектрических модулей (ФЭМ) под действием разнообразных факторов окружающей среды, сравнивать эффективность использования ФЭМ из различных материалов, оценивать их поведение в различных режимах работы. Для эффективного использования ФЭМ необходимо знать точку максимальной мощности и обеспечить такой режим, чтобы отдаваемая мощность, при изменении окружающих условий, была наибольшей. При отработке ФЭМ используют имитаторы солнечных батарей, позволяющие воспроизводить характеристики ФЭМ под влиянием разнообразных внешних воздействий [1]-[5].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Чтобы провести исследование выходных характеристик необходима составит математическую модель ФЭМ. Уравнение (1) описывает математическую модель ФЭМ [4,5] входных переменных которого являются уровень солнечной инсоляции S_x и температуры окружающей среды T_x .

$$\left\{ \begin{array}{l} I_c = I_{ph} - I_d \left\{ e^{\left[\frac{e}{AkT_c} (U_c + I_c R_c) \right]} - 1 \right\} \\ U_c = \frac{AkT_c}{e} \ln \left(\frac{I_{ph} - I_c + I_d}{I_d} \right) - I_c R_c \\ C_{SU} = 1 + \beta_T \alpha_S (S_x - S_C) + k_{SU} \\ C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_C} (S_x - S_C) + k_{SI} \\ C_{TU} = 1 + \beta_T (T_C - T_x) \\ C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_C} (T_x - T_C) \\ \alpha_S = \frac{T_x - T_C}{S_x - S_C} \\ U_{Cx} = C_{SU} C_{TU} U_c \\ I_{phx} = C_{TI} C_{SI} I_c \\ P_{Cx} = U_{Cx} I_{phx} \end{array} \right. \quad (1)$$

Данная модель позволяет смоделировать систему электроснабжения ФЭМ с учетом изменения солнечной инсоляции и температуры окружающей среды. Моделирование производится для единичного солнечного элемента с выходным напряжением 0,61-0,67 В, которое затем умножается на количество ячеек, подключенных последовательно, чтобы получить выходное напряжение ФЭМ. Компьютерная модель выполнена для 4х видов, наиболее распространенных ФЭМ, которые имеют следующие технические данные (таблица 1);

Важными параметрами, прямо влияющими на работу фотоэлектрической установки, являются температура и солнечная радиация. С помощью модели можно рассматривать влияние температуры окружающей среды и уровня солнечной инсоляции на выходные характеристики ФЭМ.

Рассмотрим влияние уровня солнечной инсоляции на выходные характеристики ФЭУ. На рисунке 1 приведены семейство вольтамперных характеристик (ВАХ) ФЭУ при изменении уровня солнечной инсоляции в диапазоне [1000-200] Вт/м².

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

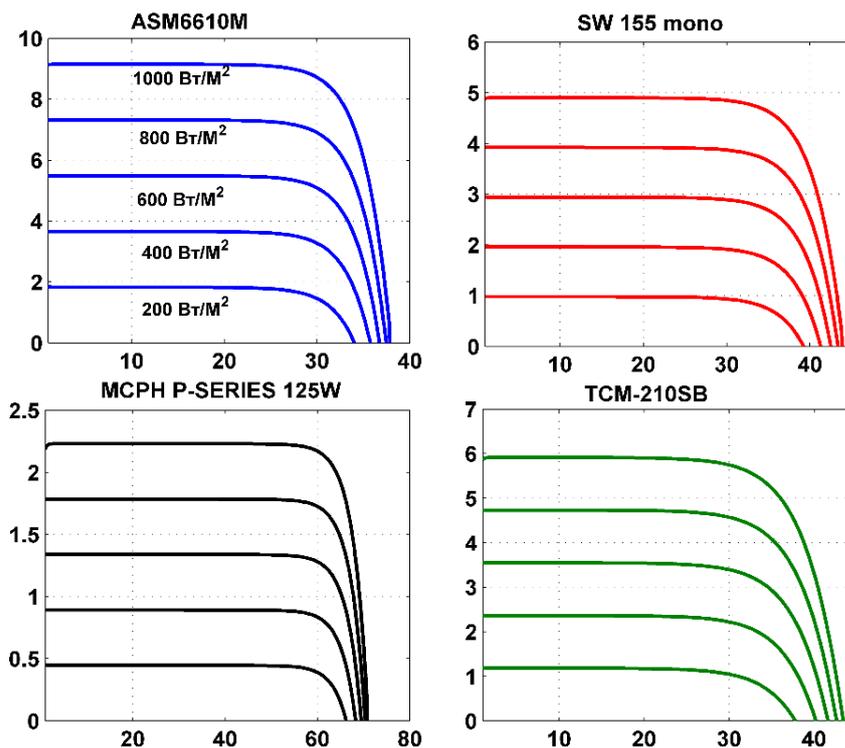


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика ФЭМ для различных уровней освещенности

Таблица 1. Паспортные данные исследуемых ФЭМ

Тип ФЭМ		TCM-210SB	SW 155 mono	MCPH P7 125W	ASM6610P 270
Номинальная мощность, [Вт]	P_n	210	155	125	270
Напряжение холостого хода, [В]	U_{xx}	44	43.6	74.1	37.99
Рабочее напряжение, [В]	U_p	38	34.8	56.6	31.29
Рабочий ток, [А]	I_p	5,49	4.46	2.23	8.7
КПД, [%]	η	17,34	4.9	2.71	9.15
Площадь поверхности, [М] ²	S_n	1.26	11.8	8.9	16.5
Количество фотоэлементов	N	72	72	72	60
Свойства фотоэлемента					
Обратный ток насыщения диодов, [А]	I_0	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$
Диод, фактор идеализации	A	1,43	1,43	1,6	1,43
Температурный коэффициент выходного напряжения, [В/°С]	β_T	0,004	0,004	0,39	0,32
Температурный коэффициент выходного тока, [А/°С]	γ_m	0,06	0,06	0,06	0,059

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Анализ рисунка показывает, что при уменьшении уровня солнечной инсоляции, уменьшается ток короткого замыкания и напряжение холостого хода, причем ток короткого замыкания уменьшается быстрее, чем напряжение холостого хода.

В настоящее время современные технологии преобразования солнечной энергии позволяют использовать лишь небольшую часть ее для производства электрической энергии ФЭМ. Большая часть солнечной инсоляции преобразуется в тепло в элементах ФЭМ, что приводит к повышенной рабочей температуре ФЭМ. В результате температура ФЭМ может быть значительно выше окружающей среды, что снижает ее эффективность. График ВАХ ФЭМ при изменении температуры окружающей среды представлен на рисунке 2

В некоторых исследованиях было выявлено, что изменение температуры может оказывать влияние на эффективность фотоэлектрических панелей (ФЭМ). При этом, эксперты отметили наличие линейной зависимости между температурой и эффективностью с отрицательным коэффициентом наклона.

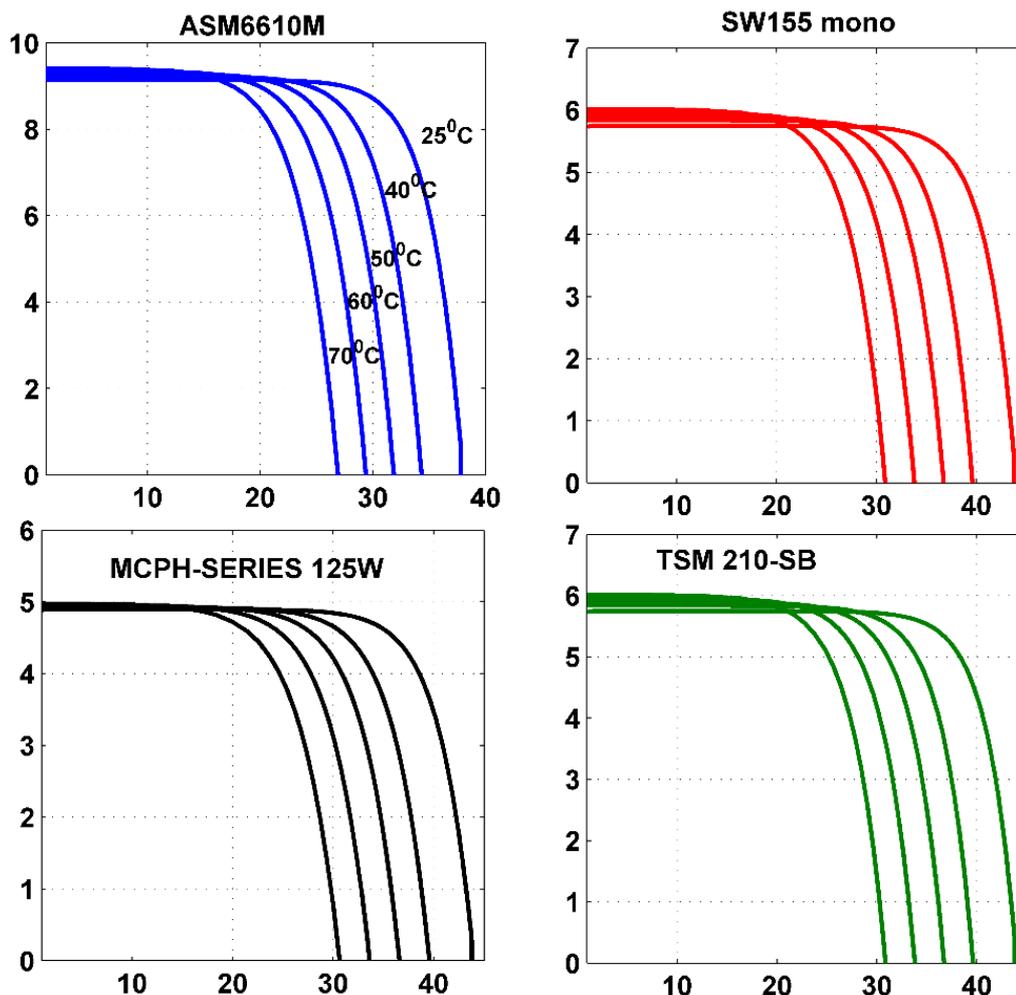


Рисунок 2. – ВАХ ФЭМ при изменении температуры

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Как видно из рисунка изменение температуры оказывает существенное влияние на напряжение холостого хода. При увеличении температуры от 25⁰С до 70⁰С напряжение холостого хода уменьшается на 18% (рис.2.), в то время как ток короткого замыкания существенно не изменяется.

Выводы

Исследование энергетических характеристик ФЭМ при различных условиях окружающей среды является основным фактором показывающий энергетическую эффективность солнечных электростанций. Математическая модель ФЭМ позволяет детально проанализировать процессы, протекающие в солнечных фотопреобразователях, что имеет огромное значение не только для научного, но и для образовательного процесса.

Литература

1. Фролкова Н.О., Абраменкова И.В, Фролкова О.А., Моделирование последовательного сопротивления в структуре реального солнечного элемента // Материалы X международной конференции «Системы компьютерной математики и их приложения», СКПМ 2009 г, с 3-5.
2. Altas I. H., Sharaf A. M: A photovoltaic powered efficient DC motor drive for pump irrigation // Proc. Canad. Solar Energy Conf., Halifax, N.S., Canada, 1990.
3. Стребков Д.С., Никитин Б.А., Харченко В.В., Гусаров В.А., Тихонов П.В. Влияние температур в широком интервале значений на параметры солнечных элементов // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2013. №4. с. 46-48.
4. Шарифов. Б.Н., Терегулов Т.Р., Моделирование солнечной панели в программе Matlab/Simulink // Вестник уфимского государственного авиационного технического университета 2015 №4 ,с 77-83.
5. Teregelov.T.R., Sharifov B., Valeev A.R., Simplified solar panel modeling in MATLAB/Simulink considering Bashkortostan Republic (Russia) environment characteristics // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) 2016, pp 17-21 (IEEE Conference Publications).
6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем: учебное пособие: СПб КОРОНА-принт ,2001 320с.

Сведения об авторах:

Мухаммадиев Нозимчон Ашрафович – магистрант 1-го курса кафедры «Релейна защита и автоматики», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – автоматика и управление фотоэлектрических установок.

Шарифов Бохирджон Насруллоевич – 1989 г.р., старший преподаватель кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на солнечных электростанции.

Гуламов Шухрат Рахматуллоевич – к.т.н., ассистент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на основе синхронного гидрогенератора.

ИСТИФОДАИ ЭНЕРГИЯИ ОФТОБ БАРОИ ГАРМИТАЪМИНКУНИ

Султонбеков О.Ш., Ёров Х.М.

Научный руководитель Қирғизов А.Қ.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими

E-mail: alifbek@mail.ru

Аннотатсия. Дар мақола дар бораи истифодаи босамари энергияи офтоб барои ҳосил кардани гарми муфассал гуфта шудааст. Чун, ки дар баъзе минтақаҳои Тоҷикистон аз сабаби дурии роҳ нархи сузишвори хеле гарон мебошад ва истифодаи дастгоҳҳои офтобии гармидиҳанда барои гарм кадани хонаҳои алоҳида ва инчунин муассисаҳои таълими ва хочагидор хеле ба маврид мебошад.

Калимаҳои калидӣ: коллектори офтобӣ, иқтисодӣ, радиатсияи офтоб, минтақа, барқароршаванда.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛА

Аннотация. В статье подробно рассказывается об эффективном использовании солнечной энергии для получения тепла. В некоторых регионах Таджикистана из-за удаленности дорог цены на топливо очень высоки, а использование солнечных тепловых станций для обогрева отдельных домов, а также учебных заведений и хозяйствующих субъектов очень актуально.

Ключевые слова: солнечный коллектор, солнечная радиация, возобновляемый источник энергии.

Истифодабарии манъбаҳои барқароршавандаи энергия, аз он ҷумла энергияи офтоб барои қонеъ гардонидани талаботи аҳоли ба энергияи электрикӣ ва гармӣ хело муфид мебошад. Истифодаи энергияи офтоб ба мо имконият медиҳад, ки масъалаҳои иҷтимоӣ ва энергетикӣ ноҳияҳои дурдасти Тоҷикистонро ҳал намоем. Ба мавзӯҳои дурдаст кишлоқҳо иншоотҳои хочагии кишлоқ, ки аз шабакаи энергетикӣ марказӣ дуртар ҷойгиранд ва ба он пайваст нестанд дохил мешаванд. Ба омилҳои асосии муфидии истифодаи манъбаҳои барқароршавандаи энергия ин нигоҳ доштани хусусиятҳои аввалаи экологии минтақа мебошад. Дар ояндаи наздик истифодаи энергияи офтоб як манъбаи асосии бартараф кардани бухрони энергетикӣ экологӣ дар тамоми қурраи замин мешавад [1].

Яке аз усулҳои истифодаи энергияи офтоб ин табдил додани энергияи офтоб ба гарми мебошад, ки бо ту шакли ба роҳ монда мешавад;

1. Гарми таъминкунии иншоотҳои хочагии қишлоқ ва иншоотҳои хочагии қишлоқ;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. Барои истехсоли қувваи электрикӣ.

Барои шароити Тоҷикистон аз ҳама муфид ва ғоиданрк ин истифодаи энергияи офтоб барои гарми таъминкунии иншоотҳои хоҷагии кумоналӣ ва иншоотҳои хоҷагии қишлоқ мебошад. Усули аз ҳама соддаи табдилди энергияи офтоб ба гарми ин истифодаи коллектроҳои офтобӣ мебошад, ки аз ҳисоби таъсири радаитсияи офтоб ба панели қабулкунанда, ки аз ҳисоби он моеъи кори гарм мешавад.

Конструкцияи коллектори офтобӣ аз болопуши қабулкунандаи рост, қисмати оиқии гарми нигодоранда аз тарафи муқобил ва палуҳҳои он, ки мубодилаи энергетикиро фақат аз тарфи пеши равшаншуда ҳосил мешавад иборат аст [2].

Аз ин лиҳоз саволи тадқиқи илмии асосноккунии истифодаи энергияи гарми ва электрикӣ аз тарафи аҳоли ба миён меояд. Тибқи меҳёри муқараршуда талабот ба оби гарм барои як нафар дар шаҳр ба 100 литр бо ҳарорати $T=60^{\circ}\text{C}$ дар як шабонаруз ташкил медиҳад. Ин меҳёри муқараршуда агар барои Тоҷикистон гирем аз ҳисоби ҷойгиршавии географи зиёд мебошад ва пешниҳод карда мешавад, ки барои Тоҷикистон 50 литр барои як нафар басанда мебошад [3].

Барои гуфтаҳои дар боло зикршуда барои шароити Тоҷикистон ҳаҷми миёнаи коллектор ба $0,9 \text{ м}^2$ барорбар аст. Ин меҳёр ҳам барои истехмолкунандагони алоҳида ва ҳам барои истифодаи якҷоя муайян шудааст.

Барои ҳамин норасоии энергияи гарми барои ташкилотҳои хоҷагидорӣ ба талафи молиявӣ ва маводи меорад, ки алоҳида ҳисоб карда мешавад.

Бойд қайд кард, ки ин меҳёр барои ҳар минтақа метавонад ҳар хела бошад аз ҳисоби нишондодҳои обу ҳаво ва омадани энергияи офтоб, ки ҳисоби иқтисодии алоҳидаро талаб мекунад. Меҳёри нишондода шударо агар бо S_t ($\text{м}^2/\text{одам}$) ишора кунем он гоҳ мо талаботи минтақаро ба коллектори офтоби $S_{\text{тп}}$ (м^2) аз руи формулаи зерин муайян кунем:

$$S_{\text{тп}} = S_t \cdot N_t \cdot \Delta S_{\text{тп}}$$

дар ин ҷо: $N_{\text{тп}}$ - миқдори аҳоли дар минтақа, ки ба коллектори офтоби ниёз доранд, ки аз ҳисоби таносуби норасоии оби гарм барои аҳоли нисбати меҳёри муқаррашуда мебошад;

$S_{\text{тп}}$ - масоҳати коллектор офтоби барои пушонидани норасоии гарми барои аҳоли, м^2 .

Проблемаи асосии истифодаи васеъи дастгоҳҳои офтобӣ барои гарм кардани об ин муфидии иқтисодии онҳо мебошад, чунки ҳоли ҳозир ҳам ин

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

намуди дастгоҳҳо нисбати ситсемаи анъанави қиматтар мебошад. Вақти баргашти маблағи хароҷот $T_{ок}$ барои дастгоҳи офтобии гармидиханда аз руи формулаи зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$T_{ок} = \frac{C}{(E \cdot \Pi_T - I_{ЭК})},$$

дар ин ҷо : C - нархи хоси дастгоҳи офтобӣ, сомони/ m^2 ; (долл/ m^2));

E - миқдори солонаи энергияе, ки дастгоҳ истеҳсол мекунад, кВт·ч/(m^2 ·сол)

Π_T - нархи манъбаи энергияи анъанавӣ, сомони/(кВт·ч); (долл/ (кВт·ч));

$I_{ЭК}$ – хароҷоти эксплуатационӣ, сомони/(m^2 ·сол);(долл/(m^2 ·сол)).

Муфидии иқтисодии \mathcal{E} коллектори офтобӣ дар минтақаи энерготаъминкунии мутамарказ, ки ба сомони ишора карда шудааст, метавонем аз ҳисоби фоидаи фуруши энергияи гарми аз масоҳати коллектори офтоби S , m^2 дар мурури вақти кории он ҳисоб карда шавад:

$$\mathcal{E} = (T_{сл} - T_{ок}) \cdot (E \cdot \Pi_T - I_{ЭК}) \cdot S$$

дар ин ҷо: $T_{сл}$ – вақти пурраи кории дастгоҳ.

Дар ҷадвали 1. нархи коллекторҳои офтоби барои гармитаъминкунии оварда шудаанд. Чи хеле, ки аз ҷадвал маълум мешавад нархи коллекторҳои истеҳсоли давлатҳои хориҷи наздик 2 баробар қариб нисбати хориҷи дур арзонтар мебошанд.

Ҷадвали.1. Нархи хоси коллекторҳои офтобӣ

Номгуй	Нишондодҳои асосӣ	Нархи хоси коллектори офтобӣ долл/ m^2	
		Хориҷаи наздик	Хориҷаи дур
Коллектори офтобӣ	Масоҳати лавҳаи қабулкунанда 0.8-1.6 m^2	100-250	290-500
Системаи таъминкунии оби гарм	дар 1 m^2 коллекторҳои насбшуда	200-500	500-1000
Системи гармкунии хонаҳо ва оби гарм	дар 1 m^2 коллекторҳои насбшуда	600-1200	1500-2000

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Нархи дастгоҳҳои офтоби дар худ нархи истеҳсоли дастгоҳҳо, нархи хароҷоти нақлиёти, хароҷоти насби онҳо ва хароҷоти корҳои сохмониро дар бар мегирад.

Муайян кардани арзиши насби дастгоҳи офтобӣ ва захираи кории онҳо имконият медиҳад, ки нархи энергияи истеҳсолшударо бо муқоиса бо дигар намуди энергия, дар маддӣ аввал бо манъбаҳои анъанавии энергия гирем. Аз руи ҳамин муайян кардан мумкин аст, ки кадом намуди энергияи манъбаҳои барқароршавандаро дар минтақаи мазкур истифода бурдан муфид мебошад.

Нишондоди миёнаи омадани энергияи офтоб дар сатҳи уфуқии замин дар Тоҷикистон ба 3000 кВт·с/(м·сол) (таҷрибавӣ) баробар аст[4].

Агар зароби кори ғоиданоки дастгоҳи офтобиро $\eta=0,5$, гирем ва хароҷотҳоро ба назар нагирем он гоҳ даври барқардонидани маблағ ба 6,5 сол баробар аст. Чӣ хеле, ки маълум аст вақти кории пешгуишудаи коллекторҳои офтобӣ $T_{сл}$ ба 10-15 сол баробар аст. Коллекторҳои офтобӣ барои системаи гармидиҳии мутамарказ самаранокии баланд нишон доданд асосан дар речаи кории якҷоя бо деги бугӣ. Нишондоди калони иқтисодӣ аз истифодаи коллекторҳои офтобӣ дар минтақаҳои дурдаст, ки аз системаи мутамаркази гармидиҳии дуранд, ки дар ҳуҳуди Тоҷикистон 80% ро ташкил медиҳад ва тақрибан 4 млн.одам зиндаги мекунад.

Асосан ин дастгоҳҳо барои истеҳсолкунандагони алоҳида кор мекунад. Талаботи аҳоли ва хоҷагиҳо ба энергияи гарми дар минтақа хело зиёд мебошад ва инчунин нархи сузишвории анъанавӣ дар митақаҳои дурдаст нисбат ба марказ хело гарон мебошад. Барои ҳамин ба нархи энергия $C_{гр}$ инчунин нархи дастрас кардани он низ замъ карда мешавад барои ҳамин нархи сузишворӣ бо назардошти омили минтақавӣ γ_p ҳисоб карда мешавад:

$$C_{гр}=\gamma_p \cdot C_{т}$$

Дар ин ҷо: $\gamma_p > 1$ ва дар ҳар минтақа ин нишондод метавонад ҳархела бошад.

Инчунин бояд дар назар дошт, ки баъди гузаштан ба иқтисоди бозоргони дар Тоҷикистон нархи маводу ашёҳо яку яқбора баланд шуд. Дар давраи ҳозира нархи сузишворӣ дар Тоҷикистон хусусияти номунтазам дорад ва дар ҳар минтақа нарҳо ҳархела мебошанд аз сабаби дастрас намудани он.

Барои ҳамин таҳлили иқтисоди муайян намуд, ки истифодаи энергияи офтоб барои гармитаъминкуни дар Тоҷикистон хеле муфид мебошад.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Адабиёт

1. Докунбаев К.Д. Энергетика Казахстана. Движение к рынку. -Алматы: Гылым,1998. 584 с.

2. Беляев Л.С. и др. Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию. Новосибирск: Наука, 2000. -200с.

4. Асланян А.Н., Молодцов С.Д Финансовые аспекты расширенного использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии //Теплоэнергетика, 2001, №2. с.21-24

5. Фугенфиров М.И. Использование солнечной энергии в России// Теплоэнергетика, 1997, №4, с.6-12

Маълумот дар бораи муаллифон

Султонбеков О.Ш. - магистранти курси 1-и кафедраи “Неругоҳҳои электрикӣ” ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ.

Ёров Х.М. - магистранти курси 2-и кафедраи “Неругоҳҳои электрикӣ” ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ.

МУНОСИБАТҲОИ МЕТОДӢ ОИД БА АРЗӢБИИ ТАЪСИРИ
ИНФРАСОХТОРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКӢ БА РУШДИ ИҚТИСОДӢ

Ҳомидова М.И.

Донишкадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон

[E-mail:homidova_1004@mail.ru](mailto:homidova_1004@mail.ru)

Аннотатсия: дар мақола масъалаи баландбардории электросамараи фаъолияти инфрасохтори электроэнергетикӣ ва алоқаи он бо рушди иқтисодиёт, ки дар маркази диққати олимони ватанӣ ва хориҷӣ аст мавриди таҳлил қарор гирифтааст. Якчанд муносибатҳои методӣ оид ба арзёбии таъсири ИЭЭ ба рушди иқтисодӣ таҳлил шудааст.

Калидвожаҳо: инфрасохтори электроэнергетикӣ, фаъолияти комплекси сӯзишворию энергетикӣ, истифодаи манбаъҳои ғайрианъанавӣ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

Аннотация: в статье анализируются проблема повышения эффективности работы электроэнергетической инфраструктуры и ее связь с развитием экономики, которая находится в центре внимания отечественных и зарубежных ученых. Проанализировано несколько методических подходов к оценке влияния ЭЭИ на экономический рост.

Ключевые слова: электроэнергетическая инфраструктура, деятельность топливно-энергетического комплекса, использование нетрадиционных источников.

Инфрасохтори электроэнергетикӣ (ИЭЭ) яке аз бахшҳои асосии иқтисодиёт буда, дар таъмини фаъолияти ҳамаи соҳаҳои хоҷагии кишвар нақши калидиро мебозад. Ба қавли Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон Эмомалӣ Раҳмон “имрӯзу фардои рушди иқтисодиву иқтимоии Тоҷикистон аз нерӯи барқ вобастагии мустақим дорад ва гузашта аз ин, соҳаи энергетика таҳкурсии муҳимтарини тақвияти иқтисодии давлат ва шартҳои асоситарини ҳалли масъалаҳои иқтимоии мардуми мо ба ҳисоб меравад”[1].

Таҳқиқу баррасиҳо нишон медиҳад, ки масъалаи баландбардории электросамараи фаъолияти инфрасохтори электроэнергетикӣ ва алоқаи мутақобилаи он бо рушди иқтисодиёт дар маркази диққати олимони ватанӣ ва хориҷӣ қарор дорад [2,3]. Таснифоти корҳои илмӣ дар ин самт имкон медиҳад, ки якчанд муносибатҳои тадқиқотӣ чун қарда шаванд. (қадвали 1).

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

1. Тадқиқотҳо оид ба алоқамандии рушди иқтисодӣ ва самараи электроэнергетикӣ;

2. Гурӯҳи дуйуми тадқиқотҳо оид ба алоқамандии суръати рушди ММД ва суръати рушди электроғунҷоиш бахшида шудаанд;

3. Ба гурӯҳи сейӯм корҳои илмӣ оид ба алоқамандии нишондиҳандаҳои самараи энергетикаи барқӣ бо нишондиҳандаҳои рақобатпазирии объектҳои хоҷагидорӣ (корхонаҳои ҷудоғона ва тамоми кишвар) дар бозор мансуб доништан мумкин аст;

4. Дар гурӯҳи чоруми таҳқиқот масъалаҳои фаъолияти комплекси сӯзишворию энергетикӣ, истифодаи манбаъҳои ғайрианъанавӣ ва барқароршавандаи энергия, баҳисобгирии нишондиҳандаҳои амнияти энергетикӣ ва энергосамаранокӣ баррасӣ гардидаанд;

5. Ба гурӯҳи панҷум тадқиқотҳои алоқаманд бо ҳисобкунии нишондиҳандаи интегралӣ таъсири инфрасохтори электроэнергетикӣ ба рушди иқтисодӣ дохил мешаванд.

Гурӯҳи якум таҳқиқоти аз ҳама зиёдро дар бар мегирад [4,5,6,7]. Дар онҳо дар қаринаи замони, моҳиятан, истифодаи бонавбати ду концепсия ба ҳам алоқаманд пайгирӣ мешавад. Концепсияи якум таъсири электроғунҷоиши истеҳсолотро ба динамикаи қимати мутлақи вилояти мушаххас мекунад.

Ҷадвали 1. Таъсири муносибатҳои методӣ ба арзёбии таъсири ИЭЭ ба рушди иқтисодӣ

№	Муаллифони	Моҳияти арзёбӣ	Афзалият	Таҳлили интиқодӣ
1.	Хуршудян Ш.Г., Усачева И.В., Богачкова Л.Ю., Хабибрахманов Р.Р., Рижкова Л.В.	Алоқамандии рушди иқтисодӣ аз самараи электроғунҷоиш	- Имконияти арзёбии ИЭЭ; - Мавҷудияти иттилооти омории релевантӣ.	- Электроғунҷоиши гуноғунии истеҳсолот ба назар гирифта нашудааст; - Махсусгардонӣ ба назар гирифта намешавад; - Мавҷудияти автокоррелятсия ҳаҷмҳои миқдори алоқии мутақобила байни электроғунҷоиш ва МММ; - Нархи нерӯи барқӣ истеъмолшуда ба назар гирифта нашудааст.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2.	Воронин А.Ю., Анисимова Т.Ю.	Вобастагии динамикаи афзоиши МММ ва суръати афзоиши истеъмрли нерӯи барк	- Ҳалли масъалаи автокоррелятси; - Имконияти арзёбии миқдори вобастагиҳо; - Мавҷудияти иттилооти омории релевантӣ.	- Электроғунҷоиши соҳаҳо ба назар гирифта нашудааст; - Махсусгардонӣ ба назар гирифта намешавад; - Нархи нерӯи барқи истеъмолшуда ба назар гирифта намешавад.
3.	Воронов Д. С., Городнова Н. В., Придвижкин С.В.Мелник А.Н.	Алоқаи мутақобилаи самараи электроэнергети кӣ ва сатҳи рақобатпазирии он	Баҳисобгирии нишондиҳандаи самараи энергетикӣ дар арзёбии сатҳи рақобатпазирии корхона	- Барои корхонаҳои навтаъсис истифода мешавад; - Имконияти маҳдуди истифода.
4.	Ахророва А.Д. Авезов А.Ҳ.	Мушкилоти комплекси сӯзишворию энергетикӣ, манбаъҳои ғайрианъанавӣ ва барқароршавандаи энергия	Баҳисобгирии нишондиҳандаҳои амнияти энергетикӣ ва энергосамаранокӣ	- Имконияти маҳдуди арзёбии самараи элементҳои инфрасохтори электроэнергетикӣ дида нашудааст. - Вобастагии инфрасохтори электроэнергетикӣ ва рушди иқтисодиёт
5.	Семиколенов А.В.	Нишондиҳандаи интегралӣ самараи фаъолияти корхонаҳои электроэнергети кӣ	Ҳисоби нишон- диҳандаи интегралӣ тавассути як қатор дигар нишондиҳандаҳо и фаъолияти корхона	- Таъсири ҳар як корхонаи чудоғонаи инфрасохтори электроэнергетикӣ ба ҳисоб гирифта мешавад; - Пойгоҳи маҳдуди оморӣ.

Таснифро муаллиф иҷро карда аст.

Дар чорҷӯбаи консепсияи дуйум рушди иқтисодиёт чун омили баланд бардоштани самаранокии электроэнергетикӣ дар иқтисодиёт баррасӣ мешавад.

Дар тадқиқоти мансуб ба муносибати дуйум саъй шудааст, ки масъалаҳои баррасигардида бо роҳи ошкор сохтани вобастагии суръати афзоиши ду нишондиҳандаи мазкур қисман ҳаллу фасл гардад: динамикаи афзоиши МММ ва динамикаи истеъмоли нерӯи барқ дар давоми якчанд сол [8,9].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Муносибати методии сейум ба арзёбии самараи фаъолияти инфрасохтори электроэнергетикӣ алоқамандии мутақобила байни нишондиҳандаҳои электросамаранокӣ ва дараҷаи рақобатпазирии онро дар бозор баррасӣ мекунад[10].

Дар муносибати чорум мушкилоти комплексӣ сӯзишворию энергетикӣ, манбаъҳои ғайрианъанавӣ ва барқароршавандаи энергияи Тоҷикистонро пурра дида ҳаллу фасл карда шудааст.

Муносибати панҷум механизми таъсири инфрасохтори электроэнергетикиро ба рушди иқтисодиёт нисбатан пурра инъикос менамояд, зеро ба ғайр аз ҷузъи таркибии иқтисодӣ таъсири ҳалқунандаи нерӯи барқро ба сифати зиндагии мардум, шаклгирии шароити маиши ва ба туфайли ин умуман ба ҷомеаи инсонӣ ба ҳисоб мегирад.

Аз таҳқиқ ва муқоисаи муносибатҳои методии мавҷуда ба арзёбии самараи фаъолияти инфрасохтори электроэнергетикӣ ва таъсири он ба иқтисодиёт чунин хулосаҳо баровардан мумкин аст:

1. Дар замони ҳозира ба сифати нишондиҳандаи самараи электроэнергетикӣ электроғунҷоиш истифода бурда мешавад. Ба ақидаи мо, электроғунҷоиши иқтисодиёт дар давлат аксаран ба сифати нишондиҳандаи муқоисавии ҳаҷми истифодашудаи энергия зоҳир мегардад ва бештар бо масъалаи сарфаи нерӯи барқ алоқаманд аст, ки бо электросамаранокӣ айният надорад.

2. Дар аксари муносибатҳои баррасигардида ба сифати саҳми инфрасохтори электроэнергетикӣ маҷмӯи маҳсулоти минтақавӣ (МММ) баррасӣ мешавад.

3. Дар методикаҳои мавҷуда махсусиятҳои соҳавии истифодаи нерӯи барқ ба ҳисоб гирифта намешаванд.

4. Дар таҳқиқотҳои мавриди таҳлил қароргирифта диққати асосӣ на ба инфрасохтори электроэнергетикӣ - балки электроэнергетика чун соҳаи энергетика, ки истеҳсол, интиқол ва фурӯши нерӯи барқро дар бар мегирад, дода мешавад. Фаъолияти инфрасохтори электроэнергетикӣ бошад, ба ғайр аз ҷабҳаҳои дар боло зикршуда бояд самараи истифодабарии нерӯи барқро ба назар гирад. Зеро ба маънои тош ИЭЭ унсурҳои муҳимми иқтисодиёт, ки фаъолияти комплекси хоҷагию истеҳсоли таъмин мекунад, фаҳмида мешавад. Ба ибораи дигар ҳангоми баррасии масъалаҳои арзёбии самараи ИЭЭ диққатро на ба хусусиятҳои истеҳсол ва истеъмоли нерӯи барқ, балки ба вижагиҳои фаъолияти иқтисодиёт бо роҳи таъмини он бо ҳаҷми зарурии захираҳои электроэнергетикӣ додан лозим аст. Дар таҳқиқотҳои дар ин самт иҷрошуда ба ин ҷабҳаи фаъолияти ИЭЭ диққати зарурӣ дода нашудааст.

Адабиётҳои истифодашуда

1. Суханронӣ дар мулоқот бо роҳбарону ҷаёлоғони шаҳри Норақ 13.08.2013 14:48, ш. Норақ. <http://www.president.tj/node/4865> (сабаи мулоқот 19.10.2024).

2. Тошходжаева, М.И. Повеќење наредности система електроснабжения как фактор устојчивого обезпечения народного хозяйства электроэнергией (на примере г. Худжанда РТ)/Вестник ТГУПБП. Серия общественных наук. – 2015. – № 3(3). – С. 71–

3. Урунов А.А., Авезова М.М., Насимова М.А. Методологические и практические аспекты выявления полюсов развития и точек роста в региональной экономике. Вестник университета. 2020. № 5. С. 161-168.

4. Богачкова Л.Ю., Хуршудян Ш.Г. Количественная оценка эффекта понижения электроёмкости ВРП за счет роста объема валового продукта на примере федеральных округов и регионов юга России // Энергоназор. 2013. №5. С. 14-15.

5. Усачева И.В., Хуршудян Ш.Г. Повеќење энергетической эффективности на основе модернизации электросетевой инфраструктуры как фактор экономического роста регионов Юга России// Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2015. № 3 (93). С. 63-70.

6. Хуршудян Ш.Г. Экономический рост и повеќење энергетической эффективности в современной России: взаимосвязь, анализ данных и перспективы (на примере южного макрорегиона). Современная экономика: проблемы и решения. Волгоградский государственный университет. №12 (60) 2014. <https://www.researchgate.net/publication/315381967>

7. Хуршудян Ш.Г. Моделирование зависимости энергоёмкости ВВП от динамики валового продукта на примере Юга России // Проблемы региона в исследованиях молодых ученых Волгоградской области: сб. науч.тр. Вып. 2. Волгоград, Изд-во ВолГУ, 2013. 790 с.

8. Анисимова Т.Ю. Анализ энергетической эффективности экономики регионов Российской Федерации. Вестник пермского университета, 2014. Вып. 4(23), с. 59-67.

9. Воронин А.Ю. Энергоэффективность как ключевой фактор экономического роста. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://viperson.ru/wind.php?ID=481649> (дата обращения: 04.05.2020).

10. Воронов Д. С., Городнова Н. В., Придвижкин С. В. Энергетическая эффективность строительных компаний как фактор роста их

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

конкурентоспособности в условиях государственно-частного партнерства.
News of the Ural State Mining University №1, 2017.

Маълумот оиди муаллиф

Ҳомидова Машҳура Исмагҷоновна – Номзади илмҳои иқтисодӣ,
муаллими калони кафедраи таъминоти барқи Донишқадаи кӯҳию металлургии
Тоҷикистон, Вилояти Суғд, ш.Бӯстон, к.А.Баротов 6, +99292-818-66-86

ЭНЕРГОСИСТЕМА КАК ДИНАМИЧЕСКАЯ СЕТЬ: РОЛЬ ГЭС В
ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПЛАНИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
СЕТЕЙ

Раджабеков М.Х., Давлатмамадов Н.Г., Рахимов Б.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ахъёев Дж.С.

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени академика

М.С. Осими

E-mail: javod_66@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается концепция энергосистемы как динамической сети, в контексте взаимодействия гидроэлектростанций (ГЭС) с другими элементами энергосистемы. Основное внимание уделяется влиянию прогнозов выработки ГЭС на планирование распределительных сетей и устойчивость энергетической системы в целом. Анализируются подходы к интеграции ГЭС с ветряными и солнечными станциями, аккумуляторными системами и другими источниками энергии. Особое внимание уделяется использованию современных технологий, таких как искусственный интеллект и SCADA-системы, для повышения точности прогнозирования и оптимизации распределения энергии. В статье также обсуждаются риски, связанные с непредсказуемыми изменениями в выработке ГЭС, и способы их минимизации с целью повышения надежности и эффективности энергосистемы.

Ключевые слова: гидроэлектростанции (ГЭС), прогнозирование выработки электроэнергии, климатические изменения, неопределенности и риски, энергетическая политика, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), машинное обучение, SCADA-системы, надежность энергосистемы, долгосрочное планирование, устойчивость энергосистемы, регуляторные меры, гибридизация энергосистемы, точность прогнозов, коэффициент детерминации.

**ENERGY SYSTEM AS A DYNAMIC NETWORK: THE ROLE OF
HYDROELECTRIC POWER PLANTS IN FORECASTING AND
PLANNING DISTRIBUTION NETWORKS**

Abstract: This article explores the concept of the energy system as a dynamic network, focusing on the interaction between hydroelectric power plants (HPPs) and other elements of the energy system. The main focus is on the impact of HPP generation forecasts on distribution network planning and the overall stability of the energy system. Approaches to integrating HPPs with wind and solar power plants,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

energy storage systems, and other sources are analyzed. Special attention is given to the use of advanced technologies such as artificial intelligence and SCADA systems to enhance forecasting accuracy and optimize energy distribution. The article also discusses risks associated with unpredictable changes in HPP generation and methods for minimizing these risks to improve the reliability and efficiency of the energy system.

Keywords: *Hydroelectric power plants (HPPs), energy generation forecasting, climate changes, uncertainties and risks, energy policy, renewable energy sources (RES), machine learning, SCADA systems, energy system reliability, long-term planning, energy system resilience, regulatory measures, hybridization of energy systems, forecasting accuracy, determination coefficient.*

Введение

Гидроэлектростанции (ГЭС) играют важную роль в современной энергосистеме, обеспечивая надежное и устойчивое производство электроэнергии, особенно в условиях колебаний спроса и изменений в структуре энергетики. С переходом к возобновляемым источникам энергии, таким как солнечные и ветряные электростанции, значение ГЭС возрастает из-за их способностей к регулированию и балансировке сети.

В условиях динамической энергосистемы, которая включает разнообразные источники энергии, важным является учет взаимосвязей между ГЭС и другими компонентами энергосистемы. Прогнозы выработки ГЭС играют ключевую роль в планировании распределительных сетей, влияя на решение о мощности резервирования, оптимизацию потерь и распределение энергии между регионами.

Целью данной статьи является анализ методов средне- и долгосрочного прогнозирования выработки электроэнергии ГЭС и их влияние на планирование распределительных сетей. Мы исследуем подходы к интеграции ГЭС с другими источниками энергии, а также используем технологии для улучшения точности прогнозов и устойчивости энергосистемы.

Концепция энергосистемы как динамической сети

Концепция энергосистемы как динамической сети основывается на взаимосвязях между элементами генерации, передачи и потребления энергии. ГЭС играют ключевую роль в этой сети, взаимодействуя с ВИЭ и другими источниками. Прогнозирование их выработки требует учета как внутренних факторов (гидрологических условий), так и внешних (климатических

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

изменений, политики и рисков), что помогает поддерживать устойчивость и надежность всей системы.

Основные элементы энергосистемы:

Энергосистема состоит из различных компонентов, таких как:

- **Гидроэлектростанции (ГЭС)** – регулируемая генерация, основанная на гидрологических данных.
- **Солнечные и ветряные электростанции** – переменная генерация из-за изменения погодных условий.
- **Аккумуляторные системы и распределительные сети** – системы накопления и распределения энергии.

Взаимодействие между различными источниками энергии:

Энергосистема является сложной сетью, в которой различные источники энергии взаимодействуют между собой. Основные аспекты взаимодействия:

- **ГЭС** способствуют стабилизации сети за счет регулируемой генерации энергии.
- **Солнечные и ветряные электростанции** добавляют переменную генерацию, требующую балансировки сети.
- **Гибридные системы (ГЭС + ВЭС + солнечные)** способствуют снижению колебаний выработки и обеспечивают устойчивость сети.

Влияние ГЭС на стабильность энергосистемы:

ГЭС играют ключевую роль в обеспечении надежности энергосистемы благодаря следующему:

- **Регулируемая генерация** позволяет ГЭС оперативно реагировать на изменения в потреблении и обеспечивать балансировку сети.
- **Водохранилища** позволяют аккумулировать избыток энергии в периоды низкого спроса и генерировать энергию в периоды пикового спроса.
- **Прогнозирование выработки ГЭС** помогает заранее планировать нагрузки и обеспечивать равномерное распределение энергии.

Прогнозирование выработки ГЭС и его значимость для энергосистемы

Среднесрочные и долгосрочные прогнозы выработки ГЭС на основе данных о гидрологических условиях и климатических факторах обеспечивают понимание возможных изменений в генерации энергии. Эти прогнозы помогают планировать ресурсы и корректировать модели управления энергосистемой для достижения оптимального баланса.

Влияние колебаний водных ресурсов и климатических условий:

Колебания уровня воды в водохранилищах и климатические изменения, такие как засухи или высокие уровни осадков, оказывают значительное влияние

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

на выработку электроэнергии ГЭС. Долгосрочные прогнозы учитывают эти факторы, улучшая надежность прогнозов.

Методы прогнозирования:

1. **Статистические модели** позволяют выявить долговременные тренды и корреляции в данных.
2. **Машинное обучение** и нейронные сети обеспечивают более точные прогнозы за счет анализа больших объемов данных и выявления сложных взаимосвязей.
3. **Физические модели** дают основу для прогноза выработки ГЭС, учитывая гидрологические условия и климатические факторы.

Эти подходы способствуют повышению точности и надежности прогнозов выработки ГЭС, что позволяет энергетическим компаниям эффективно управлять ресурсами и повышать устойчивость энергосистемы.

Влияние прогнозов ГЭС на планирование распределительных сетей

Прогнозы выработки ГЭС играют ключевую роль в оптимизации распределения энергии между регионами. Основная цель – минимизация потерь мощности и улучшение устойчивости сети.

Формула для расчета оптимальной мощности передачи энергии между регионами:

$$P_{trans}(t) = P_G(t) - P_{load}(t) - P_{loss}(t)$$

где:

- $P_{trans}(t)$ – оптимальная передаваемая мощность.
- $P_G(t)$ – прогнозируемая мощность ГЭС.
- $P_{load}(t)$ – прогнозируемая нагрузка.
- $P_{loss}(t)$ – потери мощности на линиях передачи.

Влияние ГЭС на резервирование мощности и балансировка нагрузки:

Прогнозирование выработки ГЭС позволяет учитывать потребность в резервной мощности для компенсации пиковых нагрузок. Формула для расчета резервной мощности:

$$R(t) = P_{max}(t) - P_G(t) - P_{loss}(t)$$

где:

- $R(t)$ – резервная мощность.
- $P_{max}(t)$ – максимальное потребление энергии.
- $P_G(t)$ – прогнозируемая выработка ГЭС.
- $P_{loss}(t)$ – потери мощности на линиях.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Эти методы и формулы позволяют улучшить планирование распределительных сетей и снизить энергетические потери за счет учета прогнозов выработки ГЭС.

Интеграция ГЭС с другими источниками энергии и роль гибридных систем

Гибридные системы, включающие ГЭС, солнечные и ветряные станции, способствуют увеличению стабильности и эффективности энергосистемы за счет балансировки выработки и снижения зависимости от переменной генерации.

Формула для расчета общей выработки в гибридной системе:

$$P_{total}(t) = P_G(t) + P_W(t) + P_S(t)$$

где:

- $P_G(t)$ – выработка ГЭС.
- $P_W(t)$ – выработка ветряных станций.
- $P_S(t)$ – выработка солнечных станций.

Применение гибридных систем:

Гибридные системы с ГЭС играют важную роль в повышении устойчивости и надежности энергосистемы. Они помогают сглаживать колебания выработки ветряных и солнечных станций, что снижает риски перегрузки сети.

Формула для расчета коэффициента интеграции:

$$\text{Integration Coefficient} = P_G(t) / P_{total}$$

где:

- Коэффициент интеграции показывает долю выработки ГЭС в общей генерации системы.

Технологические решения и автоматизация в прогнозировании ГЭС

SCADA-системы и мониторинг в реальном времени:

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системы используются для сбора, обработки и анализа данных в реальном времени. Эти системы обеспечивают мониторинг ключевых параметров работы ГЭС, таких как уровень воды, давление, скорость потока и другие гидрологические факторы.

Данные, собранные с SCADA-систем, служат основой для анализа и прогноза выработки электроэнергии.

Формула для оценки точности данных:

$$\text{Accuracy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{actual,i} - P_{pred,i})^2 \times 100\%$$

$P_{actual,i}$ — фактическая выработка ГЭС,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$P_{pred, i}$ — прогнозируемая выработка ГЭС,
 n — количество наблюдений.

Искусственный интеллект (ИИ) играет важную роль в улучшении точности прогнозов выработки ГЭС. Автоматизация процессов позволяет анализировать большие объемы данных, включая гидрологические, климатические и энергетические параметры.

Применение машинного обучения позволяет:

- Обнаруживать сложные паттерны и зависимости между факторами.
- Автоматически адаптировать прогнозы в зависимости от меняющихся условий.

Формулы для оценки ошибок моделей машинного обучения:

$$\text{Mean Absolute Error (MAE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{actual, i} - P_{pred, i}|$$

$$\text{Root Mean Square Error (RMSE)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{actual, i} - P_{pred, i})^2}$$

Применение глубоких нейронных сетей и машинного обучения для улучшения точности прогнозов:

Глубокие нейронные сети (ГНС) обеспечивают способность анализировать большие объемы сложных и структурированных данных. Машинное обучение использует подходы, такие как:

- **Рекуррентные нейронные сети (RNN) и LSTM** – эффективные методы для обработки временных рядов, характерных для выработки ГЭС.
- **Классификация и регрессия с использованием глубоких нейронных сетей** – позволяют улучшить точность прогнозов путем обучения на исторических данных.

Формула для оценки точности модели глубоких нейронных сетей:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{actual, i} - P_{actual})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{actual, i} - P_{pred, i})^2}$$

где:

P_{actual} — средняя фактическая выработка.

Пример графиков:

1. **Графики точности моделей прогнозирования** – сравнение ошибок машинного обучения, нейронных сетей и SCADA-систем.
2. **Графики зависимости гидрологических факторов и выработки ГЭС** – показывают связь между SCADA-данными, ИИ и точностью прогнозов.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Эти автоматизированные технологии способствуют значительному улучшению точности прогнозов выработки ГЭС, обеспечивая устойчивость энергосистемы.

Риски и неопределенности в прогнозировании выработки ГЭС

Влияние климатических изменений и непредсказуемости водных ресурсов:

Климатические изменения, такие как изменения осадков, температура и снежные покровы, оказывают существенное влияние на уровень воды в реках и водохранилищах. Это приводит к изменению доступных ресурсов и неопределенности в прогнозах выработки ГЭС.

Неожиданные колебания уровня воды могут приводить к недооценке или переоценке выработки электроэнергии.

Оценка влияния нестабильных факторов на работу ГЭС:

Нестабильность гидрологических и климатических условий приводит к увеличению неопределенности в прогнозах. Это создает риски, связанные с колебаниями уровня воды, что влияет на стабильность и надежность работы ГЭС.

Методы управления рисками и минимизации неопределенностей:

1. **Мониторинг гидрологических и климатических условий** – использование данных SCADA-систем для постоянного контроля уровня воды и других важных параметров.
2. **Управление запасами воды и гибридизация источников энергии** – накопление воды в резервуарах и интеграция с солнечными и ветровыми источниками для компенсации нестабильности.
3. **Машинное обучение и глубокие нейронные сети** – помогают адаптировать модели прогнозирования, учитывая изменяющиеся условия и минимизируя неопределенности.

Энергетическая политика и ее влияние на планирование распределительных сетей

Влияние регуляторных и политических мер на подходы к планированию ГЭС:

Регуляторные и политические меры, такие как стимулирование или ограничение выработки электроэнергии из ГЭС, существенно влияют на подходы к планированию и проектированию распределительных сетей.

Законы и нормативные акты могут поощрять внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что влияет на предпочтение гибридных систем и изменение потребностей в развитии ГЭС.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Поддержка возобновляемых источников энергии и снижение зависимости от ГЭС:

Рост поддержки ВИЭ, таких как солнечные и ветровые установки, приводит к снижению зависимости от ГЭС в планировании распределительных сетей.

Переход к распределенной генерации энергии требует модернизации сетевой инфраструктуры, чтобы справляться с изменяющимися источниками электроэнергии и повышенной интеграцией ВИЭ.

Эти изменения в энергетической политике требуют адаптации планов распределения сетей, чтобы поддерживать устойчивость и надежность энергосистемы в условиях снижающейся роли ГЭС.

Оценка эффективности и устойчивости энергосистемы

Оценка точности прогнозов выработки ГЭС:

Оценка точности прогнозов выработки ГЭС является ключевым показателем для повышения эффективности энергосистемы. Точные прогнозы позволяют лучше интегрировать ГЭС в общую сеть и избежать избыточных или дефицитных генераций.

Методы оценки точности:

- **Среднеквадратичная ошибка (RMSE)**
- **Коэффициент детерминации (R^2)**

Влияние прогнозов на снижение затрат и повышение надежности энергосистемы:

Точные прогнозы выработки ГЭС снижают операционные и инвестиционные риски, позволяя оптимизировать использование инфраструктуры. Это ведет к снижению затрат на генерацию электроэнергии и повышает надежность энергосистемы за счет уменьшения избыточной или недостаточной генерации.

Прогнозы также способствуют эффективному управлению водными ресурсами и резервами.

Анализ долгосрочных трендов и устойчивость системы:

Долгосрочные тренды, такие как изменения климата, рост поддержки ВИЭ и снижение роли ГЭС, требуют адаптации энергосистемы. Устойчивость системы в таких условиях зависит от гибкости в интеграции различных источников энергии и обновления сетевой инфраструктуры. Анализ трендов помогает выявить риски и определить стратегии для повышения устойчивости энергосистемы.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Эти подходы способствуют оценке общей эффективности и устойчивости энергосистемы, обеспечивая надежное планирование в условиях изменения факторов и требований.

Заключение

Энергосистема является сложной и динамичной сетью, и её эффективное функционирование требует учета множества факторов, включая климатические изменения, энергетическую политику и технические инновации. Прогнозирование выработки электроэнергии ГЭС, учитывающее риски и неопределенности, играет ключевую роль в повышении надежности и устойчивости энергосистемы.

Регуляторные и политические меры оказывают значительное влияние на подходы к планированию ГЭС, способствуя интеграции возобновляемых источников энергии и снижению зависимости от ГЭС. В свою очередь, использование современных технологий и методов прогнозирования позволяет снижать затраты и повышать точность предсказаний, что улучшает операционную эффективность энергосистемы.

Анализ долгосрочных трендов, таких как климатические изменения и поддержка ВИЭ, помогает выявить риски и определять стратегические направления для устойчивого развития. Устойчивость энергосистемы зависит от способности адаптироваться к новым условиям и интегрировать различные источники энергии, обеспечивая надежность в условиях повышающихся требований и неопределенностей.

Литература

1. Sachdev, Hira Singh, Ashok Kumar Akella, and Niranjana Kumar. "Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51 (2015): 1013-1022.
2. Kishore, T. S., Patro, E. R., Harish, V. S. K. V., & Haghghi, A. T. (2021). A Comprehensive Study on the Recent Progress and Trends in Development of Small Hydropower Projects. *Energies*, 14(10), 2882.
3. Asanov M.S. et al. Algorithm for calculation and selection of micro hydropower plant taking into account hydrological parameters of small watercourses mountain rivers of Central Asia // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2021. Vol 46, № 75. P. 37109-37119
4. Bayazit, Y., Bakış, R., & Koç, C. (2020). A study on transformation of multi-purpose dams into pumped storage hydroelectric power plants by using GIS model. *International Journal of Green Energy*, 1-11.

5. Ghulomzoda A. et al. Recloser-Based Decentralized Control of the Grid with Distributed Generation in the Lahsh District of the Rasht Grid in Tajikistan, Central Asia // Energies. 2020. Vol. 13, № 14. P. 3673.

Сведения об авторах

Раджабеков М.Х. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Давлатмамадов Н.Г. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

Рахимов Б.С. – магистрант 2-го курса группы 430101Б, Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПОТРЕБИТЕЛЯ С УЧЕТОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Хасанзода Н., Сафаров М.И., Юнусов С.Р.

ТТУ имени академика М.С. Осимӣ г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: Manu_1804@mail.ru

Актуальность исследований обусловлена необходимостью оптимизации режимов электропотребления с функцией двустороннего потока энергии, как от энергосистемы, так и от своих источников распределенной генерации. Разработана оптимальная система электропотребления при разных ценовых показателях от всех возможных источников генерации. Предложена математическая модель оптимального электропотребления потребителем в виде системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Модель предусматривает некоторый набор правил оптимального балансирования режимов сети с учетом возможности аккумулирования энергии.

Ключевые слова: Электропотребление, ветроэлектрическая станция, солнечная электростанция, аккумулирование энергии, оптимизационная модель, приоритетность правил.

ANALYSIS OF THE CONSUMER'S ENERGY BALANCE TAKING INTO ACCOUNT RENEWABLE ENERGY SOURCES

The relevance of the research is due to the need to optimize power consumption modes with a two-way energy flow function, both from the power system and from their own sources of distributed generation. An optimal system of power consumption at different price points from all possible generation sources. A mathematical model of optimal power consumption by a consumer in the form of a system of linear algebraic equations (SLAE). The model provides a set of rules for optimal balancing of network modes, taking into account the possibility of energy storage.

Keywords: Electricity consumption, wind power plant, solar power plant, energy storage, optimization model, rule prioritization.

Введение

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

После того как объединённая электроэнергетическая система Средней Азии разделилась на отдельные энергосистемы, в Республике Таджикистан (РТ) из-за доминирующей доли гидроресурсов в зимний период нарушается

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

энергобаланс в системе по причине нехватки первичного ресурса, приводящей к снижению генерируемой мощности с одновременным повышением спроса на электроэнергию. Наиболее остро проблема нехватки генерируемой мощности наблюдается в локальных электроэнергетических системах удалённых населённых пунктов, где в зимний период русла малых рек замерзают до 80%.

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

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

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

Ветровые и солнечные ресурсы Мургабского района

Для различных участков рассматриваемой территории скорость ветра может отличаться. Мургабский район в данном случае также не является исключением.

Метеорологические данные о скорости ветра Мургабского района (Рисунок 1) доказывают целесообразность строительства ветровой электростанции (ВЭС) мощностью до 500 кВт

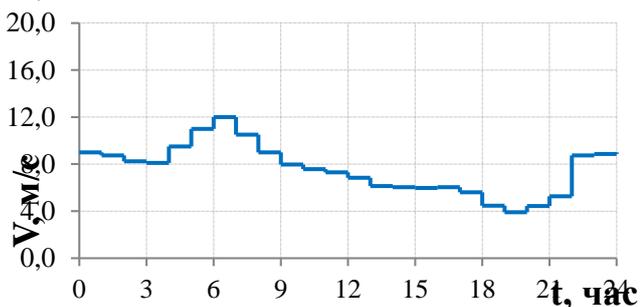


Рисунок 1. – Среднесуточные графики скорости ветра

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Мощность ВЭУ имеет непосредственную зависимость от скорости ветра, который изменчив во времени и зависит от климатических показателей. Ее с учетом омываемой площади установки A (м^2) можно рассчитать так [1-4]

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

где ρ – плотность воздушного потока ($\text{кг}/\text{м}^3$), которая также зависит от температуры и давления воздуха; A – омываемая лопастями, площадь; V – скорость ветра; C_p – коэффициент, описывает КПД ветряной турбины.

Определяют омываемую поверхность лопаток

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

где R – радиус колеса ветряной электростанции, м.

Выражение (1) соответствует кубическому закону, которое описывает зависимость мощности энергоустановки от скорости истечения ветра.

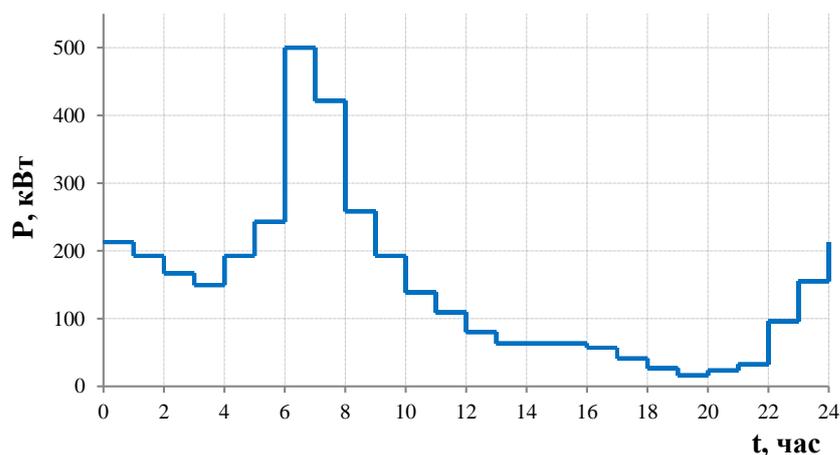


Рисунок 2. – Суточный график выдачи мощности ВЭС

Солнечная энергетика. Одним из самых распространенных источников возобновляемой энергии является Солнце, в том числе и в Республике Таджикистан. Среди стран Центральной Азии Таджикистан считается одним из лидеров по потенциалу солнечной энергии [5].

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

На территориях Мургабского района согласно оценкам местных экспертов [4] интенсивность прямой солнечной радиации составляет 10,3 кВт-ч/м² в летний период (июнь-июль) и 5,9 кВт ч/м² в зимний период (декабрь-январь).

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

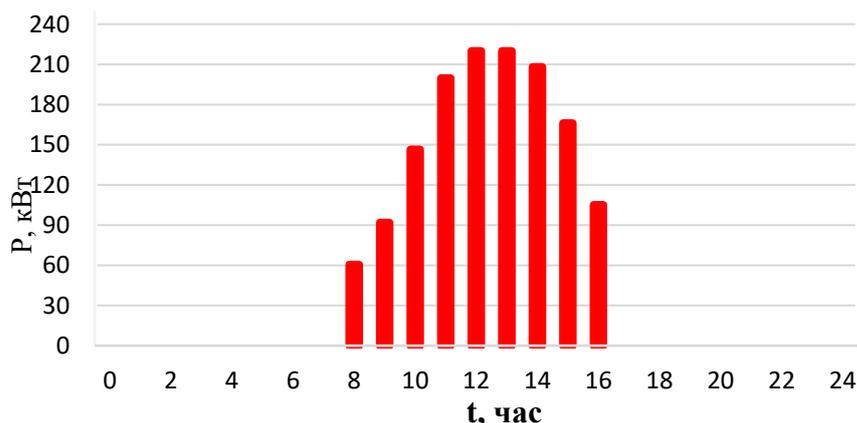


Рисунок 3. – Среднесуточные графики выдачи мощности СЭС

Согласно графику 2 повышенный спрос электроэнергии в утренние часы совпадает с максимальной скоростью ветра, что также предшествует применению ветроустановки в утренние часы. Солнцестояние у нас в республике составляет от 8 до 16 ч, а это соответствует продолжительности электрической нагрузки в течение рабочего дня. Общая мощность солнечных станций 220 кВт с КПД 20,65%.

Для зимнего периода выработка мощности ГЭС, суточный график нагрузки, вырабатываемая мощность на ВЭС и СЭС представлены на рисунке 4. Исходная мощность накопителя принята 10 кВт.

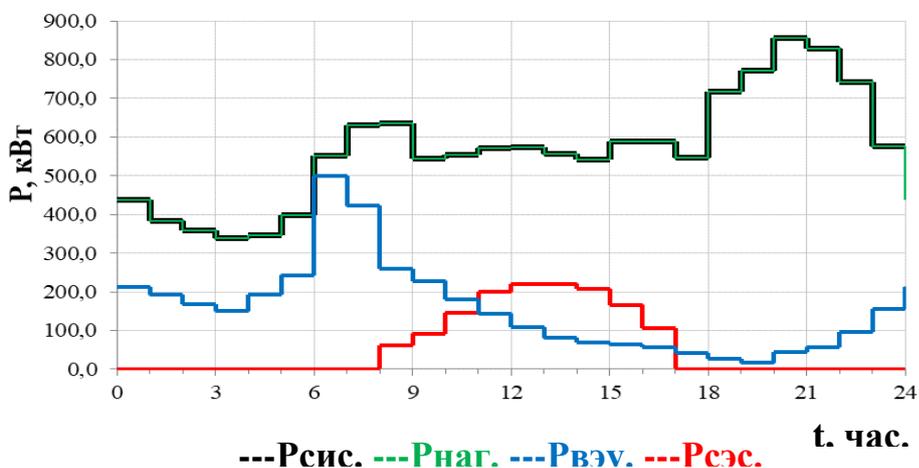


Рисунок 4. – Исходные данные энергетического баланса для типичного зимнего дня

Математическая модель энергетического баланса потребителя

Баланс мощностей для рассматриваемой системы определяется в виде

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

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

где $P_{СИС}$ – мощность, полученная от внешнего источника; $P_{ВЭУ}$ – максимальная мощность от ветряков; $P_{СЭС}$ – максимальная мощность от СЭС; $P_{Акк.}$ – максимальная мощность аккумуляторной батареи; $P_{П}$ – потребляемая мощность; $\sum \Delta P$ – общая потеря активной мощности в сети, расходы и СН.

Примером могут служить режимы электропотребления Мургаба, для чего примем: $P_{П_i}$ – потребление электроэнергии потребителями Мургаба; $P_{СИС}$ – мощность передачи от энергосистемы; $P_{\max}^{ВЭУ_i}$ – максимально возможная генерируемая мощность ветровой электростанции, где $0 \leq P_{\text{ном}}^{ВЭУ} \leq P_{\max}^{ВЭУ}$, $P_{\max}^{СЭС_i}$ – максимально возможная генерируемая мощность солнечной электростанции, где $0 \leq P_{\text{ном}}^{СЭС} \leq P_{\max}^{СЭС}$, $P_{\max}^{Акк_i}$ – максимально передаваемая мощность аккумулятора, где $0 \leq P_{\text{ном}}^{Акк.} \leq P_{\max}^{Акк.}$.

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

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

где m_i – стоимость потребленной электроэнергии;

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

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

Матрица цен записывается в следующем виде

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

В данной матрице диагональные элементы представляют цены на электроэнергию для каждого из отдельных источников, а недиагональные элементы представляют собой среднее значение цен на электроэнергию со всех источников. Нормирование потребления электрической энергии матрицы цен приобретает диагональный вид

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

где c_{11} – цена электроэнергии за 1 кВт-час из ЭЭС; c_{22} – цена электроэнергии за 1 кВт/час от ветровой электростанции; c_{33} – цена электроэнергии за 1 кВт/час от солнечной электростанции; c_{44} – цена электроэнергии за 1 кВт/час от аккумуляирования энергии.

Понижение расходов для потребителя осуществляется решением нижеследующего уравнения

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

где C – ценовая матрица потенциальных источников генерации электроэнергии; P – вектор потребляемой мощности, состоит из $(P_{СИС}, P_{ВЭУ}, P_{СЭС}, P_{Акк})^T$ элементы; M – общее потребление электроэнергии $M = \sum_{i=1}^4 m_i$; $t = 1$ ч.

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

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

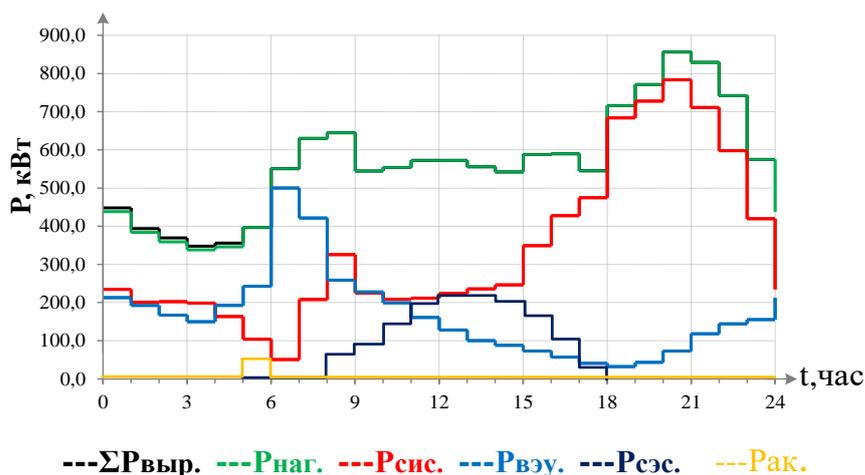


Рисунок 5. – График результатов решения задачи оптимизации электропотребления потребителей

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

Заключение

Доказано что Таджикистан имеет большой потенциал возобновляемых энергоисточников. Гидроэнергия является достаточно изученной и распространённой и применяется очень давно. На территории республики располагаются огромные запасы гидроэнергетики, что составляют почти половину гидроэнергетической запасов Средней Азии. В данное время в промышленности страны используется потенциал ветровой и солнечной энергии.

Разработана математическая модель оптимального электропотребления потребителем, а именно району Мургаба с учетом выработки электроэнергии от ВЭИ, СЭС и аккумуляторов. Разработаны и предложены алгоритмы для оптимизации режимов энергопотребления как от отдельно вырабатывающих источников энергии, так и их совокупности. По компьютерному программированию данных алгоритмов было получено свидетельство о государственной регистрации программ для электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

ЛИТЕРАТУРА

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

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2. Хасанзода, Н. Нечеткие модели для управления и оценки мощности ветроэнергетических установок / Н. Хасанзода // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – 2022. – №3 (59). – С. 6-10.

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

4. Кобулиев, З.В. Оптимальное управление генерирующим потребителем с использованием базы логических правил и алгоритмов речевого интеллекта /З.В. Кобулиев, Н. Хасанзода, М.И. Сафаров, А.С. Зиёев, А.Р. Зокиров // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – 2019. №3(47). – С. 20-31.

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

Сведения об авторах

1. **Хасанзода Насрулло** – к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими

2. **Сафаров Манучехр Исупович** – к.т.н., старший преподаватель кафедры «АЭП и ЭМ» ТТУ имени академика М.С. Осими

3. **Юнусов Сайидо Раджабалиевич** магистрант 2-го курса группы 430101Б кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЕТРОВОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ УТОЧНЕННОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Хасанзода Н., Сафаров М.И.

ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе

[E-mail:Manu_1804@mail.ru](mailto:Manu_1804@mail.ru)

***Аннотация** – Работа посвящена исследованию статистических законов распределения скорости ветрового потока для оценки мощности альтернативных источников энергии региона Тихоокеанского побережья России. Показано, что эмпирические функции распределения и подбираются законы распределения с помощью компьютерной программы по статистическому анализу. Доказано, что наиболее точно законы идентифицируются, как частные случаи бета-распределения и их композиции. Такое исследование позволяет уточнить математическое ожидание скорости ветра и, следовательно, более точно определить установленную мощность ветроустановки.*

***Ключевые слова:** ветроэнергетика, статистическое распределение скорости ветра, бета-распределение, гамма-распределения.*

ENERGY POTENTIAL OF WIND FLOW BASED ON THE REFINED LAW OF WIND SPEED DISTRIBUTION

***Abstract** – The work is devoted to the study of statistical laws of wind flow speed distribution for estimating the capacity of alternative energy sources in the Pacific coast of Russia. It is shown that empirical distribution functions and distribution laws are selected using a computer program for statistical analysis. It is proven that the laws are most accurately identified as special cases of beta distribution and their composition. Such a study allows us to clarify the mathematical expectation of wind speed and, therefore, more accurately determine the installed capacity of a wind turbine.*

***Keywords:** wind energy, statistical distribution of wind speed, beta distribution, gamma distribution.*

ВВЕДЕНИЕ

Растущие цены на ископаемое топливо ускоряют процесс перехода на возобновляемые источники энергии. Среди разнообразия таких источников, в настоящее время, пользуется довольно большим спросом ветровая энергия, как один из наиболее эффективных и чистых источников энергии. Одним из важных параметров ветра является его скорость. Скорость ветра является

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

случайной величиной, поэтому необходимо использовать статистические методы для её оценки. Из этого следует, что вероятность распределения скорости ветра можно оценить с использованием статистических распределений вероятностей. Точное определение статистического распределения скорости ветра очень важно при оценке энергетического потенциала конкретной местности. Эта информация необходима для разработчиков ветроэнергетических установок (ВЭУ), позволяя минимизировать затраты на производство ВЭУ, а инвесторам более точно оценить их доходов от производства электроэнергии.

Известно, что для расчета средней мощности, необходимо знать распределение скорости ветра. При измерении скорости ветра в течение года, можно заметить, что в большинстве районов мира сильные штормовые ветра редки, в то время как умеренные и свежие ветра довольно распространены. В свою очередь статистическое распределение скорости ветра всегда варьируется от места на земном шаре, в зависимости от климатических условий и поверхности ландшафта.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Распределение Вейбулла. Закон распределения Вейбулла является одним из самых популярных и надежных законов распределения, используемых при анализе энергии ветра. Впервые он был предложен В. Вейбуллом для изучения напряжения и усталости в прочности материала [1]. С тех пор он широко используется в ветроэнергетике уже более полувека, потому что этот закон точно описывает распределение ветра в любом месте.

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

Функция плотности распределения вероятности Вейбулла описывается как

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

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

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аналогично, интегральная функция распределения Вейбулла может быть определена как

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

Параметры формы и масштаба Вейбулла являются наиболее важными для расчета, поскольку один из них влияет на математическое ожидание скорости ветра, а другой определяет, насколько искажена кривая распределения. Более высокое значение c указывает на широкий размах распределения ветра, а большое k означает скошенное вправо распределение, что указывает на высокую вероятность более высоких скоростей ветра.

Единственный главный недостаток распределения Вейбулла состоит в том, что он обеспечивает плохое представление распределения скорости ветра на площадке с очень низкими скоростями ветра [2]. Частный случай распределения Вейбулла, известный как распределение Рэля с параметром формы k , равным 2, часто рекомендуется и используется производителями ветряных турбин для стандартных показателей производительности.

Гамма распределение. Гамма-распределение является еще одним сильным кандидатом, который широко используется для анализа скорости ветра, особенно для распределения низких скоростей ветра, а также анализа солнечной радиации. Функция плотности гамма-распределения выражается следующим образом [3]

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

Интегральная функция распределения выражается как [5]

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

где α - параметр формы, β – масштабный коэффициент, а $\Gamma(\alpha)$ - гамма-функция Эйлера.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Изменение скорости ветра для Дальневосточного региона обычно описывается с помощью распределения Вейбулла, о чём были написаны много работ. Несмотря на продолжительное исследование других распределений, например, таких как бета- и гамма-распределения, Вейбулла является наиболее востребованной моделью. При анализе информации от скорости ветра задача заключается в том, как спроектировать электросеть таким образом, чтобы предложенная комбинация нескольких разных источников энергии была достаточной для поддержания надежности электроснабжения.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Пусть V – случайная величина, которая описывает скорость ветра (м/с) на определенной местности. Тогда функция плотности будет выглядеть следующим образом:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}, \quad k > 0, V > 0, c > 0, \quad (5)$$

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

Каждый из этих параметров в результате расчета определяет характеристику статистического распределения. Параметр формы в формуле показывает степень искаженности кривой распределения, а параметр масштаба влияет на математическое ожидание скорости ветра.

Как уже отмечалось, для расчёта энергетического потенциала ветра обычно используется функция плотности вероятности Вейбулла. Однако, довольно часто такой подход приводит к неправильному прогнозу произведенной энергии, в результате чего это может привести к дополнительным затратам. В ряде зарубежных статей уже отмечалось, что использование только распределения Вейбулла приводит к некоторым проблемам. Например, на ветроэлектростанции Chungtun, расположенной на небольшом острове в Тайване, большее полезной оказалась биномиальная смесь распределений Вейбулла [4]. Также имеются статьи, в которых использовались смесь функций усеченного нормального и Вейбулла распределений, смесь функций гамма и Вейбулла распределений и смесь усеченных нормальных законов распределений [5].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Семейство бета-распределений. В настоящее время в статистике ведутся активные исследования по обобщению уже существующих классических распределений, с помощью добавления дополнительных параметров. В конечном итоге, полученное новое распределение обладает большей гибкостью при анализе эмпирических данных, чем исходное распределение. Одни из таких разработок представлены в обобщении бета-распределении [6]. Полученные новые распределения вместе с классическим образуют семейство бета-распределений следующего вида:

$$F(x) = \frac{B(g(x, \delta), \alpha, \beta)}{B(\alpha, \beta)}, \quad (6)$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

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

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

Из этих трех распределений самым обобщенным является бета-распределение III рода.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \vee x \geq 1; \\ \frac{\delta^\alpha}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}(1+(\delta-1)x)^{-(\alpha+\beta)}, & 0 < x < 1. \end{cases} \quad (7)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Статистическая обработка ретроспективных временных рядов скорости ветрового потока с измерением на высоте 10 метров позволило, по указанным выше критериям, определить уровни значимости для ряда предполагаемых законов распределения скорости ветра. Наиболее высокие уровни значимости по всем выбранным критериям (хи-квадрат, Колмогорова и омега-малое квадрат Мизеса) для бета-распределения III рода равны $p_{\chi^2} = 0,858, p_k = 0,885, p_{n\omega^2} = 0,716$. Для распределения Вейбулла уровни значимости составили соответственно $p_{\chi^2} = 0,502, p_k = 0,911, p_{n\omega^2} = 0,69$. Таким образом наиболее высокий уровень значимости в целом для скорости ветра имеет закон бета-распределения III рода. На рисунке 1 представлены функции распределения и плотности. Второй по приоритету уровня значимости закон Вейбулла представлен на рисунке 2.

Таблица 1 Паспортные данные ВЭУ марки Vestas V80-2.0

Номинальная мощность	2 МВт
Ометаемая площадь	5027 м ²
Стартовая скорость ветра	4 м/с
Номинальная скорость ветра	16 м/с
Высота мачты	100 м

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Полученные результаты позволяют определить мощность единичной ветроустановки, из которых потом может быть организован ветропарк. Выбрана ВЭУ фирмы Vestas марка V80-2.0, энергетическая характеристика которой по данным производителя приведена на рисунке 3.

Продольная ось ветроустановки находится на высоте 100 метров. Пересчитаем математически ожидаемые скорости ветра на высоте 100 метров по выражению:

$$V(h_1) = V(h_2) \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^m, \quad (8)$$

где $V(h_1)$ – скорость ветра на высоте h_1 и $V(h_2)$ – известная скорость ветра на высоте h_2 , m – эмпирически выведенный коэффициент, который изменяется в зависимости от стабильности атмосферы, примем его равным 0,2.

$$V_b(100) = 4,296 \cdot \left(\frac{100}{10}\right)^{0,2} = 6,809 \frac{\text{М}}{\text{с}},$$

$$V_w(100) = 4,469 \cdot \left(\frac{100}{10}\right)^{0,2} = 7,083 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

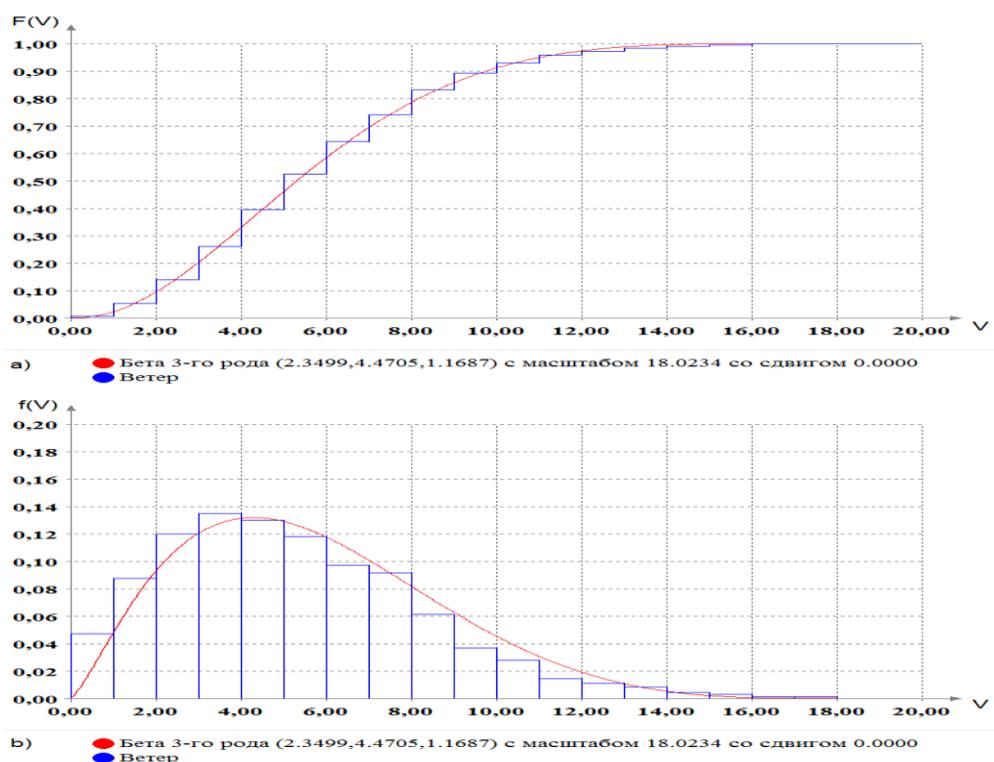


Рис. 1. Статистический закон бета-распределения III рода

а) функция распределения, б) функция плотности

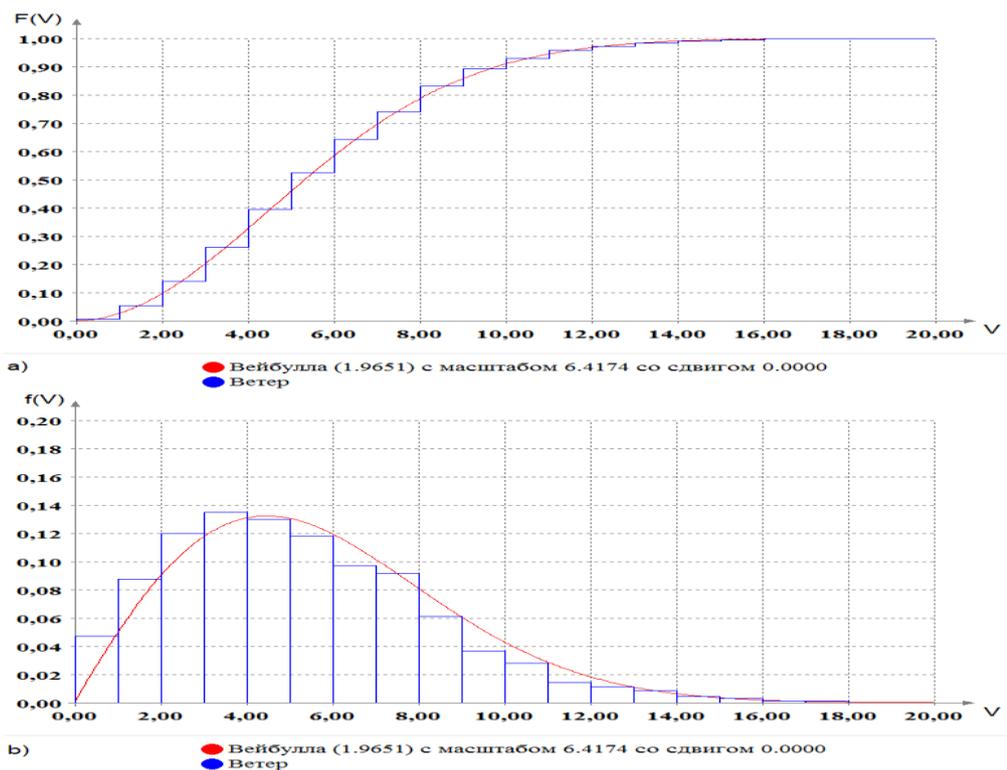


Рис. 2. Статистический закон распределения Вейбулла

а) функция распределения, б) функция плотности

Далее переходим к определению вырабатываемой мощности ВЭУ по формуле [7, 8]:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3, \quad (9)$$

где ρ – плотность воздуха, C_p – коэффициент мощности, A – ометаемая площадь.

В этом случае для двух выбранных законов распределения получим математические ожидания вырабатываемой мощности, которые равны 0,38 МВт и 0,42 МВт. Видно, если выбрана гипотеза закона распределения по Вейбуллу, то математическое ожидание мощности несколько выше, чем при бета-распределении III рода.

На основании полученных результатов можно определить вероятность ДПМ с максимальной вероятностью. Из рисунка 3 можно заключить, что с учетом разворота турбины при скорости ветра 3,5 м/с на высоте 100 метров с вероятностью 0,88 гарантирована поставка мощности примерно 52 кВт. Это свидетельствует о том, что для повышения вероятности выработки гарантированной мощности необходимо дополнительный источник мощности, который может служить либо дизельный генератор, либо накопитель энергии.



Рис. 3. Функция надежности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенное исследование позволяет утверждать, что с наибольшими уровнями значимости распределение скорости ветрового потока принадлежит либо закону бета-распределения III рода, либо закону Вейбулла, который в большинстве случаев принимается к рассмотрению.

2. Энергетический потенциал ветра в прибрежной зоне Тихого океана России является достаточно большим, но не используется в должной мере

3. Целесообразное строительство ветропарка может опираться на ветроэнергетические установки мощностью 2 МВт фирмы Vestas. Для поставки гарантированной мощности ветропарк должен обязательно сопровождаться установкой накопительной энергией мощностью 12 % от мощности ветропарка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weibull W. A statistical distribution function of wide applicability // J. Appl. Mech. 1951. Vol. 18. – pp. 293-297.

2. Persaud S., Flynn D., Fox B. Potential for wind generation on the Guyana coastlands // Renew. Energy. 1999. Vol. 18(2). – pp. 175-189.

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

4. Liu F.J., Ko H.H., Kuo S.S., Liang Y.H., & Chang T.P. (2014). Study on wind characteristics using bimodal mixture Weibull distribution for three wind sites in Taiwan / Journal of Applied Science and Engineering, 2014, pp. 283–292.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

5. Кобулиев З.В., Хасанзода Н., Сафаров М.И., Зиёев А.С., Зокиров А.Р. Оптимальное управление генерирующим потребителем с использованием базы логических правил и алгоритмов роевого интеллекта // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – 2019. №3(47). – С. 20-31.

6. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Постовалов С.Н., Чимитова Е.В. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография – Новосибирск: Изд-во НГТУ, – 2011. – 888 с.

7. Манусов В.З., Хасанзода Н. Оценка мощности ветроэнергетических установок на основе нечеткой модели ветрового потока и его вероятностных характеристик / Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2019. – № 1 (42). – С. 73–82.

8. Хасанзода Н., Сафаров М.И. Система оптимального электропотребления при интеграции в неё возобновляемых источников энергии // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – 2024. – №1. 50–57 С.

Сведения об авторах

1. Хасанзода Насрулло – к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ТТУ имени академика М.С. Осими

2. Сафаров Манучехр Исуфович – к.т.н., старший преподаватель кафедры «АЭП и ЭМ» ТТУ имени академика М.С. Осими

МОДЕЛИ СТОХАСТИКИ ПЕШГУИИ ИСТЕҲСОЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ АЗ ПАНЕЛИ ОФТОБӢ

Қирғизов А.Қ

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими

E-mail: alifbek@mail.ru

Аннотатсия: Табдилдиҳии энергияи офтоб ба қувваи электрикӣ яке аз самтҳои ҳалли проблемаҳои энергетика, экология ва иқтисодиёт ба шумор меравад. Табдилдиҳии энергия дар яке аз шаклҳои муфид ва тоза ин истифодаи энергияи офтоб мебошад. Чи тавре, ки ба мо маълум аст таъсири энергияи офтоб дар болои замин аз якҷандто далелҳо вобаста аст. Дар мақола якҷандто далелҳои пешгуи истеҳсоли электроэнергия бо истифода аз панелҳои офтобӣ маълумот оварда шудааст. Методикае барои пешгуи истифода шудааст ин усули стохастикӣ (ноҳаёӣ) мебошад, ки аз усулҳои пештараи дитермистикӣ ба мо имконият медиҳад, ки тағирёбии ногоҳонии радиатсияи офтоб дар мурури вақтро ва тағирёбии бори истеҳмолкунандагонро низ ба назар мегирад. Инчунин усулҳои пешниҳодишуда имконият медиҳад, рӯи ҳароратии панелҳои офтоби ва таъсири он ба коэффисиенти кори фойданоки онро низ муайян кунад.

Калидвожаҳо; модели стохастикӣ, энергияи офтобӣ, панелҳои офтобӣ, радиатсия.

STOCHASTIC MODEL FORECASTING ELECTRICITY PRODUCTION FROM SOLAR PANEL

Abstract: A new concept of forecasting electrical energy produced from solar radiation was proposed in this article. The concept is based on a stochastic model for forecasting solar energy. It differs from the known deterministic model in that it takes into account random deviations (fluctuations) of solar radiation at various time intervals from annual to daily. The proposed stochastic model is more general and universal case forecasting solar electric power which responding to a higher level of real physical process. The model also takes into account the temperature condition of the solar panel and was presented an estimate of their efficiency factor.

Keywords: Stochastic model, photovoltaic panels, solar power.

МУҚАДДИМА

Тарақиёти иқтисодиёти давлатҳои рубатаракӣ ва баланд бардоштани некуаҳолии аҳолии онҳо талаботро бо истифодаи электроэнергия меофзояд. Чи хеле, ки маълум аст захираи сузишвории истихрочшуда сол аз сол кам шуда

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

истодааст ва ҳар давлат сузивории истихроҷкунандаи худди ро надоранд. Инчунин проблемаҳои экологӣ маҷбур месозад, ки бисёртар таваҷҷуҳ ба манбаҳои барқароршавандаи энергия (гидроэнергия, энергияи офтоб ва шамол) дода шавад. Ба замми ин, инчунин консепсияи кам кардаи партофти газҳои гулхонаи қабул карда шудааст, маҷбур месозад, ки истифодаи манбаҳои энергияи анъанавиро камтар кунанд ва таваҷҷуҳ ба энергияи сабзро зиёдтар намоянд.

Қайд кардан зарур аст, ки байни манбаҳои барқароршавандаи энергия, истифодаи энергияи офтоб нисбатан муфидтар мебошад, ки барои истеҳсоли энергияи электрикӣ ва гармӣ нисбатан қулай аст ва дар тамоми минтақа дастрас ва бепул мебошад. Қабул карда шудааст, ки энергияи офтоб дар Замин 10000 бор аз энергияи лозима барои аҳоли зиёдтар аст.

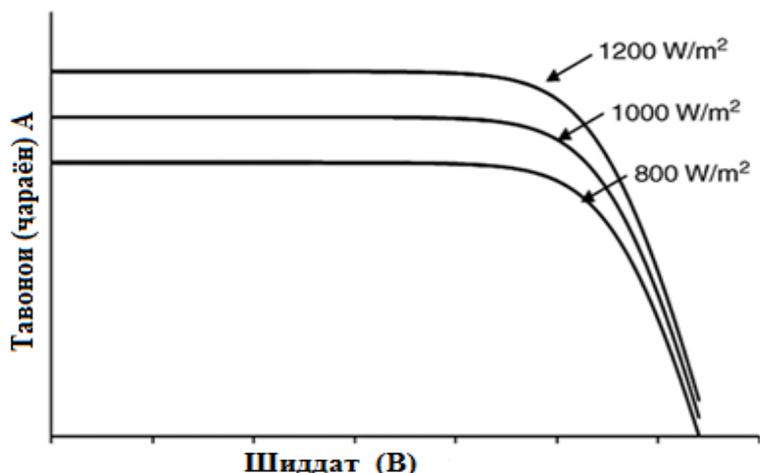
Табдилдиандаҳои энергияи офтобӣ рузона ва инчунин субӯш ва шом, ки муфидии камтар дорад кор мекунанд. Чи хеле, ки маълум аст қуллаи баландтари истифодаи энергияи электрикӣ дар дар вақти шом ба назар мерасад. Инчунин рузона низ аз ҳисоби тағйирёбии боду ҳаво метавонад каму зиёд шавад. Барои бартараф кардани ин камбудӣҳо дар якҷоягӣ бо панели офтобӣ батареяи аккумуляторӣ низ истифода кардан зарур аст. Дар шароити ҳозиразамон ин мушкилӣҳо бо сохтани системаи энергетикӣ ягона, ки ҳамаи намудҳои манбаҳоро якҷоя мекунад бартараф кардан мумкин аст. Ҳозир бошад нархи панелҳои офтобӣ хело гарон аст, ва бо мурури вақт ва тарақиёти соҳаи технологияи истеҳсоли панелҳо ва боло рафтани нархи сузишвории истихроҷшуда ин камбуди бартараф шуда истодааст. Коэффисиенти кори фойданоки панелҳои офтобӣ аз ҳисоби баланд шудани ҳарорати кории онҳо кам мешавад ва барои дар ҳолати нормалӣ нигоҳ доштани кори панелҳо бояд системаи хунуккунии онҳо асосан бо истифодаи об ба роҳ монда шавад.

Панелҳои офтобӣ тавсифи ғайри хатти доранд ва тавоноии онҳо аз руи моделҳои эҳтимолинокӣ, ки аз радиатсияи офтоб ва ҳарорати муҳити атроф ва дигар омилҳо вобастагӣ дорад. Дар вақти иҷроиши масъалаи муайян кардани тавоноии панелҳо омилҳои детермикӣ ва стохастикӣ истифода мешаванд.

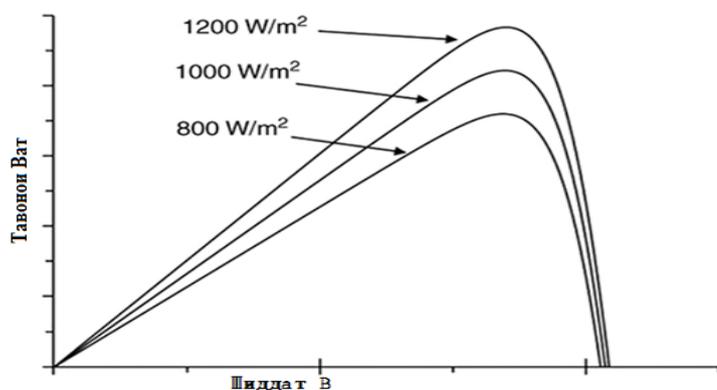
МОДЕЛИ МАТЕМАТИКӢ

Тавоноии баромади панелҳои офтобӣ, ки аз тарафи корхонаҳои истеҳсолкунанда дар вақти доими будани омилҳои таъсирунада гирифта мешавад.

Дар расми 1 ва 2 тавсифи вобастагии чараён аз шиддат, тавоноии аз шиддат дар вақти доими будани радатсияи офтоб ва ҳарорат оварда шудаанд.

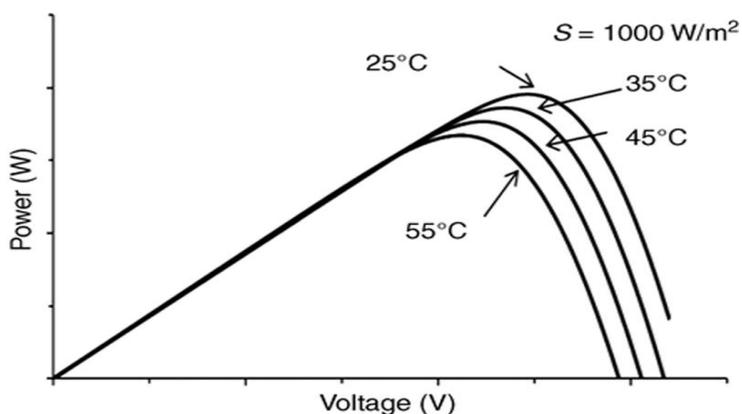


Расми 1. Қаҷхаттаи вобастагии I аз V дар вақти доими будани радиатсияи офтоб



Расми 2. Қаҷхаттаи вобастагии P аз V дар вақти доими будани радиатсияи офтоб

Дар расми 3 бошад қаҷхаттаи вобастагии P аз V дар вақти доими будани радиатсияи офтоб ва тағйирёбии ҳарорат нишон дода шудааст. Чи хеле, ки аз қаҷхатта маълум мешавад аз ҳисоби баландшавии ҳарорат тавоноии панели офтобӣ кам мешавад.



Расми 3. Вобастагии P аз V дар вақти ҳархела будани ҳарорати обу ҳаво

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аз баски радатсияи офтоб хусусияти эҳтимодӣ доранд тавоноии панелҳо низ ба ин қонун итоҳат мекунад. Модели эҳтимоди барои муайян кардани тавоноии панелҳои офтобӣ аз ҳисоби радиатсияи офтоб пешниҳод карда мешавад. Модели аз ҳама содда барои муайян кардани тавоноии панели офтобӣ ин модели детерминистӣ мебошад, ки фақат як омиро ба назар мегирад. Тавоноии додашудаи панели офтобӣ на танҳо аз шадидияти радиатсияи офтоб иҷунин аз номаълуми ба намуди ҳарорат вобаста аст. Аз руи ин модели детерминисти аз руи формулаи зерин муайян карда шавад:

$$P_{det.СЭС} = (1 - \alpha\eta_{СЭС})P_{устСЭС}, \quad (1)$$

$$\alpha = \alpha_{ref} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right), \quad (2)$$

Дар ин ҷо : α – зарибӣ идеалият;

α_{ref} – зариби ҳароратӣ;

$\eta_{СЭС}$ – зариби кори фойданок;

$P_{устСЭС}$ – тавоноии додашудаи панели офтобӣ;

T – ҳарорати додашуда;

T_{ref} – ҳарорати истиноди барои шароити стандартӣ (25^0 С);

Зариби ҳарорати барои муқовимати хос баробар аст:

$$\alpha_{ref} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$$

Ин нишондод вобастагии байни муқовимати электрикии табдилдиҳандаи энергияи офтоб ва ҳарорат мебошад. Барои бисёртари металлҳо зариби ҳарорати α_{ref} дар фосилаи аз 0 до 20^0 С гирифта мешавад. Барои металлҳои тоза зариби ҳароратӣ бисёртари вақт баробар аст ба

$$\alpha_{ref} \approx \frac{1}{273} \approx K^{-1},$$

он гоҳ,

$$\eta_{СЭС} = \eta_0 (1 - 0,0045 \cdot (T_{панел} - 25)), \quad (3)$$

дар ин ҷо, $\eta_{СЭС}$ — ККФ панели офтобӣ, %;

η_0 — ккф панели офтоби дар ҳарорати 25^0 С, %;

$T_{панел}$ — ҳарораи қисми болоии панели офтобӣ, 0 С.

Азбаски ККФ и панелҳои офтобӣ аз нишондодҳои шадидияти радиатсия ва ҳарорати қорӣ вобаста аст, он гоҳ барои ҳисоби дурусти электроэнергия, ки панели офтоби истехсол мекунад дар шароити воқеии заминии радиатсияи тағйирёбандаи офтобӣ аз ҳисоби абрҳо ва вақтҳои гуногуни рӯз, иҷунин ҳарорати тағйирёбандаи муҳити зист, пас тағйирёбии ККФ бояд ба назар гирифта шавад. Бо ҳамин шарт ҳароратӣ қисми болоии панел чунин ёфта мешавад:

$$T_{панел} = T_{возд} + E_i/800 (T_{п.экс} - 20^0\text{С}), \quad (4)$$

дар ин ҷо $T_{панел}$ – ҳарорати қисми болоии панели офтобӣ, 0 С;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$T_{\text{возд}}$ – ҳарорати муҳи аторф дар нақтаи ҳисобӣ, °C;

E_i – бузургии радиатсияи офтоб;

$T_{\text{п.экс}}$ – ҳарорати сатҳи панели офтобӣ барои як рӯзи офтобии мушахас дар моҳ, ҳангоми қор.

Дар ҳақиқат модели детерминистии пешниҳодшуда, талафи тавоноии фаъол дар муқовимати дастгоҳи табдилдиҳандаи энергияи офтоборо ба назар намегирад.

Агар фарз кунем, ки панели офтобӣ фақат тавоноии фаъолоро истехсол менамояд, ки ба ҳақиқат наздик аст он гоҳ тавоноии фаъоли истехмолкунанда P баробар аст:

$$P = U \cdot I,$$

Дар ин ҷо : U – шиддати манбаъ, В;

I – ҷараёни истехмолкунанда, А.

Азбаски шиддати манбаъ доими нигоҳ дошта мешавад $U = const$, он гоҳ тағйирёбии тавоноии истехмолкунандагон аз нишондоди номиналӣ, масалан дар фосилаи шабанаруз ба тағйирёбии ҷараён оварда мерасонад. Тавоноии панели офтобӣ аз якҷандто омиҳо вобаста аст ва барои якҷоя дидани онҳо модели стохастикӣ истифода мешавад. Моделҳои стохастики дар асоси методҳои эҳтимоднокии пешгуи иҷро мешаванд ва барои пешгуи ба даст овардани энергия аз МБҒЭ хеле муфид мебошанд. Эҳтимоли дурусти ҳисоби тавоноии дастгоҳҳои МБҒЭ аз ҳаҷми нишондодҳои воридшуда барои пешгуи вобаста аст.

Мо метавонем тахминан тағйирёбии тавоноии истехмолкунандагонро дар фосилаи вақт ва алалхусус ҷараён ба қонуни нормалии тақсимшавии эҳтимолият шабоҳат диҳем.

Фарз кардан мумкин аст, ки тағйирёбии тасодуфии тавоноии истехмолкунандаи барқ дар фосилаи вақт ва аз ин рӯ, ва ҷараёни ҷорӣ ба қонуни муқаррарии тақсимоли эҳтимолият итоат мекунанд, ин махсусан дар речаҳои истехмоли ҳадди қуллавӣ мувофиқ аст. Он гоҳ зарби кори фоиданоки панели офтобӣ аз руи модели дақиқи стохастики аз руи формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$P_{sto.СЭС} = \left(1 - \alpha \cdot \left(1 - \frac{\Delta P_{Det\Sigma}}{P} \right) \right) P_{устСЭС}, \quad (5)$$

дар ин ҷо : $\Delta P_{Det\Sigma}$ – талафи суммавии тавоноии фаъол дар муқовимати электрикии панели офтобӣ (талафи Ҷоули);

P – Тавоноии фаъоли истехмолшуда.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Дар эҳтимодият дар вақти истифодаи тағйирёбии стохастики чараёни бор мункин нишод дод, ки талафи тавоноии фаъол зиёд мешавад ва баробар аст ба:

$$\Delta P_{\Sigma sto} = M[I^2]R + D_I R = (\bar{I}^2 + D_I)R, \quad (6)$$

дар ин ҷо $M[I] = \bar{I}$ – интизории математикии чараёни бор;

$D_I = \sigma^2$ – дисперсияи чараёни бор;

σ – бузургии миёнаи квадрати тағйирёбии чараён.

Дар охир модели стохастикии тавоноии панели офтоби намуди зеринро мегирад:

$$P_{sto.СЭС} = \left(1 - \alpha \cdot \left(1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P}\right)\right) P_{устСЭС} = \left(1 - \alpha \cdot \left(1 - \frac{(\bar{I}^2 + D_I)R}{P}\right)\right) P_{устСЭС} \quad (7)$$

Ифодаи ба даст овардшуда ба мо имконият медиҳад, ки тавоноии панели офтобиро бо назардошти тағйирёбии чараёни истехмоқунанда ва ҳарорат дар фосилаи вақт ҳисоб кунем.

ХУЛОСА

1. Нишон дода шудааст, ки модели детерминисти яке аз қисмҳои модели стохастики мебошад. Норасоии метод дар он аст, ки он ҳамаи нашондохоро дар бар гирифта наметавонад, мавҷудияти якҷандто ҷавобҳои эҳтимоли зиёдтар дошта бошанд ва баъзеҳашон камтар.

2. Истифодаи усули стохастикӣ вақте муфид аст, ки зарурати дақиқ муайян кардани кадом тавоноии баромади панели офтобиро интизор шудан лозим аст. Моделҳои дитермикӣ аз руи ҳар намуди ҳолатҳои гуногун маълумоти дақиқ намедиҳанд.

3. Моделҳои стохастикӣ ҳамаи ҳолатҳои тасодуфиро ба назар гирифта нишондоди дурусти тавоноии додасудаи панелҳои фоботҷ бо назардошти таҳсири омехтаи беруна иҷро менамояд.

Адабиёт

1. А.К. Киргизов. Математическое моделирование процессов преобразования энергии в энергетическом центре /А.К. Киргизов., Ш.М. Султонов. // Журнал «Гелиотехника» № (4). 2018. – Ташкент: Академия Наук Республика Узбекистан, 2018. – С. 16-21. ISSN: 1934-9424.

2. А.К. Киргизов. Влияние местности на определение потенциала возобновляемых источников энергии / А.К. Киргизов, З.С. Ганиев, Р.А. Джалилов // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. № 1

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

(41), 2018. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2020. – С. 20-33. ISSN: 2520-2227.

3. С.Танака. Жилые дома с автономным солнечным теплоохлаждением / С.Танака, Р.Суда // Изд. Стройиздат, Москва, 1989 г.

4. Солнечная энергетика: Пер.с англ. и франц./ Под ред. Ю.Н. Маковского и М.М. Колтуна.-М.: Мир, 1979.-390с.

5. Солнечная энергетика / Алексеев В.В., Чекарев К.В.. - М.: Знание, 1991.-64

Маълумот дар бораи муаллиф

Қирғизов А.Қ. –н.и.т. дотсент. Мудири кафедраи АНР ва Э ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ

СЕКЦИЯ – 3

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И
ТЕПЛОТЕХНИКА**

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ АРМАТУР

Зарипов Ш.А., Зарипов Дж.А., Тагоев С.А.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: zaripov.sherali@mail.ru

Аннотация: в работе представлена расчет эффективной теплопроводности, а также результаты опытного изучения эффективной теплопроводности композиционных арматур и их обработка.

Ключевые слова: эффективная теплопроводность, композиционные арматуры, температурная зависимость.

CALCULATION OF EFFECTIVE THERMAL CONDUCTIVITY OF COMPOSITE FITTINGS

Abstract: The paper presents the calculation of the effective thermal conductivity, as well as the results of an experimental study of the effective thermal conductivity of composite fittings and their processing.

Key words: effective thermal conductivity, composite fittings, temperature dependence.

Чтобы оценить вклад составных компонентов в общую теплопроводность изучаемых композитных арматур, в качестве основы для расчета теплопроводности нами применено правило Сафарова М.М. [1].

Результаты расчетов данным способом занесены в таблицу 1, из которой видно, что полученные результаты с погрешностью до 4% согласуются с экспериментальными данными [2].

Таблица 1. Вычисленные значения теплопроводности (λ , Вт/(м·К)) сплава алюминия и отдельных компонентов

Сплав №	$\lambda_{\text{расч.}}$ (по формуле (1))	$\delta\lambda_{\text{Al}}$, %	$\delta\lambda_{\text{Ве}}$, %	$\delta\lambda_{\text{РЗМ}}$, %
1.	193,51	97	3,0	0
2.	236,62	96	3,5	0,5
3.	228,13	95	3,5	1,5
4.	227,52	94	3,5	2,5
5.	228,51	94	3,1	2,9

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Зная теплопроводность этих компонентов в отдельности, нами были выполнены расчеты эффективной теплопроводности композиционных трехкомпонентных образцов следующим образом [1, 2]:

$$\lambda = \lambda_1 n_1 + \lambda_2 n_2 + \lambda_3 n_3, \quad (1)$$

где: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – теплопроводности отдельных компонентов исследуемого объекта; n_1, n_2 и n_3 – массовые доли компонентов.

Если смесь состоит из двух компонентов, один из которых образует замкнутые включения, равномерно распределенного во всем объеме второго, то теплопроводность можно рассчитать по выражению:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = 1 - \frac{n_2}{\frac{1}{1-\nu} - \frac{1-n_2}{3}}; \quad \nu = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2)$$

где: λ_1, λ_2 – теплопроводности компонентов; n_1 и n_2 – массовые доли компонентов. Достоверность данного расчета определяется путем сравнительного сопоставления результатов с опытными данными [1].

Изучением опытных данных по эффективной теплопроводности твердых материалов с кристаллической структурой было установлено значительное несовпадение результатов измерений, полученных разными авторами [1, 3].

Применив данные компонентов λ_{Al} и λ_{Ce} , по таблицы 1 нами построены графики зависимости вкладов алюминия и церия в общей теплопроводности $\delta\lambda_{Al}=f(n_{Al})$ и $\delta\lambda_{Ce}=f(n_{Ce})$ (рис. 1).

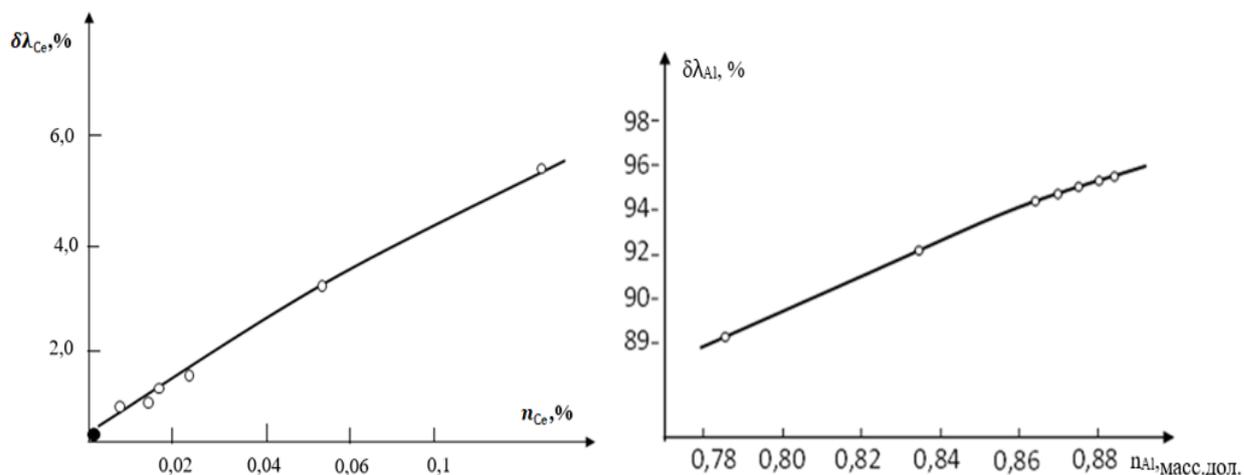


Рисунок 1. Зависимости $\delta\lambda_{Al}$ и $\delta\lambda_{Ce}$,% от их массовой доли при $T=293K$

Графики в рисунке 1 свидетельствуют о том, что рост концентрации Al и нанонаполнителя увеличивает их вклад в эффективной теплопроводности.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Принимая во внимание вышеизложенное, можно представить схему последовательного расчета температурной зависимости эффективной теплопроводности образцов. Первый этап заключается в расчете эффективной теплопроводности алюминия, железа и наполнителя выражением:

$$\lambda = \lambda_1 \left[1 - \frac{m_1}{\frac{1}{1-\nu} - \frac{1-m_2}{3}} \right], \quad (3)$$

где: $\nu = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{200}{208} = 0,962$; $m_2 = 0,01$

Таким образом:

$$\lambda' = \lambda_1 * \left[1 - \frac{m_2}{\frac{1}{1-\nu} - \frac{1-m_2}{3}} \right] = 208 \left[1 - \frac{0,01}{\frac{1}{1-0,96} - \frac{1-0,01}{3}} \right] = 207,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}}.$$

Второй этап заключается в расчете эффективной теплопроводности самого образца следующим образом:

$$\lambda_{\text{эф.}} = \lambda' \left[1 - \frac{m'_2}{\frac{1}{1-\nu} - \frac{1-m'_2}{3}} \right], \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}}, \quad (4)$$

где: $\lambda' = 207,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}}$; $m'_2 = 0,005$; $\nu = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} = 0,06$

Подставив полученные численные значения в выражение (4), можно рассчитывать эффективную теплопроводность трехкомпонентных композитных арматур:

$$\lambda' = \lambda_1 * \left[1 - \frac{0,005}{\frac{1}{1-0,06} - \frac{1-0,005}{3}} \right] = 207,9 \left[1 - \frac{0,01}{\frac{1}{1-0,94} - \frac{1-0,995}{3}} \right] = 206,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}} \quad (5)$$

Проведенные оценки показывают, что выражение (4) с учетом (5) позволяет рассчитать эффективную теплопроводность композиционных арматур при различных температурах с погрешностью менее 1,5%.

Заключение

По итогам опытов, закона соответственных состояний термодинамических систем нами было получено эмпирическое уравнение для расчета эффективной теплопроводности композитных арматур. Было

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

проведено сравнение опытных данных с расчётными, которое показали удовлетворительные согласие между ними.

Литература

1. Сафаров М.М. Диаграммы состояния и физико-химические свойства сплавов системы Al-Be-Y (La, Ce): Дис... к.т.н. Душанбе, 1997, 105с.
2. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. - Л., 1974- 264 с.
3. Смирнов Ю.Н., Прохоров И.А. Термическое расширение и кристаллическая структура празеодима, неодима и самария в интервале температур 87 – 1073 К. // ЖЭТФ. – 1974. – Т. 67, №3 (9). – С. 1017 – 1022.

Сведения об авторах:

Зарипов Ш.А. – соискатель института водных проблем, гидроэнергетика и экология НАН РТ.

Зарипов Дж.А. - к. т. н., доцента кафедры теплотехники и теплоэнергетики ТТУ имени акад. М.С. Осими.

Тагоев С.А. - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой теплотехники и теплоэнергетики ТТУ имени акад. М.С. Осими.

РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЗОТО - И
КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ
НАНОПОРОШКОВ ПЕРЕХОДНЫХ И НЕПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Зарифзода М.А.

ТТУ имени академика М.С.Осими, г.Душанбе, Таджикистан

E-mail: mohira.zaripova@list.ru

Аннотация: На данной статье приведены результаты расчета термодинамических характеристик, по которым видно, что с ростом температуры до 383К энтальпия, энтропия и внутренняя энергия системы увеличиваются, а энергия Гиббса и Гельмгольца уменьшаются. С увеличением давления до 49,01МПа эти параметры уменьшаются. Для кислородосодержащих органических жидкостей с ростом температуры до 589К наблюдалось увеличение энтальпии, энтропии и уменьшение внутренней энергии Гиббса и энергии Гельмгольца. С ростом давления наблюдалось уменьшение энтальпии, энтропии и энергии Гельмгольца, а внутренняя энергия и энергия Гиббса увеличились.

Ключевые слова: температура, давления, термодинамика, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, энергия Гельмгольца, внутренняя энергия

CALCULATION OF THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF
NITROGEN- AND OXYGEN-CONTAINING SOLUTIONS WITH THE
ADDITION OF NANOPOWDERS OF TRANSITION AND NON-
TRANSITION METALS

Abstract: This article presents the results of calculating the thermodynamic characteristics, which shows that with an increase in temperature to 383K, the enthalpy, entropy and internal energy of the system increase, and the Gibbs and Helmholtz energies decrease. With an increase in pressure to 49.01 MPa, these parameters decrease. For oxygen-containing organic liquids, an increase in enthalpy, entropy and a decrease in the internal Gibbs energy and Helmholtz energy were observed with an increase in temperature to 589K. With increasing pressure, a decrease in enthalpy, entropy and Helmholtz energy was observed, while internal energy and Gibbs energy increased.

Keywords: temperature, pressure, thermodynamics, enthalpy, entropy, Gibbs energy, Helmholtz energy, internal energy

Для расчета термодинамических свойств исследуемых веществ при атмосферном давлении можно рассмотреть два подхода [1, 2]. В первом методе –

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

традиционном - измеряется плотность при различных температурах и давлениях, несколько превышающих атмосферное давление. По полученному на базе этих данных уравнению состояния определяют термодинамические свойства веществ.

Во втором методе – определение термодинамических свойств базируется на экспериментальном исследовании плотности ρ , изобарной теплоемкости C_p и скорости звука ω только при атмосферном давлении.

На основе экспериментальных данных по теплоемкости исследуемых веществ, то есть гидразин, гидразингидрат, фенилгидразин, диэтиловый эфир, как в чистом виде, так и с добавкой нанометаллов (Au, Ag, Cu, Ru, Co, Ni, Fe, ($d_{ср}=40\text{нм}$)), от 0,1% до 0,5% нами рассчитаны термодинамические свойства по следующим формулам [3, 4, 5]:

-изменение энтальпии

$$\Delta H = \int_{T_0}^T C_p \cdot dT, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (1)$$

-изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \Delta H - \frac{P}{\rho}, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (2)$$

-изменение энтропии

$$\Delta S = \int_{T_0}^T \frac{C_p}{T} \cdot dT, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \quad (3)$$

-удельная энергия Гиббса

$$\Delta \phi = \Delta H - T \cdot \Delta S, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (4)$$

- удельная энергия Гельмгольца

$$\Delta F = \Delta U - T \cdot \Delta S, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right] \quad (5)$$

Вычисленные значения некоторых термодинамических свойств исследуемых веществ в зависимости от температуры при атмосферном давлении по формулам (1)– (5) приводятся в таблицах 1.- 3.6.

Таблица 1 - Вычисленные значения термодинамических свойств гидразина в зависимости от температуры и давления

Т, К	ΔH , Дж/кг	ΔS , Дж/кгК	$\Delta \phi$, Дж/кг	Δf , Дж/кг	ΔU , Дж/кг
P=0,101 МПа					
313	62560	206,54	-2087,02	-2187,29	62459,73

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

333	126840	405,66	-8244,78	-8314,42	126737,06
373	261680	789,64	-32855,72	-	-
P=9,81 МПа					
313	62020	204,76	-2069,88	-11807,82	52282,06
333	125360	401,06	-8192,98	-18079,1	115473,88
373	257520	777,09	-32334,57	-42645,69	247208,88
473	614160	1634,08	-158759,84	-	602625,61
				170294,23	
P=19,62МПа					
313	61660	203,57	-2057,41	-2155,24	61562,17
333	124480	398,24	-8133,92	-27763,73	104850,19
373	256240	773,22	-32171,06	-52621,34	235789,72
473	610380	1624,03	-157786,19	-	587703,17
				180463,02	
P=29,43 МПа					
313	61260	202,25	-2044,25	-30182,69	33121,56
333	123760	395,94	-8088,02	-37083,09	94764,93
373	253280	764,29	-31800,17	-62040,61	223039,56
473	606240	1613,01	-156713,73	-	572985,76
				189967,97	
P=39,24 МПа					
313	60880	200,99	-20298,87	-39728,69	23818,18
333	122880	393,12	-8028,96	-46163,07	84745,89
373	249280	752,22	-31298,06	-71123,49	209454,57
473	597960	1590,98	-154573,54	-	554028,07
				198505,47	
P=49,1 МПа					
313	60560	199,94	-2021,22	-47956,29	14624,93
333	122080	390,56	-7976,48	-55233,46	74823,02
373	250400	755,60	-31438,8	-80815,31	201023,49
473	590400	1570,87	-15621,51	-	535874,74
				207146,77	

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таблица 2 - Расчет энтальпии (ΔH , Дж/кг) диэтилового эфира в зависимости от температуры и давления

Т.К	Давление, Р, МПа					
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,24	49,1
326,8	-	55692	54990	54662,4	54171	53679,6
347,9		108580	107156	105910	105020	103952
350,4		115526	113270	112048	111014	109980
372,9		174236,5	171317,5	168190	167564,5	165410
394,6		234019,2	230188,8	227544	224625,6	221616
416,7		297412,5	292314	288121,9	284383	280530,8
439,4		365568	359040	353600	348704	343536
458,7		425522	418999,4	412010,9	406420,1	399121
486,5		514511	504623,6	496201	485581,2	480637,5
509,1		592004,6	579868,3	569377,6	559504	549219
531,3		670026	655896,2	643817,5	633562	619888
556,2		758400	742726,4	728064	715424	700256
589,4		883740	860860	843700	829400	810810

Таблица 3 - Расчет внутренней энергии (ΔU , Дж/кг) диэтилового эфира в зависимости от температуры и давления

Т.К	Давление, Р, МПа					
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,24	49,1
326,8	-	-41576,9	-27001,4	-13153,2	-710,118	-14514,8
350,4		-100886,4	-84246,3	-68832,1	-53979,1	-39026,2
372,9		-159259,4	-141590,2	-124067,1	-109344,9	-93097,8
394,6		-218577,7	-199532,6	-181916,1	-164256,4	-146539,6
416,7		-281564,4	-261022,1	-241555,4	-222878,3	-204169,9
439,4		-349299,3	-326823,3	-305668,4	-285413,7	-264976
458,7		-408371,7	-385054,8	-361617,1	-339685,4	-316461,1
486,5		-496674,6	-468689,5	-442885,8	-415384,4	-393734,9
531,3		-650676,9	-617724,9	-587329,9	-559102,8	-527246,5
556,2		-738780	-704028,2	-670807,2	-639671,1	-606553,7
589,4		-863921,8	-821698,3	-785652,7	-752155,9	-715654,9

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таблица 4 - Расчет энтропии (ΔS , кДж/кг) диэтилового эфира в зависимости от температуры и давления

Т.К	Давление, Р, МПа					
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,24	49,1
326,8	-	176,83	174,59	172,81	171,99	170,44
347,9		333,94	329,57	325,73	322,99	319,71
350,4		354,01	347,09	343,35	340,18	337,01
372,9		517,09	508,43	499,15	497,29	490,89
394,6		674,39	663,36	655,74	647,33	638,65
416,7		832,95	818,67	806,93	796,46	785,67
439,4		995,52	977,75	962,93	949,59	935,52
458,7		1132,56	1115,20	1095,45	1081,72	1062,29
509,1		1489,63	1459,09	1432,69	1407,85	1381,97
531,3		1647,21	1612,47	1582,78	1557,56	1523,95
589,4		2051,92	1998,79	1958,96	1925,75	1882,59

Таблица 5 - Расчет удельной энергии Гиббса (ϕ , Дж/кг) диэтилового эфира в зависимости от температуры и давления

Т.К	Давление, Р, МПа					
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,24	49,1
326,8	-	-2096,0	-2066,0	-1811,9	-2035,3	-2020,2
350,4		-8519,1	-8350,3	-8261,8	-8185,1	-8353,6
372,9		-18586,4	-18276,1	-17943,0	-17874,9	-17642,9
394,6		-32095,1	-31573,1	-31211	-30810,8	-30395,3
439,4		-71863,5	-70583,4	-69511,4	-68545,9	-67531,5
458,7		-93983,3	-92542,8	-90472,0	-89764,9	-88151,4
509,1		-166366,0	-162954,4	-160004,9	-157232,4	- 154341,9
531,3		-205136,7	-200809,1	-197113,5	-193969,6	- 189786,6
556,2		-252899,5	-247671,1	-242777,5	-238564,7	- 233509,2
589,4		-325661,6	-317226,8	-310911	-305637,1	- 298788,5

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таблица 6 - Расчет удельной энергии Гельмгольца (f , Дж/кг) диэтилового эфира в зависимости от температуры и давления

Т.К	Давление, Р, МПа					
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,24	49,1
326,8	-	-16211,1	-840574,4	-69627,5	-56916,5	-41184,9
347,9		-210245,9	-193045,1	-176393,1	-160764,8	-144835,3
350,4		-224931,5	-205866,6	-189141,9	-173178,2	-157114,5
372,9		-352082,3	-331183,8	-310200,1	-294784,3	-278537,2
394,6		-484691,9	-461294,5	-440671,1	-419692,8	-398550,9
416,7		-628654,7	-602161,9	-577803,1	-554763,2	-531558,6
439,4		-786730,8	-756446,7	-728779,8	-702663,6	-676043,5
486,5		-1142182,3	-1101791,4	-1065420,9	-1024594,3	-996746,8
509,1		-1331252,4	-1284960,2	-1243021,4	-1202757,3	-1161346
531,3		-1525839,6	-1474430,2	-1428260,9	-1386634,4	- 1336921,1
556,2		-1750079,5	-1694425,7	-1641648,7	-1593659,8	- 1540318,9
589,4		-2073323,4	-1999785,1	-1940263,7	-1887193	- 1825253,4

Заключение

На основе полученных результатов экспериментальных исследований по теплофизическим свойствам азотосодержащих органических жидкостей был проведен расчет ряда их термодинамических свойств, по которому видно, что с ростом температуры до 383К энтальпия, энтропия и внутренняя энергия системы увеличиваются, а энергия Гиббса и Гельмгольца уменьшаются. С увеличением давления до 49,01МПа эти параметры уменьшаются. Для кислородосодержащих органических жидкостей с ростом температуры до 589К наблюдалось увеличение энтальпии, энтропии и уменьшение внутренней энергии Гиббса и энергии Гельмгольца. С ростом давления наблюдалось уменьшение энтальпии, энтропии и энергии Гельмгольца, а внутренняя энергия и энергия Гиббса увеличились.

Литература

1. Гусейнов К.Д. Исследование термодинамических свойств ряда кислородосодержащих органических веществ в широком интервале параметров состояния: / Камал Дадаш огли Гусейнов. // Дисс... д-ра. т. н. - Баку, 1979. - 392 с.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

2.Охотин В.С. Таблица РСД. Висмут: Термодинамические свойства при атмосферном давлении от температуры плавления до нормальной температуры плавления до нормальной температуры кипения. / В.С. Охотин, Л.А.Разумейченко, А.А.Александров и др.//Всесоюзный научно-исследовательский центр по материалам и веществам. Госстандарт. –М., 1986. –№352. –24 с.

3.Зарипова М.А. Теплофизические и термодинамические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина / М.А.Зарипова, М.М. Сафаров, Бадалов А.Б.// Монография: -Душанбе, Изд. ООО “Хирад”, 2007. - 128 с.

4.Зарипова, М.А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях //Дис.на соиск.уч. степени д-ра техн. наук. -Душанбе. -513 с.

5.Козлов А.Д. Разработка и внедрение в народное хозяйство системы нормативносправочных данных о термодинамических свойствах технически важных газов, жидкостей и смесей: Автореф.дис...д-ра техн.наук.-М., 1986.-48с.

Сведения об авторе

Зарифзода Мохира Абдусалом – доктор технических наук, доцент, и.о. профессор кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика» ТТУ им. акад. М.С.Осими. Тел: (+992) 931-81-57-11. E-mail: mohira.zaripova@list.ru

ТАДҶИҚИ ХОСИЯТҶОИ ЭЛЕКТРО ВА ГАРМОФИЗИКИИ МАҲЛУЛҶОИ ОБӢ ВОБАСТА АЗ ҶАРОРАТ ВА ФИШОР

Аминов Ш.А.

ТТУ имени академика М.С.Осими, г.Душанбе, Таджикистан

E-mail: kasaba_ttu@mail.ru

Аннотатсия: Дар шароити кунунӣ масъалаи сарфаи захираҳои энергетикӣ бинобар зиёд шудани талабот ба энергия ва зарурати коҳиш додани таъсири он ба муҳити зист аҳамияти хос пайдо кардааст. Яке аз роҳҳои ҳалли ин масъала такмили сохтор ва самаранокии кори радиаторҳо мебошад, ки дар мошинҳо, таҷҳизоти саноатӣ ва энергетикӣ истифода мешаванд. Радиаторҳо нақши муҳимро дар таъмини нишондиҳандаҳои техникую иқтисодӣ иҷро намуда, ҳарорат ва фишори гармидиҳандаро танзим мекунад.

Истифодаи система «об + пентэласт®-1161» имкон медиҳад, ки гармии кампотенциалӣ самаранок дур карда шавад. Ин системаи иқтисодӣ барои таҷҳизоти гармидиҳӣ-энергетикӣ бартариҳои зеринро фароҳам меорад:

1. Кам кардани истеъмоли оби табиӣ.
2. Маҳдуд кардани ё пурра аз байн бурдани партовҳои об.
3. Таъмини кори устувори таҷҳизот бо коҳиш додани хароҷоти истифодабарӣ.

Дар радиаторҳо равандҳои мураккаби аэрогидромеханика ва мубодилаи гармӣ сурат мегиранд. Яке аз маҳдудиятҳои асосӣ дар самаранокии кори онҳо бухрони интиқоли гармӣ мебошад, ки арзишҳои ҳадди ниҳоии ҷараёнҳои гармиро муайян мекунад.

Калидвожаҳо: об, пентэласт®-1161, гармидиҳӣ, зичӣ, гармидиҳӣ, усули гармидиҳии якранг, тарозуи гидростатикӣ, режими мунтазами гармӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Аннотация: в нынешних условиях вопрос экономии энергетических ресурсов приобретает особое значение в связи с увеличением спроса на энергию и необходимостью снижения ее воздействия на окружающую среду. Одним из решений этой проблемы является улучшение конструкции и эффективности работы радиаторов, используемых в машинах, промышленном и энергетическом оборудовании. Радиаторы играют важную роль в обеспечении технико-экономических показателей и регулируют температуру и давление

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

теплообменника. Использование системы "вода + пентэласт®-1161" позволяет эффективно отводить тепло от кампотенци. Эта экономичная система обеспечивает следующие преимущества для теплоэнергетического оборудования: 1. Уменьшить потребление природной воды. 2. Ограничить или полностью исключить сточные воды. 3. Обеспечение стабильной работы оборудования за счет снижения эксплуатационных расходов. В радиаторах происходят сложные процессы аэрогидромеханики и теплообмена. Одним из основных ограничений эффективности их работы является кризис теплопередачи, который определяет максимальные значения тепловых потоков.

Ключевые слова: вода, пентэласт®-1161, теплопроводность, плотность, теплоемкость, метод монотонного разогрева, гидростатического взвешивание, регулярного теплового режима.

Усулҳои омӯзиши ҳосиятҳои физикии гармӣ

Барои таҳқиқи ҳосиятҳои физикии гармии система усулҳои зерин истифода шуданд:

1. **Усули гармкунии якхела** – барои муайян кардани гузарониши гармӣ ва гармии ҳос дар фишори атмосфера.
2. **Усули речаи гармии муназзам** – барои ченкунӣ дар фишорҳои баланд.
3. **Усули тарозуи гидростатикӣ** – барои муайян кардани зичӣ.

Натиҷаҳои тадқиқот тибқи таҳқиқоти таҷрибавӣ муайян карда шуд:

1. **Ҳосиятҳои система вобаста ба ҳарорат:**
 - Бо баланд шудани ҳарорат гузарониши гармӣ ва зичӣ кам мешавад.
 - Гармии ҳос зиёд мешавад.
2. **Дақиқии ченакҳо:**
 - Ҳатои ченкунии гузарониши гармӣ: 3,5%.
 - Ҳатои ченкунии гармии ҳос: 4,5%.
 - Ҳатои ченкунии зичӣ: 0,1% (бо эҳтимолияти боэътимод $\alpha=0,95$).

Муодилаҳои таҷрибавӣ, ки дар асоси маълумотҳои таҳқиқотӣ таҳия шудаанд, имкон медиҳанд ҳисобкунии радиаторҳо ва дигар таҷҳизоти мубодилаи гармӣ оптимизатсия карда шавад. Ин раванд ба баланд шудани ҳосилнокии онҳо ва коҳиш додани сарфи энергия мусоидат мекунад.

Усули чен кардани гузарониши гармӣ ва гармии ҳос

Барои муайян кардани гузарониши гармӣ ва гармии ҳос аз **усули гармкунии якхела**, ки аз ҷониби Е.С. Платунов пешниҳод шудааст, истифода бурда шуд. Ин усул ба таҳлили тақрибии муодилаи ғайрихаттии гузарониши гармӣ асос ёфтааст. Ҳолати гармии якхела афзоиш ё коҳиши ҳамвор ва тадриҷии ҳароратро

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

дар доираи васеи андозагирӣ бо тағйирёбии сусти майдони суръатҳо дар дохили намуна дар назар дорад.

Ҳисоби ҳарорати миёна

Ҳарорати миёнаи намуна бо чунин формула муайян карда мешавад:

$$\bar{t} = t_c + 0.5A_t \cdot n_0, \quad (1)$$

ҷоест ки:

- \bar{t} — ҳарорати миёнаи намуна, °C;
- t_c — ҳарорате, ки дар он ченкунии гузарониши гармӣ гузаронида шудааст, °C;
- A_t — ҳассосияти термopара (хромел-алюмел), K/mB;
- n_0 — фарқияти ҳарорат дар намуна, mB.

Таҷҳизоти таҷрибавӣ

Барои ченкуниҳо таҷҳизоти таҷрибавии автоматиконида истифода шудааст.

- Параметрҳои КТ ва РК — бузургҳои доимие мебошанд, ки ба хосиятҳои намунаи таҳқиқшаванда вобаста нестанд.
- Муайян кардани КТ ва РК дар озмоишҳои санҷишӣ бо истифода аз маводи эталонӣ (мис, об, толуол, керосин ва ғайра) анҷом дода мешавад.

Тартиби иҷрои озмоиш

1. Дар сатҳҳои гуногуни ҳарорат фарқияти ҳарорат дар ҳароратсанҷ ΔT_t ва дар намуна ΔT_0 бо воҳидҳои микровольт (мкВ) чен карда мешавад.
2. Ғафсии қабати таҳқиқшаванда 0,38 мм буда, градиенти ҳарорат дар сарҳадҳо аз 1,30 то 0,65 К тағйир меёфт.
3. Қадамҳои ҳароратӣ барои ченкуниҳо:
 - Барои гузарониши гармӣ — 5–10 К.
 - Барои гармии хос ва зичӣ — 10–20 К.

Афзалиятҳои усул

Усули гармкунии якхела имкон медиҳад, ки маълумоти дақиқ дар бораи гузарониши гармӣ ва гармии хос бо хатогиҳои минималӣ ба даст оварда шаванд. Автоматиконии таҷҳизот эътимоднокии натиҷаҳоро баланд мебардорад, таъсири омилҳои инсонро коҳиш медиҳад ва такроршавии озмоишҳоро беҳтар мекунад.

Андозагирии гузарониши гармӣ, зичӣ ва гармии хоси изобарӣ

Бо истифода аз таҷҳизотҳои [1-5, 12-14] гузарониши гармӣ, зичӣ ва гармии хоси изобарии маҳлулҳои оби пентэласт®-1161 (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%) дар доираи ҳарорати 293–413 К таҳти фишори атмосфера чен карда шудаанд.

Намунаҳои таҳқиқшуда:

- Намуна №1: маҳлули 1%-и обӣ (оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161).

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

- Намуна №2: маҳлули 2%-и обӣ (оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161).
- Намуна №3: маҳлули 3%-и обӣ (оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161).
- Намуна №4: маҳлули 4%-и обӣ (оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161).
- Намуна №5: маҳлули 5%-и обӣ (оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161).
- Намуна №6: маҳлули 6%-и обӣ (оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161).

Андозагирии параметрҳо:

Чадвали 1 Тағирёбии гармигузаронии оби ошомиданӣ ($\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)) дар хатти сершави аз таъсири пентэласт®-1161

Намуна Т, К	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
293	622	641	668	686	708	730
313	643	660	680	706	723	746
333	662	678	692	718	739	756
353	676	690	710	728	750	770
373	690	708	722	742	760	782
393	695	713	733	752	770	791
413	700	718	738	758	777	800
433	692	712	732	750	772	794
453	686	704	722	740	761	786
473	675	692	710	726	748	776
493	663	680	696	713	733	763
513	648	668	682	698	720	752
533	627	648	665	682	708	740
553	612	630	648	668	690	725
573	590	610	630	648	654	708

Ин рафтори ғайриоддии (ғайримуқарари) гармигузарони маҳлули об бояд бо сохти (таркиби) ба худ хоси он вобаста бошад. Барои ҳамин протсессҳои технологию он бояд ба ҳисоб гирифта шавад.

Тағирёбии гармигузарони бо зиёд шудани миқдори фоизнокии маҳлули об + пентэласт®-1161 дар ҳароратҳои муаян чунин мешавад.

$$T=293\text{K} - 17,4\%; \quad T = 413\text{K} - 14,3\%; \quad T = 573\text{K} - 20\%.$$

Чадвали 2 Ҳароратгузаронии системаи оби ошомиданӣ + пентэласт®-1161 ($a \cdot 10^7$, м²/с) вобаста аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ.

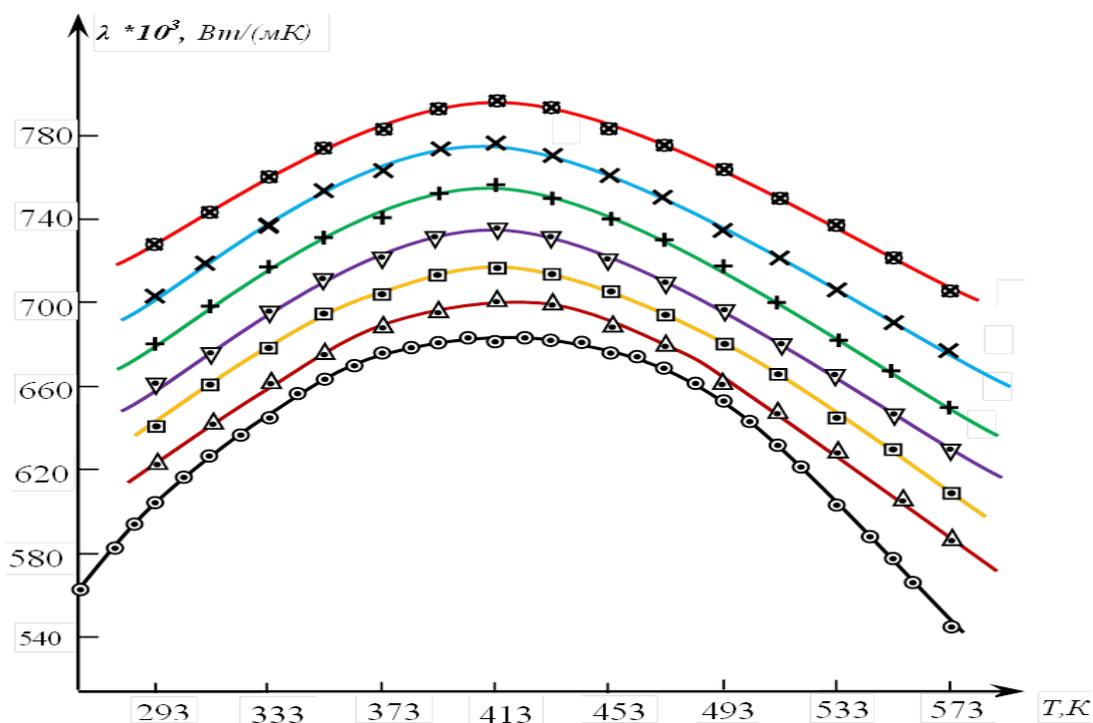
$a \cdot 10^7$ Т, К	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

293	8,7	9,2	9,8	10,5	11,2	11,9
313	6,2	6,6	8,4	9,1	9,7	10,4
333	5,8	6,3	7,0	7,9	8,3	9,0
353	4,7	5,0	5,6	6,4	6,7	7,3
373	3,8	4,1	4,5	5,0	5,3	5,7
393	3,0	3,5	3,8	4,3	4,5	4,9
413	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2	4,7

Нишондиҳандаҳо ба монанди ҷадвали 1.

Чи тавре ки аз ҷадвал маълум аст, мувофиқан ҳароратгузаронӣ бо афзудани ҳарорат кам мешавад, бо зиёд шудани фоизнокии маҳлули об меафзояд.



Расми 1 - Таъғирёбии гармигузаронии об ва маҳлули оби (Оби нушоки + пентэласт® 1161) вобаста аз ҳарорат дар хатти сершавӣ.

\odot - Маълумоти корӣ [29];

Маълумрти мо;

\triangle - (маҳлули 1%, оби нушоки + пентэласт®-1161) - N_1 ;

\square - (маҳлули 2%, оби нушоки + пентэласт®-1161) - N_2 ;

∇ - (маҳлули 3%, оби нушоки + пентэласт®-1161) - N_3 ;

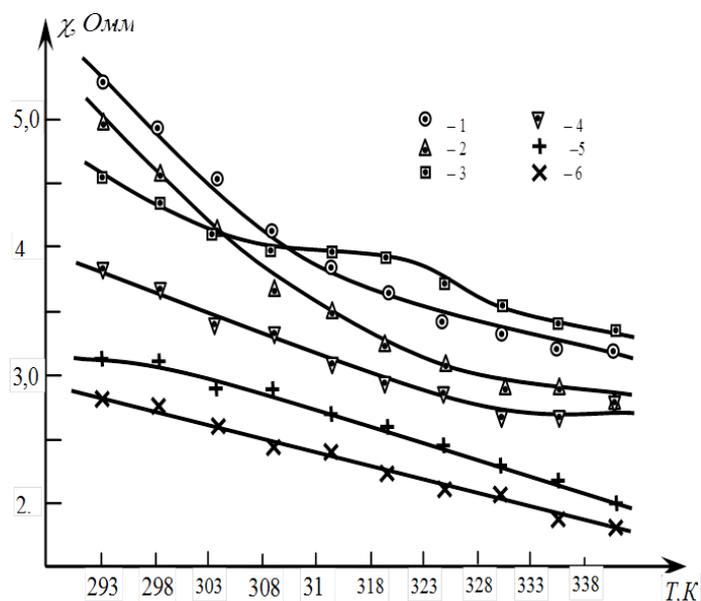
$+$ - (маҳлули 4%, оби нушоки + пентэласт®-1161) - N_4 ;

\times - (маҳлули 5%, оби нушоки + пентэласт®-1161) - N_5 ;

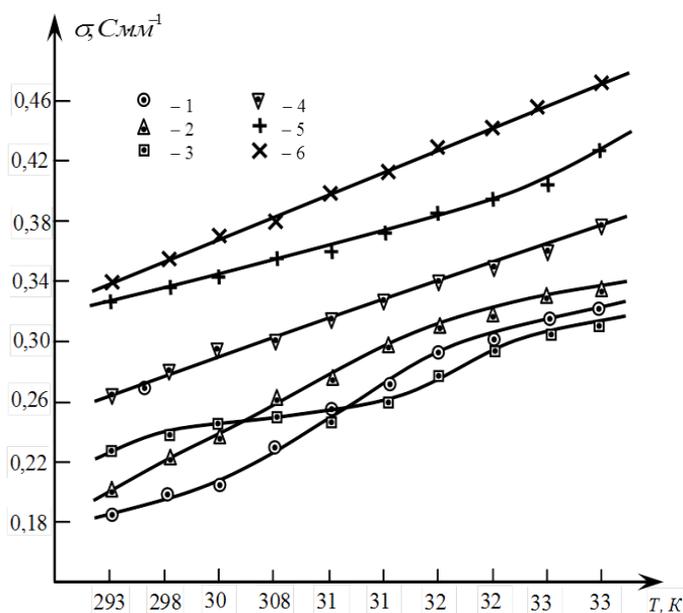
\otimes - (маҳлули 6%, оби нушоки + пентэласт®-1161) - N_6 .

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Чи тавре, ки аз расми 1 маълум аст гармигузарони баробари зиёд шудани ҳарорат то 413К меафзояд ва баъд кам мешавад.



Расми 2 - Муқовимати хоси электрии системаҳои оби нушоки + пентэласт®-1161 вобаста аз ҳарорат дар фишори атмосферӣ



Расми 3 - Электргузаронии системаи оби нушоки+ пентэласт®-1161 вобаста аз ҳарорат ҳангоми фишори атамосферӣ

Аз расми 2 маълум аст, ки муқовимати хоси электрӣ бо зиёд шудани фоизнокии маҳлули об ва афзудани ҳарорат кам мешавад.

Дар расми 3 бошад, бозиёдшудани фоизнокии маҳлули об, инчунин бо зиёд шудани ҳарорат ҳам электрогузарони меафзояд.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

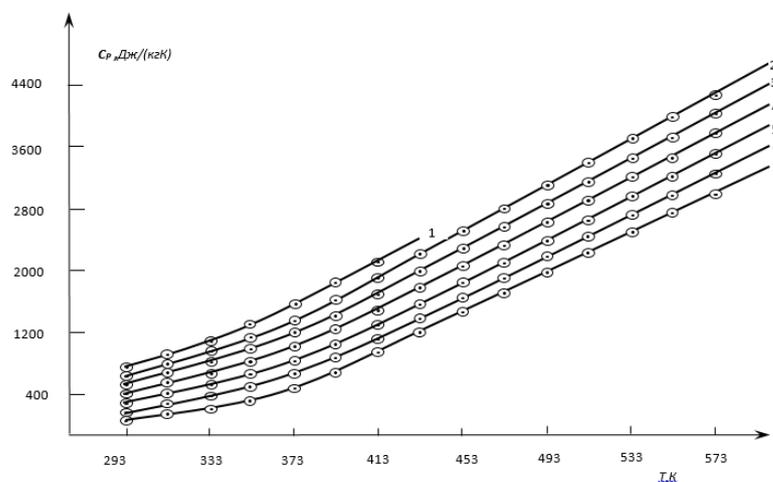
Чи тавре, ки аз гуфтаҳои боло маълум шуд, ба таркиби гармофизикӣ ва электрофизикии маҳлули об, якҷоя кардани (концентратсияи) пентэласт®-1161 бемайлон таъсир мерасонад.

Гармиғунҷоиши хоси изобарии системаи об+ пентэласт®-1161 вобаста аз ҳарорат ва фишор.

Ҷадвали 3

Гармиғунҷоиши хоси изобари (C_p , Дж/(кг·К)) системаи 3% и об+ пентэласт®-1161 вобаста аз ҳарорат ва фишор.

T, К	Фишор P, МПа						
	0,101	4,91	9,61	14,52	19,43	24,34	29,25
293	620	500	490	470	440	400	380
313	780	720	680	640	610	600	480
333	1060	1000	880	800	740	700	640
353	1320	1200	1100	1065	965	870	800
373	1650	1480	1470	1340	1240	1160	960
393	2000	1800	1600	1440	1320	1220	1120
413	2300	2080	1840	1700	1600	1400	1320
433	-	2400	2180	2000	1820	1600	1600
453	-	2720	2480	2300	2100	1840	1700
473	-	3040	2800	2600	2400	2200	2000
493	-	3400	3100	2900	2700	2480	2300
513	-	3680	3420	3200	3000	2800	2600
533	-	4000	3740	3500	3280	3060	2840
553	-	4320	4060	3800	3600	3220	3140
573	-	4660	4380	4160	3870	3620	3400

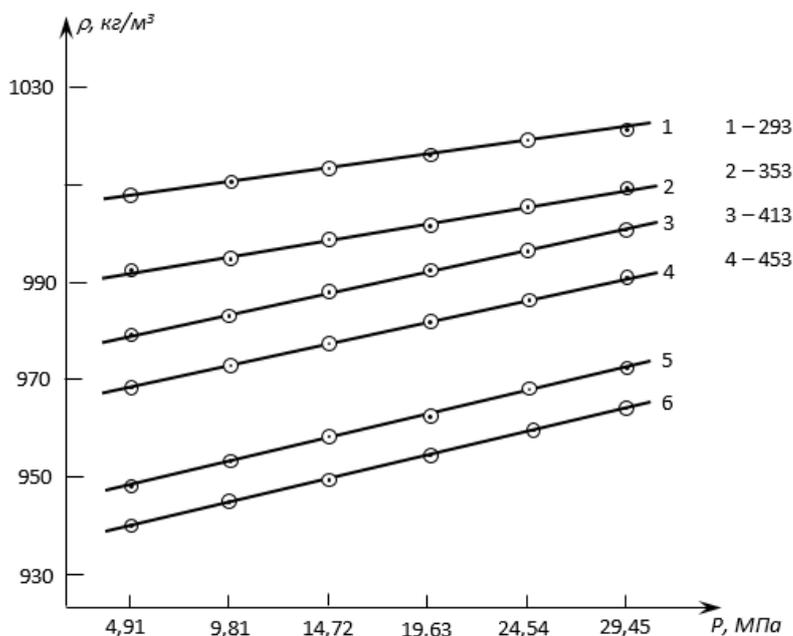


Расми 4 – Вобастагии гармиғунҷоиши хоси изобари маҳлули системаи 3% и об+ пентэласт®-1161 вобаста аз ҳарорат ва фишор: 1–0,101 МПа; 2–4,91 МПа; 3–9,61 МПа; 4–14,52 МПа; 5–19,43 МПа; 6–29,25 МПа.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аз чадвали 3 ва расми 4 маълум аст, ки бо зиёд шудани ҳарорат гармиғунҷоиш меафзояд ва бо афзудани фишор кам мешавад.

Сабаби камшавии гармиғунҷоиши маҳлули оби шояд он бошад, ки ҳангоми афзудани фишор масофаи байни молекулаҳо хурд мешавад, аз ин ҳисоб ҳаҷм кам мешавад ва зичи меафзояд ҳамин тариқ гармиғунҷоиши (C_p) маҳлул кам мешавад.



Расми 5 – Вобастагии зичии маҳлули 3% оби дисилатсияшуда + пентэласт®-1161 аз фишор ва ҳарорат

Бо зиёд шудани фишор, зичи меафзояд ва бо зиёд шудани ҳарорат кам мешавад.

Барои ёфтани ва ҳисоб кардани зичии системаи об + пентэласт®-1161 аз муодилаи Тейта дар намуди зерин истифода намудем

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho} = C \ln \left[\frac{B + P}{B + P_0} \right], \quad (1)$$

Дар ин ҷо ρ_0 зичии маҳлули татқиқшаванда ҳангоми $P_0 = 4,91$ МПа; ρ зичии намунаҳо ҳангоми фишори P ; C ва B коэффитсиентҳои, ки ҳангоми гузаронидани эксперимент ҳосил шудааст.

Баъди яқҷанд ҷо ба ҷо гузори ёфта шуд. (Муод.2)

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \left[0,556 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 1,91 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,34 \right] (-74,4m^2 + 1,8m + 0,012) \times \ln \left[\frac{\left[0,87 - 0,87 \left(\frac{T}{T_1} \right) \right] (1,47 \cdot 10^9 m^2 + 1,38m + 9,69 \cdot 10^5) + P}{\left[0,87 - 0,87 \left(\frac{T}{T_1} \right) \right] (1,47 \cdot 10^9 m^2 + 1,38m + 9,69 \cdot 10^5) + P_0} \right]}$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Маълумотҳои экспериментали барои зичии маҳлулҳо ҳангоми ҳарорат ва фишори муаян ба намуди зайл муаян карда шуд. Муодилаҳои 3,4,5,6,:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T = f(P). \quad (3)$$

$$-\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T = \frac{B}{C} + \frac{P}{C}, \quad (4)$$

Дар ин ҷо: P – фишори беруни, МПа; ρ – зичи, кг/м³.

$$\frac{B}{B_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (5)$$

$$\frac{C}{C_1} = f\left(\frac{T}{T_1}\right), \quad (6)$$

Дар ин ҷо: B_1 , C_1 – нишондоди коэффитсиент ҳангоми $T_1 = 413\text{K}$. Муодилаи ёфташуда маълумотҳои экспериментали барои зичии маҳлулҳои тадқиқшаванда дар интервали ҳарорат $T = 293\text{-}573\text{K}$ ва фишор $P = (4,91\text{-}29,25)$ МПа, ро бо хатогии миёнаи 0,4% муаян мекунад. Дар баъзе нуқтаҳо ин хатоги то 3,6% мерасад.

Адабиёт

1. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. – Л.: Энергия, 1973. – 142 с.
2. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. – М., 1980. – 296 с.
3. Маджидов Х., Двойкин Е.П., Богданов А.И., Зубайдов С., Сафаров М.М. Экспериментальная установка для измерения теплопроводности жидкостей методом монотонного разогрева. Приборостроение, 1989. Т.32. - № 12. – С. 78-81.
4. Мустафаев Р.А., Ганиев Д.К., Рагимов Р.С. Экспериментальное исследование P - λ - T зависимости динонилового эфира янтарной кислоты в широком интервале параметров состояния: Тезисы докладов. 9-ая теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня 1992 г. – С. 68.
5. Мустафаев Р.А. Метод монотонного нагрева для исследования теплопроводности жидкостей, паров и газов при высоких температурах и давлениях: Сб. по теплофизическим свойствам жидкостей. – М.: Наука, 1973. – С. 112-117.
6. Груздев В.А., Веслогузов Ю.А., Коваленко Ю.А., Комаров С.Г. Автоматизированный C_λ -калориметр: Тезисы докладов. 9-ая теплофизическая конференция СНГ. Махачкала, 24-28 июня 1992 г. – С. 225.
7. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справочник. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

8. Загеров А.Р., Тарзиманов А.А., Шарафутдинов Р.А. Измерение теплопроводности жидкостей в потоках методом импульсно нагреваемой проволоки: Тезисы докладов. 2-ая международная теплофизическая школа. Тамбов, 25-30 сентября 1995 г. – С. 226.

9. Мустафаев Р.А., Гараджаев Б.Г., Рагимов Р.С. Экспериментальное исследование и методика расчета теплопроводности органических жидкостей в диапазоне температур 300-600°К и давлений 0,1-98,0 МПа: Теплофизические свойства веществ. Труды VIII всесоюзной конференции. Часть 1. Новосибирск. 1989. С. 175-180.

10. Волькенштейн В.С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. – Л.: Энергия, 1971. – 145 с.

11. Шашков В.С. О некоторых методах определения теплофизических характеристик материалов при комнатных и средних температурах //Инженерно-физический журнал. – 1961. - №9. – С. 356-360.

12. Бегункова А.Ф. Прибор для быстрых испытаний теплопроводности изоляционных материалов //Заводская лаборатория. – 1952. – Т. XVIII. - №10. – С. 1260-1262.

13. Фукс Л.Т., Шмандина В.Н. Метод комплексного определения теплофизических свойств //Известия вузов. Энергетика. – 1970. - № 2. – С. 124-126.

14. Шашков А.Г., Волохов Г.М., Абраменко Т.Н. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. – М.: Энергия, 1973. – 335 с.

15. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. – М.: ГИТЛ, 1954. –408 с.

16. Теплотехнический справочник /Под общ. Ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т.2. – М.: Энергия, 1976. – 896 с.

Маълумот дар бораи муалифон:

Аминов Шамсуло Асоевич – номзади илмҳои техники, дотсенти кафедраи физика Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ.

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ, КЛАСТЕРНЫХ
ГИДРАЗИНГИДРАТА И ГИДРАЗИНЗАМЕЩЁННЫЕ ВОДНЫЕ
РАСТВОРЫ (ОБЗОР)**

¹Назруллозода А.С., ²Тургунбоев М.Т., ³Сафаров М.М., ⁴Абдуллоев М.А.

1.Таджикский государственный педагогический университет имени С.Айни,
Душанбе, Таджикистан

2.Бохтарский государственный университет имени Носири Хусрав, Бохтар,
Таджикистан

3.Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими,
Душанбе, Таджикистан

4.Горно-металлургический институт в г. Худжанде, Худжанд, Таджикистан
E-mail: mahmad1@list.ru

Аннотация: В статье приводятся обзор литературных данных по теплофизическим свойствам гидразинзамещенных водных растворов при различных температурах (293-673) К, давлениях (0,101-98,01) МПа и концентрации компонентов.

Ключевые слова: ракетных топлив (гидразин, аэрозин-50, диметилгидразин, гидразингидрат, фенилгидразин и др.), метод, концентрация, температура и давление.

**THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF COLLOID, CLUSTER
HYDRAZINE HYDRATE AND HYDRAZINE SUBSTITUTE AQUEOUS
SOLUTIONS (OVERVIEW)**

Abstract: The article presents the results of an experimental study of thermophysical at various temperatures (293-673) K, pressures (0,101-98,01) MPa and concentrations 50%hydrazine and 50% 1,1. dimetilhydrazine.

Key words: rocket fuel, theplohysical properties, temperature and pressure.

До сегодняшнего дня разными авторами, и различными методами работы были проведены исследования по некоторым термодинамическим и теплофизическим свойствам чистого гидразина и некоторых их водных растворов Бывшем Советском Союзе [1-6], как доказывает открытой публикацией.. Авторами А.Л. Цыкало, В.К. Савенков и др. (Россия) в работе [1], Гребенков А.В.(Белоруссия) были исследованы термодинамические свойства при атмосферном давлении и комнатной температуре чистого гидразина. Судья по открытой печати можно отметить, в течение 50 лет ученые занимаются исследованием теплофизических и термодинамических характеристик

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

гидразина, диметилгидразина, этилгидразина, гидразингидрата и аэрозина-50 при различных параметрах состояния (таблица 1).

Таблица 1.–Теплофизические свойства гидразинзамещенных водные растворов полученных авторами стран СНГ, в том числе Республики Таджикистан.

№	Авторы	Год	Параметры и объект исследования	Интервал параметров состояния
1	Цыкало А.Л. Савенков В.К. и др.	1974	ρ , C_p , чистый гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
2	Сафаров М.М. Маджидов Х. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1992	λ , C_p , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
3	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1992	λ , C_p , водный раствор гидразин	T= 298- 385 К P=0,101-49,01 МПа
4	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1992	λ , гидразингидрат	T= 298 -385 К P=0,101-49,01 МПа
5	Сафаров М.М.	1993	λ , C_p , ρ , α , ν водный раствор гидразин	T= 298- 575 К P=0,101-98,01 МПа
6	Сафаров М.М. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1993	ρ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
7	Сафаров М.М. Картавченко А.В.	1993	ρ , водный раствор гидразин	T= 298- 575 К P=0,101-98,01 МПа
8	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1993	C_p , водный раствор фенилгидразина	T= 298 К P=0,101 МПа
9	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1993	λ , ρ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
10	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Назруллоев А.С.	1993	ν , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
11	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Назруллоев А.С.	1993	ρ , водный раствор гидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
12	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1994	μ , водный раствор гидразин	T= 298 -575 К P=0,101-49,01 МПа

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

13	Сафаров М.М. Картавченко А.В. Зарипова М.А.	1994	μ , ρ водный раствор гидразин и фенилгидразин	T= 298 К P=0,101 МПа
14	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	λ , ρ , водный раствор гидразин	T= 298 -565 К P=0,101-49,01 МПа
15	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	μ , ρ водный раствор фенилгидразина	T= 298 383 К P=0,101 МПа
16	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	ν , водный раствор гидразина	T= 298 -383 К P=0,101 МПа
17	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1995	ν , водный раствор фенилгидразина	T= 298 -565 К P=0,101-49,01 МПа
18	Safarov M.M. Zaripova M.A. Rajabov F.S. Turgunboev M.T.	1995	λ , ρ , water solutions hydrazine	T= 298- 565 К P=0,101-49,01 МПа
19.	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Раджабов Ф.С. Тургунбоев М.Т.	1995	ρ , водный раствор аэрозина	T= 298- 535 К P=0,101-49,01 МПа
20	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1996	λ , C_p , ρ , α водный раствор гидразина	T= 298- 530 К P=0,101-98,01 МПа
21	Сафаров М.М. Зарипова М.А.	1996	λ , ρ водный раствор фенилгидразина	T= 298- 533 К P=0,101-98,01 МПа
22	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Раджабов Ф.С.	1996	C_p , водный раствор аэрозина	T= 298- 473 К P=0,101-49,01 МПа
23	Сафаров М.М., Зарипова М.А., Давлатова В.	1996	C_p , водный раствор диметилгидразина	T= 298- 483 К P=0,101-49,01 МПа
24	Safarov M.M. Zaripova M.A. Rajabov F.S. Turgunboev M.T.	1996	λ , ρ , α , C_p , water solutions hydrazine	T= 298 -535 К P=0,101-98,01 МПа
25	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т.	1997	λ , C_p ρ , водный раствор аэрозина	T= 298 -426 К P=0,101-49,01 МПа
26	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т. Раджабов Ф.С.	1997	ρ , водный раствор аэрозина	T= 298 -415 К P=0,101-98,01 МПа

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

27	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т.	1998	λ , C_p ρ , водный раствор диметил гидразина	T= 298 -425 К P=0,101-49,01 МПа
28	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Тургунбоев М.Т.	2001	λ , C_p ρ , гидразинзамешенных водных растворов	T= 298 -335 К P=0,101 МПа
29	Гребенков А.Ж.	2002	λ , C_p ρ , гидразин	T= 298 -425 К P=0,101-29,32 МПа
30	Safarov M.M. Zaripova M.A. Tilloeva T.R. Zoirov H.A.	2008	λ , ρ , water solutions dimethylhydrazine	T= 298 -435 К P=0,101-49,01 МПа
31	Сафаров М.М. Зарипова М.А. Нажмуддинов Ш. З.	2009	ρ , водных растворов триметилгидразина	T= 298 -435 К P=0,101-49,01 МПа
32	Safarov M.M. Zaripova M.A. Tilloeva T.R. Zoirov H.A.	2009	λ , C_p , ρ , water solution ethylhydrazine	T= 298-405 К P=0,101-49,01 МПа
33	Зарипова М.А.	2008	λ , C_p ρ , гидразинзамешенных водных растворов	T= 298-405 К P=0,101-98,01 МПа
34	Зарипова М.А.	2008	Калорические свойства гидразинзамешенных водных растворов	T= 298-405 К P=0,101-49,01 МПа
35	Зарипова М.А.	2011	λ , C_p ρ , триметилгидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,01 МПа
36	Зарипова М.А.	2011	λ , C_p ρ , этилгидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,01 МПа
37	Зарипова М.А.	2011	Термодинамические свойства этилгидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,01 МПа
38	Зарипова М.А.	2011	λ , водных растворов метилгидразина	T= 298-473 К P=0,101-49,01 МПа
39	Зоиров Х.А., Сафаров М.М., Тагоев С.А.	2011	Влияние нанооксидов на изменение термодинамических свойств гидразингидрата	T= 298-453 К P=0,101- 0,141МПа

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

	Зарипова М.А., Тошов А.Г.			
40	Зоиров Х.А.	2014	Теплофизические, электрофизические и диффузионные свойства гидразингидрата в зависимости от температуры и концентрации некоторых окисей металлов	T= 298-453 К P=0,101-0,141 МПа
41	Зарипова М.А.	2016	Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих, азотосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях	T= 298-573 К P=0,101-49,01 МПа
42	Едалиева З.Н.	2016	λ , ρ , C_p –диметилгидразин как в чистом виде, так с добавкой полупроводниковых нанопорошок	T= 298-673 К P=0,101-49,01 МПа

Как показали результаты изучения работ других авторов, термодинамические и теплофизические свойства гидразина, диметилгидразина, фенилгидразина, этилгидразина, а также некоторых его водных растворов изучались профессором Сафаровым М.М. и его учениками. Однако теплофизические, термодинамические и электрофизические свойства гидразингидрата с добавкой нооструктурных оксидов металлов при различных температурах и относительно небольших давлениях еще не были изучены. В связи с этим наш интерес и был направлен на проведение ряда экспериментов и изучение данных свойств гидразингидрата с различными концентрациями амфотерных оксидов металлов. Значительный прогресс существует в области нанотехнологий, при этом способы получения наночастиц металлов весьма обширны. Метод консолидации инертного газа (IGC) является одним из самых эффективных методов [7]. При этом способе металл испаряется в охлаждаемой камере, который содержит инертный газ с низкой плотностью. От источника тепла к охладителю газа пар металла течет путем конвективной диффузии. Снижение температуры приводит к быстрому уменьшению равновесию давления пара и к достижению высоких степеней перенасыщения. Это способствует быстрому образованию критических зародышей и роста кластеров, которые затем достигают стенок камеры и вакансии на них. Мы исследуем "снизу-вверх" образование металлических нанокластеров с помощью многомасштабного метода компьютерного

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

моделирования, которой включает квантово-механический расчет сил между частицами, классической молекулярной динамики, атомной структуры и макроуровневое моделирование турбулентного перемешивания с образованием ядра кристалла, который быстро растёт за счет коалесценции и коагуляции. Многомасштабное моделирование предлагает не только моделирование в различных масштабах, но и возможность применения результатов моделирования, полученных на одном уровне в качестве входных данных для моделирования на следующем уровне масштабирования. Такое сочетание позволяет обнаружить ассоциацию между различными физическими свойствами и процессами формирования нано-частиц. Чтобы исследовать требования нанопорошковых металлов, нужно потребовать размеры и их структуры. Мы использовали компьютерное моделирование, чтобы понять фундаментальные принципы, наноразмерных систем, таких как наночастицы металла, для чего нужно самостоятельно собрать, узнать и проконтролировать процесс сборки.

Наножидкость представляют собой суспензии твердых наночастиц с размерами, как правило, 1-100 нм в традиционной жидкости, такие как вода, гликоль и масло [7-9]. Эти твердые жидкости, композиты очень стабильны и показывают значительное повышение в теплопроводности и конвективного теплообмена относительно традиционных жидкостей и, следовательно, они кажутся "Охлаждающей средой будущего". Наножидкости были исследованы в последнее время для количественной оценки эффективности теплообмена, чтобы определить конкретные механизмы транспорта и критических параметров и для разработки конкретных методов производства, управления и измерения. Экспериментальные исследования включают в себя металлические наночастицы (Cu, Al, Au и Ag), оксидов наночастиц (CuO, Al₂O₃, TiO₂ и SiO₂) и углеродных нанотрубок (УНТ) в традиционных жидкостях, таких как вода, гликоль и масло с широким диапазоном наночастиц объемной доли и размера. Экспериментальная работа, до сих пор не была достаточно изучена: систематический сбор, звуковое количество когерентных, однозначных данных относительно методологии и результатов. Однако эксперименты указывают на возможность успешного применения наножид-костей в качестве транспортной среды в нескольких системах и процессах. Экспериментальные исследования, имеющиеся в современной литературе по теплофизическим и транспортным свойствам наножидкостей, ориентированы, в основном, на измерение теплопроводности и коэффициента теплопередачи, но наборы данных достаточно распространены и охватывают диапазон рабочих температур вблизи или выше температуры окружающей среды.

Литература

- 1.Цыкало, А.Л. Термодинамические свойства гидразина. / А.Л. Цыкало, В.К. Савенков и др. // – Рук. деп. в ВИНТИ. - № 536. - С. 74.
- 2.Картавченко, А.В. Разработка каталитического пакета разложения низкотемпературного топлива (типа гидразингидрата) для глубоководного аппарата «Океан». /А.В. Картавченко, В.М.Григорьев, В.А.Дидык. //НПО ГИПХ, 1987; Инв.- № 53 – 87. – С.28.
3. Греков, А.П. Физическая химия гидразина. /А.П. Греков, В.Я. Веселов. // Наукова думка. - 1979. -С. 264.
4. Назруллозода, А.С., Сафаров М.М., Тургунбоев М.Т. Наноструктурных амфотерных оксиды металлов и их влияние на теплофизических свойства водных растворов (Монография). -Душанбе,2024г.- 163с.
- 5.Тургунбоев, М.Т., Сафаров М.М. Влияние температуры и давления на теплопроводность, температуропроводность и вязкость водных растворов азозина и диметилгразина. Бохтар. -2024г.-166с.
6. Гельчинский, Б. К., Коренченко А., Воронцов А. Компьютерное моделирование наночастиц формирования и роста в паровой фазе процесса конденсации. <http://www.nist.gov>.
- 7.Джованни, А., Лонго К.С., Клаудио З. Экспериментальные измерения теплофизических свойств этиленгликоля и нанодисперсных частиц Al_2O_3 . <http://www.nist.gov>.
- 8.Петров, Ю.И. Физика малых частиц. - 1982. – 332с.
- 9.Непийко, С.А. Физические свойства малых металлических частиц. - 1985. –165с.

Сведения об авторах

Назруллозода Абдукодир Садулло (Назруллоев Абдукодир Садуллоевич)-, к.т.н, доцент,ТГПУ имени С.Айни,918 42 91 13

Тургунбоев Мусоджон Турсуналиевич-к.т.н., доцент кафедры общая физика БГУ имени Носири Хусрав,98 503 23 24

Сафаров Махмадали Махмадиевич-д.т.н., профессор Заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, ТТУ имени академика М.С. Осими, 93 163 15 85

Абдуллоев Мухамадхужа Атохужаевич- к.т.н, доцент, ГМИ в г.Худжанде, 926 0043 96

СПЕКТРАЛЬНАЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛАТИНЫ В
ОБЛАСТИ ТОЧКИ ПЛАВЛЕНИЯ

Шайхетдинов Р.С., Косенков Д.В., Сагадеев В.В.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический
университет», Россия

E-mail: dmi-kosenkov@yandex.ru

Аннотация: Работа посвящена исследованию нормальной спектральной излучательной способности – $\varepsilon_{\lambda n}$ платины в области точки плавления и зависимости $\varepsilon_{\lambda n}$ от длины волны – λ в диапазоне $0,26 \div 2,2$ мкм. Рассматривается теоретический расчет $\varepsilon_{\lambda n}$ по приближению Хагена - Рубенса. Представлен сравнительный анализ с уже существующими литературными данными.

Ключевые слова: излучательная способность, область точки плавления, платина.

SPECTRAL EMISSION OF PLATINUM IN THE REGION OF THE
MELTING POINT

Abstract: The work is devoted to the study of the normal spectral emissivity – $\varepsilon_{\lambda n}$ of platinum in the melting point region and the dependence of $\varepsilon_{\lambda n}$ on the wavelength – λ in the range of $0,26 \div 2,2$ microns. The theoretical calculation of $\varepsilon_{\lambda n}$ by the Hagen-Rubens approximation is considered. A comparative analysis with existing literature data is presented.

Keywords: emissivity, melting point region, platinum.

Введение

Изучение излучательной способности металлов имеет большое значение в различных областях науки и техники, включая материаловедение, термодинамику и теплообмен [1]. В частности, $\varepsilon_{\lambda n}$, играет одну из ключевых ролей в понимании тепловых процессов, происходящих при высоких температурах, а также для улучшения термодинамических моделей и оптимизации процессов нагрева в промышленных установках.

Изучение $\varepsilon_{\lambda n}$ платины особенно актуально в области плавления (2041,3 К [2]), где происходят изменения в кристаллической структуре металла и, следовательно, в оптических свойствах.

Цель данной статьи заключается в представлении результата исследования $\varepsilon_{\lambda n}$ платины в области точки плавления с использованием радиационного метода.

Аспекты исследования

Для изучения $\varepsilon_{\text{тп}}$ платины в области точки плавления использовался аналогичный метод исследования, что и в [3, 4]. Погрешность измерений оценена авторами в $\pm 5\%$. Платина соответствовала чистоте 99,98% (марка Пла-0). Исследования проводились в среде инертного газа – аргона. Для фиксации $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ использовалась система, включающая пирометр с высокоточной настройкой. Возможность работы в диапазоне $\lambda 0,26 \div 2,2$ мкм обеспечивалась съемными светофильтрами [3]. Образцы платины перед экспериментом полировались до зеркального состояния - 14 класса чистоты поверхности. Условия проведения эксперимента стандартизированы для достижения сопоставимости с предыдущими исследованиями авторов.

Результаты и обсуждения

Твердая фаза (т.ф.) исследовалась при температуре 2018 К. Наблюдается падение $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ с ростом λ (см. рисунок). В открытых источниках имеется единичное значение $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ по т.ф. [5]. Данные авторов удовлетворительно согласуются с этим значением при $\lambda = 0,68$ мкм.

Жидкая фаза (ж.ф.) исследовалась при температуре 2053 К. В ж.ф. также происходит падение $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ с ростом λ (см. рисунок). Значения $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ [6] в диапазоне $\lambda 0,52 \div 1,5$ мкм хорошо согласуются со значениями авторов статьи. Единичное значение $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ по ж.ф. [5] по аналогии со сравнением в т.ф. согласуется удовлетворительно.

Удовлетворительное согласие значений $\varepsilon_{\lambda\text{п}}$ [5] в области температуры плавления авторы объясняют различием в методе проведения исследований, отличие химической чистоты образцов и технической оснащенности лабораторий.

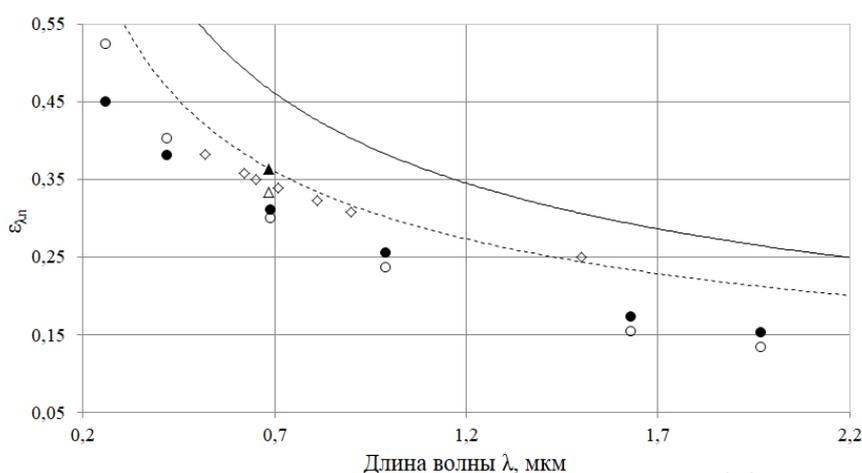


Рисунок. Зависимость излучательной способности платины от длины волны в области точки плавления: ○ – измерения авторов т.ф.;

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

● – измерения авторов ж.ф.; Δ – [5] т.ф.; \blacktriangle – [5] ж.ф.; \diamond – [6] ж.ф.;
штриховая линия – расчет по приближению т.ф.; сплошная линия – расчет
по приближению ж.ф.

Анализ представленных зависимостей $\varepsilon_{\lambda n}$ платины от λ как в т.ф., так и в ж.ф. показал, что в области λ , соответствующих инфракрасному диапазону, излучательная способность значительно возрастает.

На рисунке представлены результаты теоретического расчета по приближению Хагена – Рубенса, которое основывается на классической электромагнитной теории [7]. Приближение связывает $\varepsilon_{\lambda n}$ с удельным электрическим сопротивлением металла - ρ . Однако здесь возникает необходимость использования надежных данных по ρ . Авторы использовали значения, рекомендованные [8].

Выводы

Исследование $\varepsilon_{\lambda n}$ платины в точке плавления продемонстрировало значительное влияние λ на результаты измерений. Приближение Хагена-Рубенса лишь качественно, но не количественно, может описать зависимость $\varepsilon_{\lambda n}$ от λ .

Литература

1. Siegel, R. Thermal radiation heat transfer / R. Siegel, J. R. Howell. – Washington etc.: Hemisphere publ. corp., 1992. – 1072 p.
2. Arblaster, J. W. The thermodynamic properties of platinum / J. W. Arblaster // Platinum Metals Rev. – 2005. – Vol. 49. – № 3. – P. 141–149.
3. Косенков, Д. В. Изменение нормальной спектральной излучательной способности при плавлении элементов / Д. В. Косенков, В. В. Сагадеев // Журнал технической физики. – 2022. – Т. 92. – № 3. – С. 342–347.
4. Косенков, Д. В. Степень черноты ряда металлов VIII группы периодической системы / Д. В. Косенков, В. В. Сагадеев, В. А. Аляев // Теплофизика и аэромеханика. – 2021. – Т. 28. – № 6. – С. 951–956.
5. Thermophysical properties of solid and liquid platinum / B. Wilthan, C. Cagran, C. Brunner, G. Pottlacher // Thermochimica Acta. – 2004. – Vol. 415. – № 1. – P. 47–54.
6. McClure, J. L. Radiance Temperatures (in the Wavelength Range 527 to 1500 nm) of Palladium and Platinum at Their Melting Points by a Pulse-Heating Technique / J. L. McClure, A. Cezairliyan, E. Kaschnitz // Int. J. of Thermophys. – 1999. – Vol. 20. – № 4. – P. 1149–1161.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

7. Свет, Д. Я. Оптические методы измерения истинных температур / Д. Я. Свет. – Москва: Наука, 1982. – 296 с.

8. Pottlacher, G. High Temperature Thermophysical Properties of 22 Pure Metals / G. Pottlacher // High Temperatures – High Pressures. –2022. – Vol. 51. – P. 1–152.

Сведения об авторах:

Шайхетдинов Рамиль Сайдашевич – магистр группы 231-М091 кафедры технологий конструкционных материалов ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Косенков Дмитрий Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры вакуумной техники электрофизических установок ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Сагадеев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной компьютерной графики и автоматизированного проектирования ФГБОУ ВО «КНИТУ».

ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА УЧЕБНОГО ЗДАНИЯ ФАКУЛЬТЕТА
ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТАДЖИКСКОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С.
ОСИМИ

Тагоев С.А.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

E-mail: safovidin.tagoev@yandex.ru

Аннотация. *В работе представлена расчет тепловой нагрузки учебного корпуса факультета транспорта и дорожной инфраструктуры Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими по укрупненным данным с учетом среднемесячных температур в г. Душанбе.*

Ключевые слова: *тепловая нагрузка, отопление, расчетная температура, расход тепла.*

THERMAL LOAD OF THE EDUCATIONAL BUILDING OF THE
FACULTY OF TRANSPORT AND ROAD INFRASTRUCTURE OF THE
TAJIK TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ACADEMICIAN M.S.
OSIMI

Abstract. *The paper presents a calculation of the thermal load of the academic building of the Faculty of Transport and Road Infrastructure of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi to the aggregated data, taking into account the average monthly temperatures in Dushanbe.*

Keywords: *thermal load, heating, design temperature, heat consumption.*

Учебный корпус факультета транспорта и дорожной инфраструктуры Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими построена в 1954 г., представляет трёхэтажное здание с общей площадью 6222 м², из них площадь учебных аудиторий - 4500 м². В данный момент здания не имеет централизованное отопление, нагрев отдельных помещений осуществляется с помощью электроэнергии.

Согласно стандарту, температура внутри учебных помещений должно составлять +16°C [1]. Так как, расчетная температура наружного воздуха для г. Душанбе выше -30°C, поэтому температура внутри помещений выбирается на 2°C выше стандартной температуры, т.е. +18°C.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления зданий – это температура наиболее холодного месяца отопительного сезона, продолжительностью не менее 5 суток.

В качестве расчетной температуры наружного воздуха для проектирования системы вентиляции зданий принимается средняя температура наиболее холодного месяца отопительного сезона.

Наиболее холодным месяцем отопительного сезона является январь. Для г. Душанбе расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления зданий $t_{\text{рнo}} = -13^{\circ}\text{C}$, вентиляции $+2^{\circ}\text{C}$.

В таблице 1 приведены исходные данные для расчета тепловой нагрузки здания.

Таблица 1. Исходные данные для расчета тепловой нагрузки здания

№	Параметр, единица измерения	Значение
1	Количество этажей	3
2	Высота здания, м	9
3	Начало эксплуатации здания, год	1954
4	Площадь отапливаемых помещений здания, м ²	6222
5	Расчетная температуры наружного воздуха для проектирования системы отопления в г. Душанбе, °C [1]	-13
6	Температура внутри учебных помещений, °C [2]	+18
7	Среднемесячная температура ноября, °C [3]	+9,3
8	Среднемесячная температура декабря, °C [3]	+4,1
9	Среднемесячная температура января, °C [3]	+2,0
10	Среднемесячная температура февраля, °C [3]	+3,4
11	Среднемесячная температура марта, °C [3]	+8,6

Тепловая нагрузка здания (по отоплению) – это общее количество тепла, которое использует система отопления здания для нагревания помещений до комфортных температур, в нашем случае $+18^{\circ}\text{C}$, в холодный отопительный период. В г. Душанбе холодным периодом времени можно считать месяцы ноябрь, декабрь, январь, февраль и март, в которых температура наружного воздуха может опускаться ниже $+8^{\circ}\text{C}$. Расчет тепловой нагрузки обычно производится для определенного периода времени (час, сутки, месяц, сезон или год), но основным расчетным значением является часовая тепловая потребность, по которому рассчитывается месячная и годовая (сезонная) нагрузка.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Расчетный тепловой поток (тепловая мощность) для отопления по укрупненным данным определяется по формуле [4]:

$$Q_{\text{макс}} = \alpha \cdot q_0 \cdot V(t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}})(1 + K_{\text{инф}}) \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал/ч}, \quad (1)$$

здесь: α – коэффициент, учитывающий отличие расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления в местности, где расположено рассматриваемое здание, от -30 °С, при которой определено соответствующее значение q_0 ; (в зависимости от $t_{\text{рнo}}$, формула (2)); q_0 – удельная тепловая характеристика здания при $t_{\text{рнo}} = -30$ °С (формула (3) и табл. 2), ккал/(ч·м³·°С), поток тепла, которая теряет 1 м³ объем здания в единицу времени при разности температур воздуха внутри помещения и наружного воздуха 1°С; V – объем здания по наружному обмеру, м³; $t_{\text{вн}}$ – расчетная температура внутри помещения, °С; $t_{\text{рнo}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления зданий, °С; $K_{\text{инф}}$ – расчетный коэффициент инфильтрации, обусловленной тепловым и ветровым напором, т.е. соотношение тепловых потерь зданием с инфильтрацией и теплопередачей через наружные ограждения при температуре наружного воздуха, расчетной для проектирования отопления [1].

$$\alpha = 0,54 + \frac{22}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} = 0,54 + \frac{22}{18 - (-13)} = 1,25. \quad (2)$$

$$q_0 = \frac{Q_{\text{po}}}{V(t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}})}, \text{ ккал/(ч} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{°С)} \quad (3)$$

Таблица 2. Удельная тепловая характеристика зданий

Здание	Наружный объем здания, V, м ³	Удельная тепловая характеристика здания для отопления q_0 , ккал/(ч·м ³ ·°С)
Образовательные здания	до 5000	0,39
	до 10000	0,35
	более 10000	0,33

Расчетный коэффициент инфильтрации определяется по формуле:

$$K_{\text{инф}} = 10^{-2} \sqrt{2gL \left(1 - \frac{273+t_{\text{рнo}}}{273+t_{\text{в}}}\right) + w_p^2}, \quad (4)$$

где, g – ускорение свободного падения, м²/с; L – свободная высота здания, м; w – расчетная для данной местности скорость ветра в отопительный период, м/с, принимается по СНиП 2.04.05-91 [1].

При высоте трёхэтажного здания $L=9$ м и средней скорости ветра $w=3$ м/с получим:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

$$K_{\text{инф}} = 10^{-2} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 9 \left(1 - \frac{273-13}{273+18}\right) + 3^2} = 0,05.$$

Среднемесячная количество потребного тепла определяется по формуле, Гкал:

$$Q_0 = Q_{0\text{макс}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} 24n_{\text{м}}, \text{ Гкал}, \quad (5)$$

где: $n_{\text{м}}$ – количество суток в данном месяце, сут., $t_{\text{ср.м}}$ – средняя температура данного месяца, °С.

Используя приведенную методику и исходные данные, рассчитываем тепловые нагрузки зданий.

1. Объем здания принимаем по общей площади S и высоте здания H :

$$V = SH = 6222 \times 9 = 55998 \text{ м}^3.$$

Объем здания принимаем $V = 56000 \text{ м}^3$.

2. Расчетный тепловой поток (тепловая мощность) для отопления здания:

$$Q = \alpha \cdot q_0 \cdot V (t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}) (1 + K_{\text{инф}}) \cdot 10^{-6} = 1,25 \cdot 0,33 \cdot 56000 (18 - (-13)) \cdot 1,05 \cdot 10^{-6} = 0,752 \text{ Гкал/ч} = 0,872 \text{ МВт}.$$

3. Среднемесячная тепловая нагрузка для здания:

$$Q_{\text{м}}(\text{ноябрь}) = Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} n_{\text{м}} 24 = 0,752 \frac{18 - 9,3}{18 - (-13)} 30 \cdot 24 = 152 \text{ Гкал}.$$

$$Q_{\text{м}}(\text{декабрь}) = Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} n_{\text{м}} 24 = 0,752 \frac{18 - 4,1}{18 - (-13)} 31 \cdot 24 = 251 \text{ Гкал}.$$

$$Q_{\text{м}}(\text{январь}) = Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} n_{\text{м}} 24 = 0,752 \frac{18 - 2}{18 - (-13)} 31 \cdot 24 = 289 \text{ Гкал}.$$

$$Q_{\text{м}}(\text{февраль}) = Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} n_{\text{м}} 24 = 0,752 \frac{18 - 3,4}{18 - (-13)} 28 \cdot 24 = 238 \text{ Гкал}.$$

$$Q_{\text{м}}(\text{март}) = Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рнo}}} n_{\text{м}} 24 = 0,752 \frac{18 - 8,6}{18 - (-13)} 31 \cdot 24 = 170 \text{ Гкал}.$$

Для определения годовой (сезонной) нагрузки, результаты расчетов суммируем (табл. 3).

Таблица 3. Годовая (сезонная) тепловая нагрузка, Гкал

Ноябрь (30 сут)	Декабрь (31 сут)	Январь (31 сут)	Февраль (28 сут)	Март (31 сут)	Всего за сезон
151	251	289	238	170	876

Таким образом, в отопительный сезон для отопления здания до комфортных температур необходимо 876 Гкал тепла. Данный расчет является приближенным. Для фактического определения расхода тепла, возможностью регулирования температуры помещений и вследствие – энергосбережения,

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

необходимо устанавливать на входе в систему отопления зданий приборы контроля (теплосчетчики) и регулирования тепла [5].

Литература

1. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. –М.: 2012. -30 с.
2. СНиП 2.08.02-89. Общественные здания и сооружения. –М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. -26 с.
3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. –М.: Госстрой СССР, ГП ЦПП, 1996. -136 с.
4. МДК 4-05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. –М.: «Роскоммунэнерго», 2004. -78 с.
5. Тагоев С.А. Расчет тепловой нагрузки учебных и жилых зданий Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими с учетом среднемесячных температур г. Душанбе / Тагоев С.А., Шарипов Ш.К., Зоиров Х.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №4 (44). – Душанбе: Изд-во ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2018. -226 с. –С. 213-218. ISSN: 2520-2227

Сведения об авторе:

Тагоев Сафовидин Асоевич - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплотехники и теплоэнергетики ТТУ им. акад. М.С. Осими, тел.: (+992) 91 913 26 39.

ГИБРИДНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Тагоев С.А.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

E-mail: safovidin.tagoev@yandex.ru

Аннотация. В работе представлена расчет геотермальной теплонасосной системы для гибридного теплоснабжения учебного корпуса факультета транспорта и дорожной инфраструктуры Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и выбор основного оборудования

Ключевые слова: гибридная система теплоснабжения, теплонасосная установка, мощность, площадь коллектора.

HYBRID HEAT SUPPLY BASED ON A HEAT PUMP UNIT

Abstract. The paper presents the calculation of a geothermal heat pump system for hybrid heat supply of the academic building of the Faculty of Transport and Road Infrastructure of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi and the choice of basic equipment.

Keywords: hybrid heat supply system, heat pump installation, capacity, collector area.

Гибридный источник теплоснабжения применяется для эффективного использования энергоресурсов. Гибридными называются такие системы, в которых тепло вырабатывается на основе нескольких источников энергии. Все бивалентные (два источника) и поливалентные (много источников) системы теплоснабжения являются гибридной, однако в настоящее время под гибридные системы подразумевают систему, включающий в состав источник, генерирующий тепло от возобновляемых «зеленых» источников энергии [1].

Преимуществом гибридных систем является использования нескольких энергоресурсов и, соответственно, теплогенераторов. Одним из таких преимуществ является возможность снижения капитальных затрат на строительство системы ввиду изначально различной стоимости энергоресурсов и возможности регулирования мощности. Другим преимуществом гибридной системы является надежность - при отказе одного из теплогенераторов в работу можно включать резервный теплогенератор. Но, главным достоинством современных гибридных систем с возобновляющим источником тепла является экологичность, позволяющие снизить выбросы вредных веществ в атмосферу

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

по сравнению с традиционными моновалентными источниками тепла - ТЭЦ на органическом топливе (уголь, мазут, природный газ).

Гибридную систему теплоснабжения можно применять, в частности для теплоснабжения учебного корпуса факультета транспорта и дорожной инфраструктуры Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, в данный момент который, не имеет централизованное отопление, а нагрев отдельных помещений осуществляется с помощью электроэнергии.

Для проектирования гибридной системы на основе теплонасосной установки, в начале необходимо определить максимальную тепловую нагрузку здания:

$$Q_{\text{макс}} = V_{\text{п}} \times \Delta t \times K, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $V_{\text{п}}$ - объем здания, м^3 ; Δt - разница температур между наружного воздуха и необходимой температурой внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$; K - коэффициент рассеяния (зависит от типа конструкции и изоляции помещения), $K = 1,0 - 1,9$ - стандартная конструкция, двойная кирпичная кладка, небольшое число окон, стандартная кровля, средняя теплоизоляция.

При объеме здания $V_{\text{з}} = 6222 \text{ м}^3$, расчетной температуре наружного воздуха для отопления по г. Душанбе $t_{\text{н}} = -13^{\circ}\text{C}$ [2], температуре внутри помещения $t_{\text{вн}} = +18^{\circ}\text{C}$ [2], разности температур $\Delta t = 18 + 13 = 31^{\circ}\text{C}$ получим:

$$Q_{\text{макс}} = 6222 \times 31 \times 1,9 = 366475,4 \text{ Вт} \approx 0,37 \text{ МВт} = 0,318 \text{ Гкал/ч.}$$

Если по этому параметру проектировать теплонасосную систему, то получится очень громоздко, требующий большие капитальные затраты. Учитывая среднюю температуру отопительного сезона или среднюю температуру наиболее холодного месяца (января) по г. Душанбе, равный $+2^{\circ}\text{C}$, получим тепловую мощность теплонасосной установки [3]:

$$Q_{\text{тн}} = Q_{\text{макс}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{рн0}}} = 0,37 \frac{18 - 2}{18 - (-13)} = 0,19 \text{ МВт} = 190 \text{ кВт.}$$

Остальную часть мощности (при понижении температуры наружного воздуха ниже $+2^{\circ}\text{C}$, можно получить с помощью резервного теплогенератора, например, электродных котлов:

$$Q_{\text{эк}} = Q_{\text{макс}} - Q_{\text{тн}} = 0,37 - 0,19 = 0,18 \text{ МВт.}$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Количество трансформируемого тепла, а, следовательно, и размер необходимой поверхности для расположения грунтового коллектора существенно зависит от теплофизических свойств грунта и климатических условий местности. Теплофизические свойства, такие как теплоемкость и теплопроводность, очень сильно зависят от состава и состояния грунта. В этом отношении определяющими являются доля воды, содержание минеральных составляющих (кварц, полевой шпат), доля и размер пор, заполненных воздухом. Аккумулирующие свойства и теплопроводность грунта тем выше, чем больше доля воды, минеральных составляющих и чем ниже содержание пор. Требуемая площадь для расположения горизонтального зонда (коллектора) по съему геотермальной энергии рассчитывается по формуле [4]:

$$S = Q_{\text{тн}}/q, \quad (2)$$

где: $Q_{\text{тн}}$ – мощность теплонасосов, Вт; q — удельная мощность грунтового коллектора, Вт/м².

При мощности теплонасосов 190000 Вт, в влажном грунте ($q = 25$ Вт/м²) для размещения коллектора потребуется площадь:

$$S = Q_x/q = 190000/25 = 7600 \text{ м}^2.$$

Это площадь примерно 90×90 м. Чтобы снять геотермальное тепло с такой площади, необходимо проложить в грунте трубы диаметром 25×2 мм длиной $l = 7600 \times 1,4 = 10640$ м (1,4 — удельный расход трубы на 1 м² площади). Если трубы прокладывать отдельными U-образными контурами по 200 м каждый, то получится 53 контуров.

При вертикальном варианте расположении труб необходимо бурить скважину глубиной до 200 м, в которую опускается несколько U-образных трубопроводов. В глинистом влажном грунте (теплосъем $q = 100$ Вт/м) при мощности теплонасосов 190000 Вт и количество скважин $m = 10$, длина зонда (глубина скважины) должна быть:

$$L_c = Q_{\text{тн}}/mq = 190000/(10 \cdot 100) = 190 \text{ м}.$$

Можно сделать пять U-образных трубопроводов диаметром $D_y = 32 \times 3$ мм с глубиной скважины $L_c = 95$ м, тогда общая длина труб составит $L_{\text{тр}} = 950$ м. Скважину с трубами необходимо заливает бетонитом, хорошо проводящим тепло.

Выбираем геотермальный тепловой насос марки SILA GM-200 тепловой мощностью 200 кВт. Характеристики теплового насоса приведена в таблице 1 [5].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таблица 1. Характеристики теплового насоса SILA GM-200 при температуре нагретой воды 55°C

Температура источника, °С	Тепловая мощность $Q_{\text{тн}}$, кВт	Потребляемая мощность $N_э$, кВт	КПД= $Q_{\text{тн}}/N_э$
15	190	39,1	4,9
10	171	39,1	4,4
5	153	39,1	3,9

Как видно из табл. 1 при температуре источника (грунта) 15°C тепловая мощность теплового насоса SILA GM-200 соответствует проектным расчетным данным 190 кВт. При понижении температуры источника тепловая мощность падает. При этом установка потребляет 39,1 кВт электроэнергии, что также можно получить с источников возобновляемой энергии, например, солнечных панелей.

КПД установки, равной 4,9 означает, что установка, потребляя 39,1 кВт электроэнергии, производит 4,9 раза больше - 190 кВт тепловой энергии за счет бесплатной геотермальной энергии:

$$\text{КПД} = Q_{\text{тн}}/N_э = 190/39,1 = 4,9,$$

где: $Q_{\text{тн}}$ – тепловая мощность теплонасосной установки, передаваемой теплоносителю, кВт; $N_э$ – электрическая мощность, потребляемая теплонасосной установки для работы компрессора, кВт.

Литература

1. Гибридные системы отопления и ГВС. info@d-d-service.ru.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. –М.: 2012. -30 с.
3. Тагоев С.А. Расчет тепловой нагрузки учебных и жилых зданий Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими с учетом среднемесячных температур г. Душанбе / Тагоев С.А., Шарипов Ш.К., Зоиров Х.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №4 (44). – Душанбе: Изд-во ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2018. -226 с. –С. 213-218. ISSN: 2520-2227.
4. Тагоев С.А., Султонзода Ш.М., Қосимов У.У. Перспективы внедрения неглубоких геотермальных систем в условиях республики Таджикистан. Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №2 (66). -

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Душанбе: Изд-во ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2024. -186 с. -С. 20-26. ISSN 2520-2227

5. Геотермальные тепловые насосы. sila-heat.ru.

Сведения об авторе:

Тагоев Сафовидин Асоевич - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплотехники и теплоэнергетики ТТУ им. акад. М.С. Осими, тел.: (+992) 91 913 26 39.

СЕКЦИЯ – 4

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Шарифов Б.Н., Диёрзода Р.Х., Мухаммадиев Н.А.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

E-mail: bohir.sharifov89@gmail.com

Аннотация. Введение новых технологий в энергетический сектор является важным шагом для повышения его эффективности и устойчивости. В этом контексте особую роль играют фотоэлектрические установки, которые преобразуют солнечную энергию в электрическую. Эти установки представляют собой одно из ключевых направлений в переходе на возобновляемые источники энергии. Однако для того, чтобы полностью реализовать их потенциал, необходимо обеспечить оптимальное управление системой способствующей повышению эффективности генерации электрической энергии. Одним из наиболее результативных методов улучшения эффективности генерации является применение интеллектуальных систем управления, которые используют технологии искусственных нейронных сетей. Интеллектуальная система управления на основе методов искусственной нейронной сети позволяет оптимизировать работу фотоэлектрической установки путем адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды. Нейронная сеть может обрабатывать большие объемы данных и принимать решения на основе этой информации, что позволяет ей эффективно контролировать работу фотоэлектрической установки. В работе исследуются возможности интеграции нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности фотоэлектрических установок.

Ключевые слова: искусственный интеллект, фотоэлектрическая установка, интеллектуальные системы, нейронные сети.

NEURAL NETWORK CONTROL SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC EQUIPMENT

Abstract. The introduction of new technologies into the energy sector is an important step to improve its efficiency and sustainability. In this context, photovoltaic equipment that convert solar energy into electrical energy play a special role. These installations represent one of the key areas in the transition to renewable energy sources. However, in order to fully realize their potential, it is necessary to ensure optimal control of the system that contributes to increasing the efficiency of electrical energy generation. One of the most effective methods for improving generation efficiency is the use of intelligent control systems that use artificial neural network technologies. An intelligent control system based on artificial neural network

methods allows optimizing the operation of a photovoltaic equipmen by adapting to changing environmental conditions. A neural network can process large amounts of data and make decisions based on this information, which allows it to effectively control the operation of a photovoltaic equipmen. The paper explores the possibilities of integrating neural network technologies to improve the energy efficiency of photovoltaic equipmens.

Keywords: *artificial intelligence, photovoltaic equipmen, intelligent systems, neural networks.*

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное потепление, вызванное антропогенными выбросами парниковых газов, оказывает значительное воздействие на климат, здоровье, сельское хозяйство и другие сферы жизни. В этой связи возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся ключевым элементом в решении проблемы декарбонизации и устойчивого развития энергетики. Однако их интеграция в традиционные энергосистемы сопровождается увеличением сложности и проблемами надежности, что требует разработки новых подходов и технологий для эффективного управления энергетическими сетями в условиях растущей доли ВИЭ.

В настоящее время фотоэлектрические установки (ФЭУ) действительно занимают лидирующих мест в развитии возобновляемой энергетики. Их популярность обусловлена, доступностью солнечного ресурса, экологической безопасностью и возможностью установки как в промышленных масштабах, так и для индивидуального использования. Технологические улучшения в области фотоэлектрических элементов, снижение стоимости производства и инициативы в рамках перехода к углеродно-нейтральной экономике способствуют их стремительному росту и внедрению во всем мире. Использование ФЭУ в удалённых и изолированных регионах позволяет обеспечить доступное и стабильное электроснабжение без необходимости строительства дорогостоящих линий электропередач. Это играет важную роль в развитии инфраструктуры данных территорий, поскольку надёжное энергоснабжение является решающим фактором для привлечения инвесторов и улучшения условий жизни местного населения. Тем не менее, вопросы низкой эффективности и недостатки преобразовательных устройств в этих системах остаются не решенным, который затрудняет их оптимальное использование.

Одним из способов повышения эффективности работы ФЭУ является использование алгоритмов отслеживания точки максимальной мощности (ТММ). Количество энергии, генерируемой солнечными элементами, зависит

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

от уровня фотогальванического напряжения. Для того чтобы обеспечить максимальную отдачу энергии при любых условиях окружающей среды, важно постоянно отслеживать ТММ ФЭУ. Это достигается с помощью импульсных преобразователей постоянного тока и интеллектуальных регуляторов, которые управляются алгоритмами слежения за ТММ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время наиболее распространенные методы отслеживания ТММ ФЭУ это метод возрастающей проводимости (InC), метод возмущения и наблюдения (P&O), метод постоянного напряжения и тп. [1-4]. Анализ существующих исследований алгоритмов слежения за ТММ показывает, что, несмотря на их важность и эффективность в определении ТММ, они имеют ряд недостатков. Во-первых, такие алгоритмы часто характеризуются медленной сходимостью, что замедляет и усложняет процесс нахождения оптимальной точки. Кроме того, их точность ограничена, что не позволяет достичь максимально возможной эффективности работы системы.

Для того чтобы достичь более высокой точности, необходимо модифицировать данные алгоритмы [5-9]. Однако, такие модификации могут негативно сказаться на их динамических характеристиках.

В настоящее время одним из ведущих направлений для многих исследователей является изучение потенциала интеллектуальных систем управления в разных сферах и их широкое использование на практике [1,5,7,8,9].

Традиционные алгоритмы, используемые в системах отслеживания ТММ для фотоэлектрических установок (ФЭУ), зачастую не способны полностью удовлетворить требования по точности и скорости отслеживания. Это создаёт новые возможности для применения методов интеллектуального управления, таких как алгоритмы нечеткой логики и нейронные сети, которые уже продемонстрировали свою эффективность в решении подобных задач в других технических областях.

Применение искусственного интеллекта для управления фотоэлектрическими установками имеет большой потенциал для повышения эффективности, производительности и надежности таких систем. Однако на пути реализации этого потенциала стоят некоторые трудности, такие как разработка надежных алгоритмов, доступность больших объемов данных и интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в существующие инфраструктуры. При правильном развитии и применении, ИИ может сыграть важную роль в устойчивом развитии фотоэлектрической энергетики.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современные тенденции развития высокоэффективных ФЭУ способствовали внедрению методов искусственного интеллекта, таких как искусственные нейронные сети (ИНС) [1,5,6,8,12,13], и нечеткая логика (НЛ) [1,3,8,9], для отслеживания ТММ ФЭУ. Это связано с тем, что классические методы имели свои ограничения в скорости и точности отслеживания.

ИНС — это вычислительная модель, подобная структурой и функцией биологических нейронных сетей. Она состоит из множества взаимосвязанных узлов, называемых нейронами, которые обрабатывают информацию и могут обучаться на основе входных данных. ИНС представляют собой мощный инструмент для решения сложных задач в различных областях, включая отслеживание ТММ ФЭУ

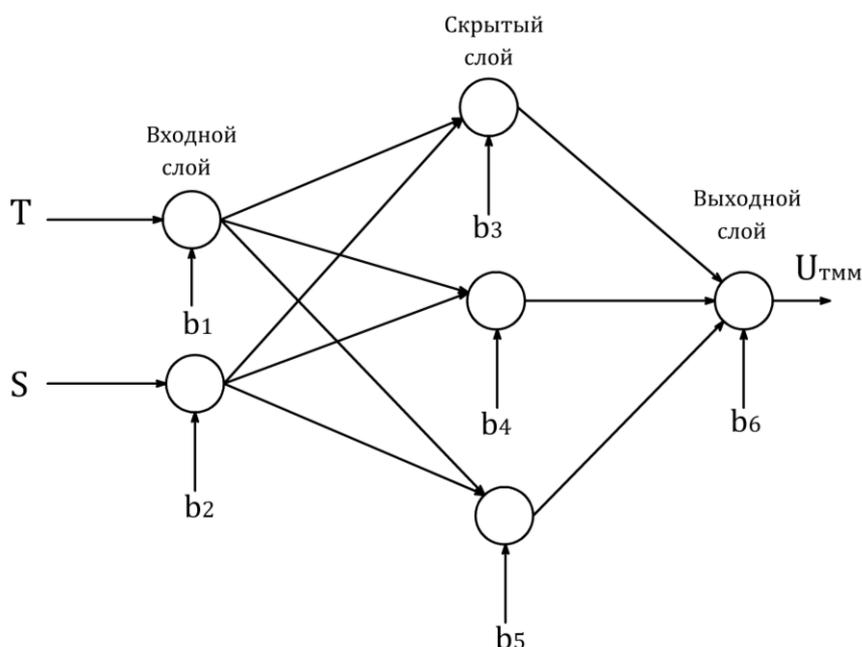


Рисунок 1 – Структура искусственной нейронной сети

В данной работе ИНС имеет трехслойную архитектуру, где входными параметрами служат рабочая температура ФЭМ и уровень освещенности, а на выходе генерируются максимальные значения тока и напряжения. Эти сигналы поступают в блок управления, который корректирует работу управляющего преобразователя, обеспечивая передачу на нагрузку максимально возможной мощности. Таким образом, регулятор отслеживания точки ТММ на базе ИНС эффективно адаптируется к изменениям погодных условий, извлекая ФЭУ наибольшую возможную мощность при любых изменениях окружающей среды.

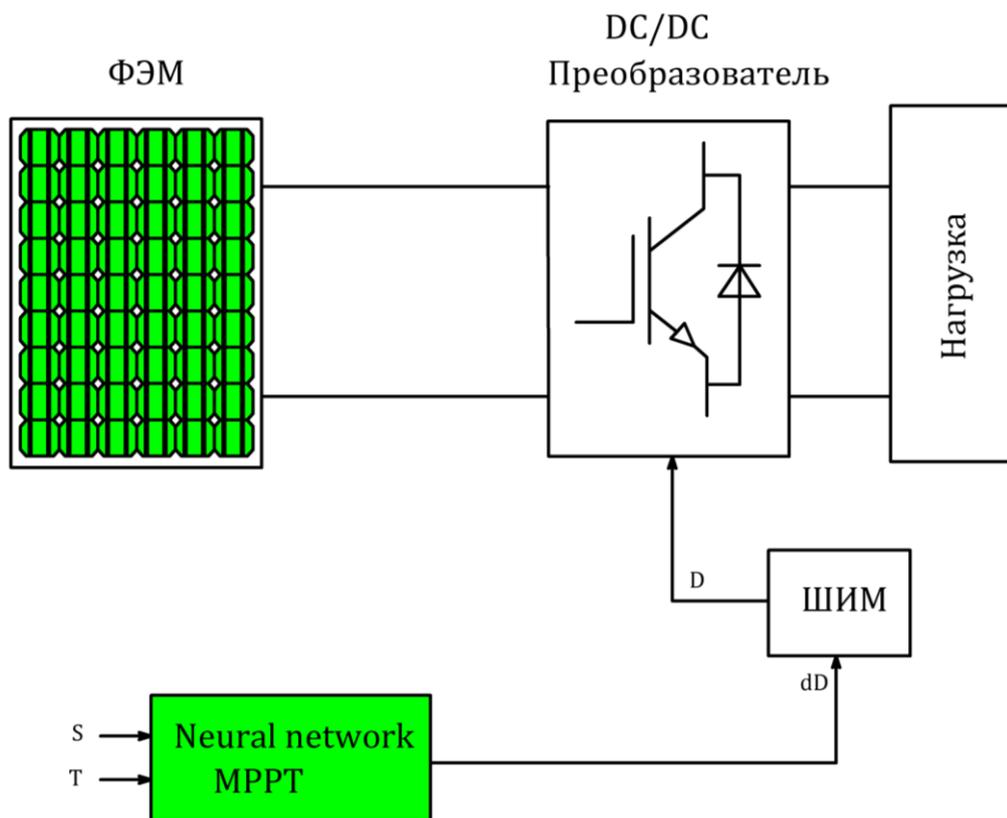


Рисунок 2 – Функциональная схема ФЭУ с ИНС

В работе рассматривается использование нейронных сетей для определения оптимального напряжения ТММ в условиях изменяющейся атмосферы. Для этого используется трехслойная ИНС, схематически представленную на рисунке 1. Данная сеть обучается на основе данных, собранных о работе солнечной электростанции при различных уровнях напряжения. После обучения модель способна прогнозировать оптимальное напряжение ТММ в зависимости от текущих погодных условий. Результаты эксперимента продемонстрировали, что эта модель эффективно определяет ТММ, способствуя повышению эффективности ФЭУ. Чтобы провести теоретический анализ ИНС в системе управления отслеживанием ТММ ФЭУ на вход системы подается данные о температуры (Т) и солнечной инсоляции (S). В результате модельного исследования получены напряжение на ТММ ФЭУ ($U_{тмм}$). Функциональная схема ФЭУ на основе ИНС представлена на рисунке 2.

Результаты модельного исследования системы отслеживания ТММ на основе ИНС при изменении температуры окружающей среды в виде выходной мощности приведены на рисунке 2. Анализ рисунка показывает, что система управления на основе ИНС по сравнению с классическим алгоритмом имеет низкие колебания и относительно высокое быстродействие.

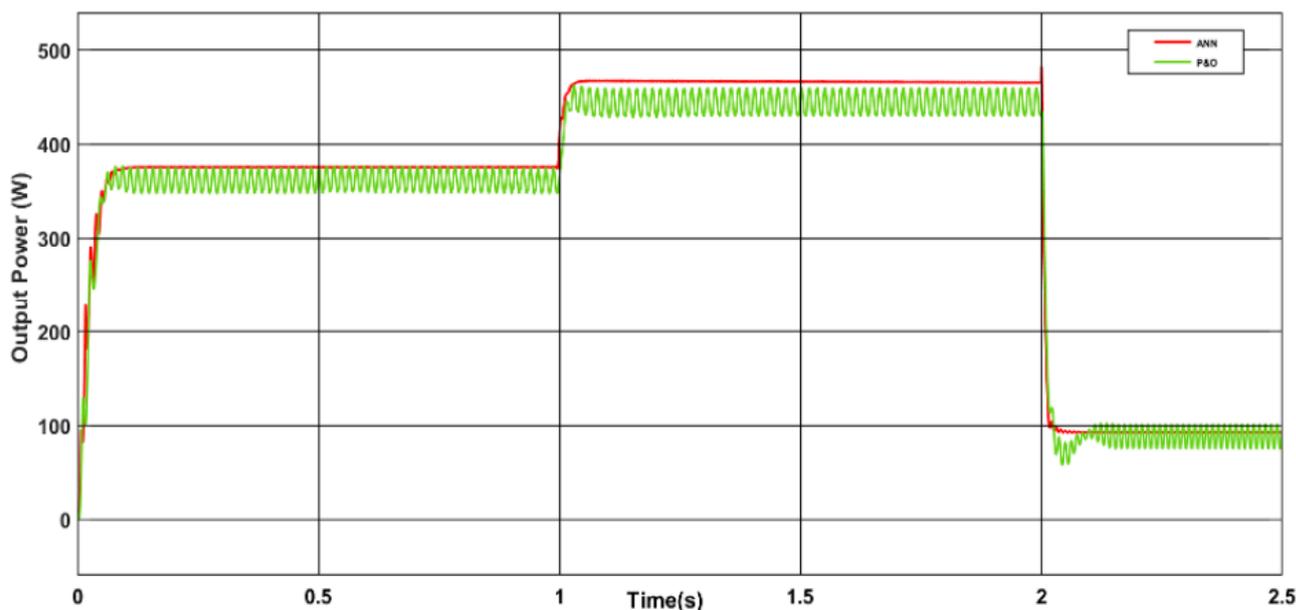


Рисунок 3 – Выходная мощность ФЭУ с ИНС

ВЫВОДЫ

Использование ИНС в системе отслеживания ТММ ФЭУ является перспективным направлением, позволяющим повысить эффективность генерации электрической энергии. ИНС способны адаптироваться к нелинейным характеристикам ФЭУ и динамическим изменениям условий окружающей среды, обеспечивая высокую точность отслеживания ТММ. Однако реализация систем управления на основе ИНС сопряжена с рядом сложностей. Во-первых, для их эффективной работы требуется значительный объем экспериментальных данных для настройки и обучения, что может потребовать значительных временных и вычислительных ресурсов. Во-вторых, при изменении типа используемых фотоэлектрических модулей возникает необходимость повторного обучения нейросети с использованием новых данных, что может усложнить внедрение и эксплуатацию системы.

Таким образом, хотя применение ИНС имеет высокий потенциал для повышения эффективности ФЭУ, требуется дальнейшая работа по оптимизации процессов обучения и переноса моделей на новые типы фотоэлектрических модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарифов Б.Н. Анализ современных систем управления отслеживанием максимальной мощности фотоэлектрических установок / Б.Н. Шарифов, Н.Д.

Шарипов, А.А. Давлатов // Международная научно –практическая конференция «Энергетика: Состояние и Перспективы Развития». – Душанбе ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023 г. С 543 – 547. ISBN 978-99985-852-1-8.

2. Гимазов Р.А. Алгоритмы адаптивного управления процессом преобразования энергии в фотоэлектрической системе: диссертация к.т.н.: 05.13.06 / Гимазов Руслан Уралович– Томск 2019. – 133 с.

3. Донцов О.А., Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В. Регулятор солнечной батареи с экстремальным регулированием на основе нечеткой логики / О.А. Донцов, В.И. Иванчура, Ю.В. Краснобаев // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2015. – № 8. – С. 786-794

4. Jamri M. S., Kassim A. M., Hashim M. R. A. Voltage mode control maximum power point tracking for stand-alone photovoltaic system / M. S. Jamri, A. M. Kassim, M. R. Hashim // Appl. Mech. Mater., vol. 313–314, pp. 503–507, 2013.

5. Сколота В.А., Белова И.А., Мартинович М.В. Применение нейронных сетей в петле ФАПЧ / В.А. Сколота, И.А. Белова, М.В. Мартинович // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. 2016. № 2 (84). С. 77-87;

6. Сколота В.А., Белова И.А., Мартинович М.В. Аналоговая аппаратная реализация искусственного нейрона / В.А. Сколота, И.А. Белова, М.В. Мартинович // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2018. № 1. С. 54-59;

7. Белова И.А., Мартинович М.В. Обучение искусственной нейронной сети для отслеживания точки максимальной мощности после деградации солнечной батареи / И.А. Белова, М.В. Мартинович // В сборнике: НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ Сборник научных трудов: в 9 частях. 2018. С. 11-15;

8. Шарифов Б.Н. Интеллектуальная система управления фотоэлектрической установкой / Б.Н. Шарифов, А.А. Давлатов, Э.А. Чалолзода // Международная научно –практическая конференция «Энергетика: Состояние и Перспективы Развития». – Душанбе ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023 г. С 547 – 550. ISBN 978-99985-852-1-8.

9. Шарифов Б.Н. Построение системы управления фотоэлектрической установки на основе методов нечеткой логики / Б.Н. Шарифов // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2023. №4 (64) – С. 18-23.

12. Белоглазов Д.А. Разработка и исследование методов синтеза адаптивных регуляторов на основе нейронечетких сетевых структур: Дис. ... канд. тех. наук. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2012.

13. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2003. – 177 с.

Сведения об авторах:

Шарифов Бохирджон Насруллоевич – 1989 г.р., старший преподаватель кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на солнечных электростанциях.

Диёрзода Рустам Хакимали – 1986 г.р., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на основе машины двойного питания.

Мухаммадиев Нозимчон Ашрафович – магистрант 1-го курса кафедры «Релейна защита и автоматики», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – автоматика и управление фотоэлектрических установок.

НЕЙРОРЕГУЛЯТОР В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОТУРБИНОЙ
МГЭС

Диёров Р.Х., Гуламов Ш.Р.

Таджикский технический Университет имени академика М.С. Осими

E- mail: diyorzoda@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения нейронного регулятора в системе автоматического управления скоростью гидротурбины малой гидроэлектростанции. Нейронные регуляторы, основанные на искусственных нейронных сетях, позволяют адаптивно настраиваться к изменяющимся условиям эксплуатации, что значительно улучшает качество управления по сравнению с традиционными ПИД-регуляторами.

Ключевые слова: нейро-регулятор, система автоматического управления, гидроагрегат, МГЭС, моделирование, математическая модель.

NEURAL NETWORK CONTROLLER IN THE HYDROTURBINE
CONTROL SYSTEM OF A SMALL HYDROELECTRIC POWER STATION

Abstract. The article discusses the possibilities of using a neural controller in the automatic speed control system of a small hydroelectric power plant's hydraulic turbine. Neural controllers based on artificial neural networks allow adaptive adjustment to changing operating conditions, which significantly improves the quality of control compared to traditional PID controllers.

Keywords: neural controller, automatic control system, hydraulic unit, small hydroelectric power plant, modeling, mathematical model.

В связи с техническим прогрессом в области системы автоматического управления необходимо решить ряд задач в области управления МГЭС.

Так как гидроагрегатом МГЭС можно управлять как со стороны гидротурбины, так и со стороны генератора необходимо разработать ряд правил по настройке современного регулятора, к которому можно отнести нейронный регулятор на основе нейронной сети.

Нейронные сети представляют собой одно из направлений исследований в области искусственного интеллекта, которое базируется на стремлении воспроизвести функционирование нервной системы человека. В частности, это касается способности нервной системы к обучению и исправлению ошибок, что позволяет смоделировать, пусть и в весьма грубой форме, работу человеческого мозга [1].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Искусственная нейронная сеть представляет собой совокупность нейронов, соединённых между собой. Обычно функции передачи сигналов всех нейронов в нейронной сети фиксированы, а параметры, такие как веса, могут изменяться. Некоторые входы нейронов обозначены как внешние входы нейронной сети, а некоторые выходы — как внешние выходы нейронной сети. Подавая определённые числовые значения на входы нейронной сети, мы получаем набор чисел на её выходах. Таким образом, работа нейронной сети заключается в преобразовании входного вектора в выходной вектор, причём это преобразование определяется весами нейронной сети.

Методы искусственного интеллекта представляют собой совокупность математических моделей и методов, которые имитируют интеллектуальную деятельность человека. В этой области можно выделить два основных подхода:

1. Моделирование процесса мышления при принятии решений, которое основано на алгоритмах и логике.
2. Моделирование работы мозга, основанное на изучении биологических принципов его функционирования.

Первый подход реализуется с помощью таких методов, как нечёткая логика (Fuzzy Logic), экспертные системы и естественно-языковые системы. Второй подход представлен нейронными сетями, которые являются математическими моделями мозга.

Нейросети (НС) обладают рядом уникальных свойств, которые делают их востребованными в различных областях. Среди основных свойств можно выделить:

Массивно-параллельная обработка данных. Высокая отказоустойчивость.

Использование неалгоритмических вычислений. Способность к обобщению и классификации данных.

Способность к обучению с учителем или без него. Возможность использования слабоформализованной информации.

Эти свойства позволяют нейросетям эффективно решать широкий спектр задач, включая нестандартные. Они также обладают способностью к обучению, что делает их особенно полезными в ситуациях, где требуется аналог человеческой интуиции.

В литературе можно найти множество признаков, которые определяют, когда применение нейросетей оправдано. Среди них:

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Отсутствие алгоритма или неизвестность принципов решения задач, но наличие достаточного количества примеров. Большие объёмы входной информации.

- Неполные, избыточные, зашумлённые или частично противоречивые данные.

Эти характеристики делают нейросети идеальными для задач распознавания образов, классификации, оптимизации и прогнозирования. В нефтяной и химической промышленности они могут применяться для анализа геологической информации, идентификации неисправностей оборудования, разведки залежей минералов по данным аэрофотосъёмки, анализа составов примесей и управления процессами.

Кроме того, нейросети могут использоваться для управления манипуляторами, качеством продукции, обнаружения неисправностей, адаптивной робототехники, управления голосом и других задач.

Нейронная сеть — это система, состоящая из нейронов, которые соединены между собой определённым образом.

Нейрон — это элемент, который преобразует информацию. Он имеет несколько входов (синапсов), через которые поступают входные сигналы x_i , и один выход (аксон), через который передаётся выходной сигнал y .

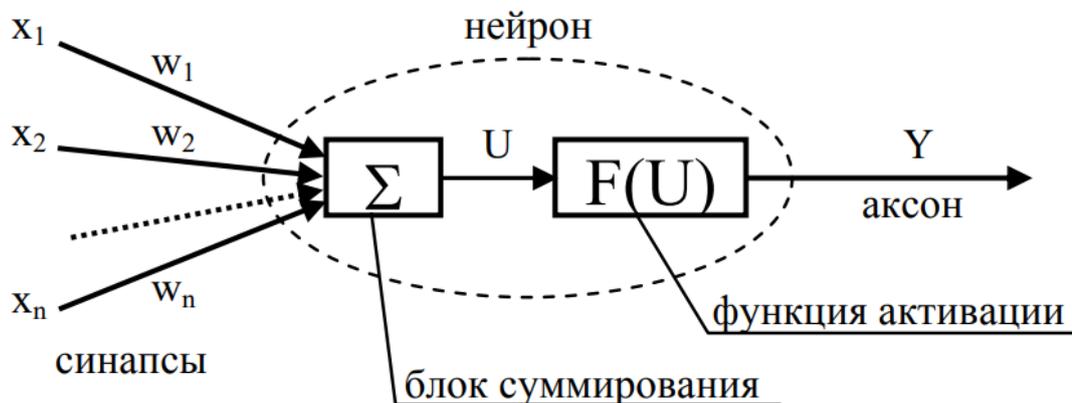


Рисунок 1 – Структура нейрона

Каждый синапс имеет вес w_i , на который умножается входной сигнал x_i .

Структура нейрона изображена на рисунке 1. Внутри нейрона есть блок суммирования, который вычисляет взвешенную сумму всех входных сигналов.

$$U = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i$$

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

и блок функции активации $Y=F(U)$. Таким образом, нейрон функционирует за два такта: 1) суммирование входных сигналов и 2) вычисление Y по функции активации.

Функция активации должна удовлетворять двум условиям: 1) $|F(U)| < 1$ при любом U , 2) функция должна быть монотонной неубывающей.

Наиболее часто в качестве функций активации используются следующие функции.

1) Ступенчатая функция $F(U) = \begin{cases} 1, & \text{если } U \geq \alpha, \\ 0, & \text{если } U < \alpha, \end{cases}$

2) Сигмоидная функция $F(U) = \frac{1}{1+e^{-\alpha U}}$;

3) Гиперболический тангенс $F(U) = th(U) = \frac{e^U - e^{-U}}{e^U + e^{-U}}$;

4) Гладкие сжимающие функции $F(U) = \frac{U+Q}{|U+Q|+\alpha}$,

где Q – порог (смещение), α - параметр, определяющий крутизну статической характеристики нейрона. Нейроны образуют нейронные сети путем соединения синапсов с аксонами.

В данной работе мы сосредоточимся на создании нейронной системы в среде Simulink для управления гидротурбиной МГЭС.

В разделе библиотеки MATLAB Simulink «Neural Network Toolbox» в подразделе «Control Systems» находятся инструменты для реализации нейросетевого регулятора, который может быть использован для решения распространённых задач управления, приведенного на рисунке 2.

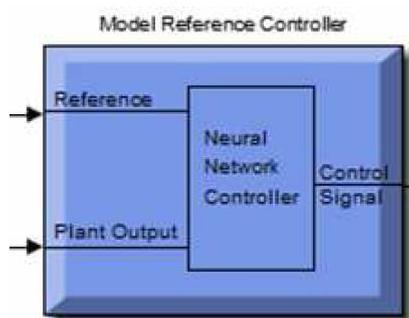


Рисунок 2 – Обозначение нейросетевого регулятора на основе эталонной модели (NN Reference Controller) в библиотеке Simulink.

Регулятор, основанный на эталонной модели (NN Reference Controller), предназначен для адаптивного управления с обучением нейронных сетей в автономном режиме. Обучение регулятора требует значительных вычислительных ресурсов, но управление по эталонной модели применимо к

более широкому спектру объектов, чем вариант с линеаризацией обратной связью [2].

Рассмотрим систему автоматического управления гидротурбины МГЭС с ПИД и нейрорегулятором [3,4].

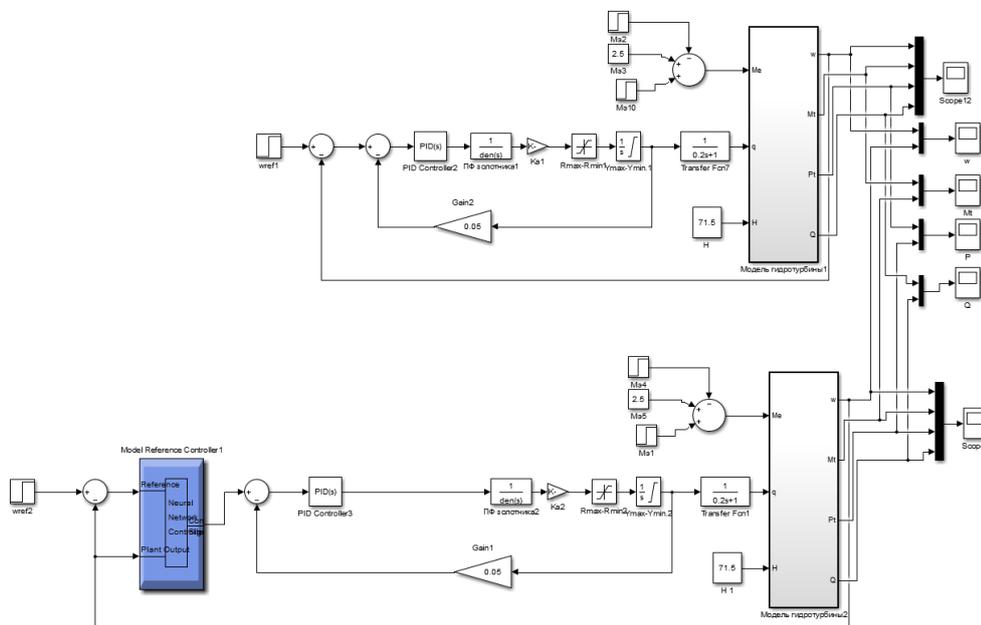


Рисунок 3 – Математическая модель системы управления гидротурбины

На рисунке 3 приведены математические модели двух систем:

1. Система автоматического регулирования скорости настроенного классическим методом;
2. Система автоматического управления настроенного с помощью нейрорегулятора.

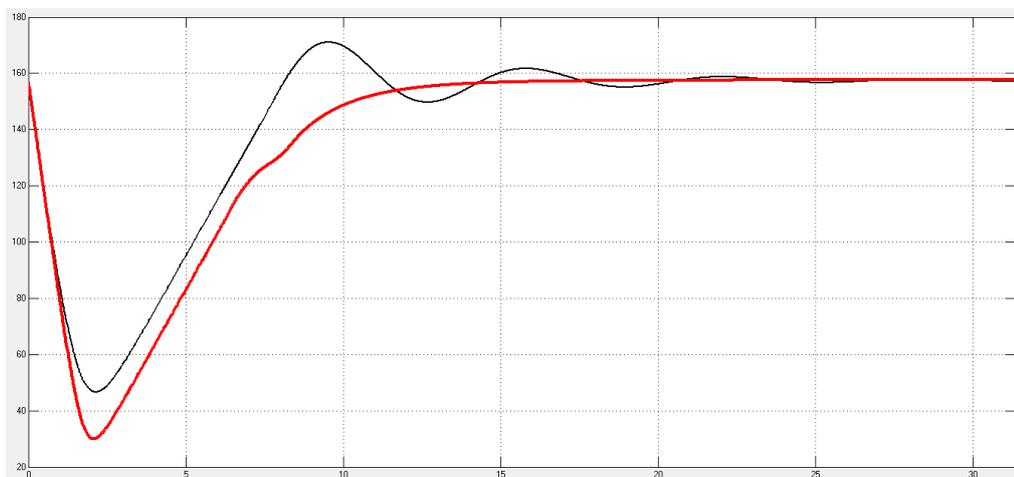


Рисунок 4. Изменение скорости ПИД регулятор черный цвет, нейрорегулятор красный цвет

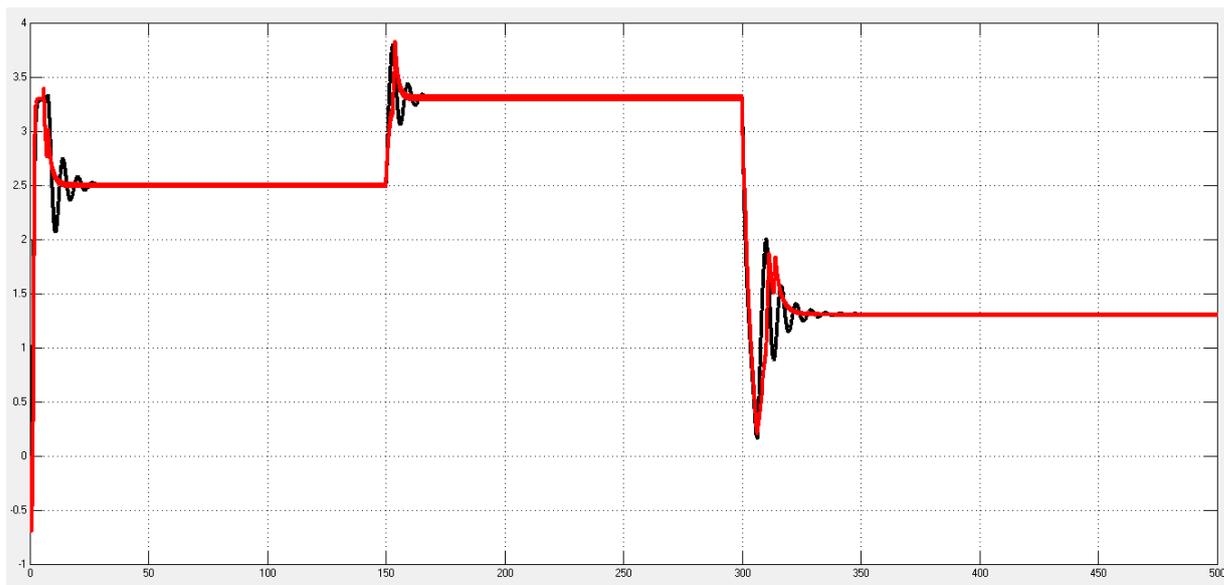


Рисунок 5 - Изменение момента гидротурбины ПИД – регулятор черный цвет, нейрорегулятор красный цвет.

В ходе эксперимента, проведенного на двух моделях систем автоматического управления, были получены результаты, которые наглядно представлены на рисунках 4 и 5.

Анализ результатов моделирования показал, что система, оснащённая нейрорегулятором, демонстрирует практически полное отсутствие перерегулирования в динамических режимах.

Выводы

Результаты исследования показали, что использование нейрорегулятора способствует улучшению функционирования объекта управления, упрощает настройку систем автоматического управления и практически исключает колебания в регулируемых координатах.

Литература

1. Кучерова Е.А. Методическое пособие по курсу «Нечеткая логика и нейронные сети» «Изучение и создание нейронных сетей в системе MATLAB». – Воткинск, 2017. – 32 с.
2. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6./Под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 630 с. – (Пакеты прикладных программ; Кн. 4).
3. Ш.С. Махмадов, Н. Хасанзода, Диёрзода.Р.Х., М.И.Сафаров, А.С.Зиёев. Математическая модель гидротурбины с учетом КПД для гидроагрегата мини-ГЭС // Политехнический вестник. Серия Инженерные

исследования. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2020. №3 (51) – С. 37-41. ISSN: 2520-2227

4. Махмадов, Р.Х. Диёров, Ш.М. Султонов. М.М. Камолов. Моделирование системы регулирования гидротурбины для МГЭС Ш.С. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими. 2019. №4 (48) – С. 56-60. ISSN: 2520-2227

Сведения об авторах:

Диёрзода Рустам Хакимали – 1986 г.р., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии на основе машины двойного питания.

Гуламов Шухрат Рахматуллоевич – к.т.н., ассистент кафедры «Автоматизированный электропривод и электрическими машины», ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – возобновляемые источники электроэнергии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аетов А.У.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

E-mail: aetovalmaz@mail.ru

Аннотация: На основе ранее полученных данных, касающихся теплофизических свойств (изобарная теплоемкость и коэффициент теплопроводности), а также анализа процессов окисления методом сверхкритической водной окислительной технологии (СКВО), была разработана технология и пилотная установка для утилизации сточных вод, образующихся в процессе эпексидирования пропилена на промышленном предприятии. В ходе работы были проведены моделирование и технико-экономическое обоснование данной технологии и пилотной установки с использованием программных продуктов Aspen Hysys и Aspen Process Economic Analyzer. Результаты экономического анализа продемонстрировали, что интеграция двух сверхкритических технологий — экстракции и водного окисления — в едином процессе нейтрализации сточных вод, наряду с извлечением ценных компонентов для последующего вторичного использования, имеет высокую актуальность. С экономической точки зрения данная технология обладает коротким сроком окупаемости по сравнению с традиционными методами утилизации и очистки, а также обеспечивает серьезные экологические преимущества. Предлагаемая технология отличается низкой стоимостью переработки, рассчитываемой на 1 кг сточных вод, что подчеркивает её экономическую эффективность.

Ключевые слова: моделирование, утилизация, управление, экология.

MODELING OF WASTEWATER DISPOSAL PROCESS USING SUPERCRITICAL FLUID TECHNOLOGIES

Abstract: Based on previously obtained data on thermophysical properties (isobaric heat capacity and thermal conductivity) and analysis of oxidation processes using supercritical water oxidation technology (SCWOT), a technology and a pilot plant were developed for the disposal of wastewater generated during propylene epoxidation at an industrial plant. In the course of the work, modeling and feasibility study of this technology and pilot plant were carried out using Aspen Hysys and Aspen Process Economic Analyzer software products. The results of the economic analysis

demonstrated that the integration of two supercritical technologies - extraction and water oxidation - in a single process of wastewater neutralization, along with the extraction of valuable components for subsequent secondary use, is highly relevant. From an economic point of view, this technology has a short payback period compared to traditional methods of disposal and purification, and also provides significant environmental benefits. The proposed technology is characterized by a low cost of processing, calculated per 1 kg of wastewater, which emphasizes its economic efficiency.

Keywords: modeling, utilization, management, ecology.

Одним из ключевых направлений в решении экологических проблем является вопрос загрязнения окружающей среды в процессе переработки углеводородного сырья. Это касается особенно утилизации промышленных сточных вод, которая не только требует внимания к экологическим аспектам, но и акцентирует важность ресурсосбережения. В современном мире основные источники промышленных сточных вод, сказывающиеся на качестве природных водоемов, включают химическую, целлюлозно-бумажную, текстильную и нефтехимическую отрасли. В частности, в целлюлозно-бумажной промышленности около трети выбросов составляют фенольные соединения и их гомологи, которые являются весьма стойкими к разрушению. Исследования показывают, что традиционные методы окисления не обладают достаточной эффективностью [1].

В противоположность этому, применение сверхкритических флюидных условий, особенно сверхкритического водного окисления (СКВО), позволяет в замкнутых системах добиться практически полного окисления органических соединений за короткие сроки, преобразовывая их в безопасные экологические компоненты [2]. Однако, несмотря на преимущества, существует ряд серьезных проблем, которые затрудняют реализацию энергосберегающих и ресурсосберегающих инициатив. Среди них - высокие термодинамические параметры процесса, не оптимальные физико-химические свойства окислителя, коррозионная активность сточных вод в сверхкритическом состоянии, а также образование отложений солей и оксидов на стенках технологического оборудования. Эти Challenges формируют спектр задач для решения [3].

Для дальнейшего успешного прогресса в этом направлении необходимо глубокое понимание механизмов реакций в многокомпонентных водных растворах, насыщенных как неорганическими соединениями, так и углеводородами. В данной работе, основываясь на данных о теплофизических свойствах (изобарная теплоемкость и коэффициент теплопроводности) и

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

процессах окисления при использовании СКВО, была разработана технология и пилотная установка для утилизации сточных вод, образующихся в процессе эпексидирования пропилена на предприятии ПАО «Нижекамскнефтехим» (г. Нижнекамск, Россия). Эти сточные воды содержат молибден, этилбензол, ацетофенон, метилфенилкарбинол, фенол, монопропиленгликоль и ряд других соединений.

Для оптимального применения сверхкритической технологии предлагается технологическая схема комплексной утилизации. Современные программные продукты для автоматизированного проектирования от компании Aspen Technologies Inc активно используются для инженерного анализа и моделирования, позволяя разрабатывать новые технологические процессы или модернизировать существующие с целью повышения их эффективности [4, 5].

На основе ПО Aspen Hysys была смоделирована технологическая установка и процесс, представленные на рисунке 1, для комплексной очистки сточных вод цеха эпексидирования пропилена ПАО «Нижекамскнефтехим» и выделения из них ценных компонентов, пригодных для повторного использования.

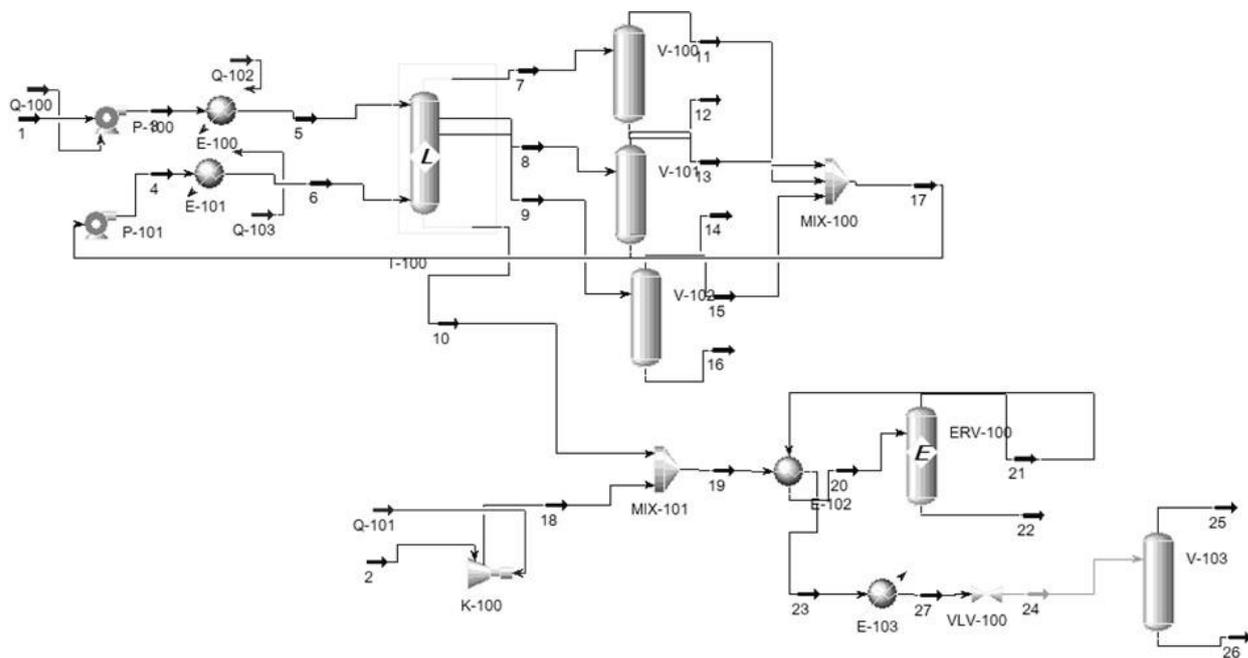


Рис. 1. Процесс утилизации промышленной сточной воды с извлечением ценных компонентов для повторного использования был тщательно смоделирован с помощью программных решений Aspen Hysys и Aspen Process Economic Analyzer

Пилотная установка для переработки промышленных сточных вод разработана с мощностью, рассчитанной на 1100 м³ в год. Процесс утилизации

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

начинается с сжатия сточных вод и воздуха до давления свыше 25 МПа ($P > P_{кр}$ H₂O) с помощью насосов высокого давления P-100 (поток 3) и P-101 (поток 4). Далее, углекислый газ и сток нагреваются до температуры 313,15 К в кожухотрубчатых теплообменниках E-100 (поток 5) и E-101 (поток 6) перед тем, как направляться на экстракцию.

Процесс извлечения ценных ароматических углеводородов осуществляется в ректификационной колонне T-100 барботажного типа, оснащенной внутренними массообменными конструкциями (тарелками) для обеспечения оптимального контакта между жидкой и паровой фазами. Колонна имеет несколько входов и выходов, что позволяет выводить растворы, находящиеся в состоянии сверхкритической флюидной среды. В кубовой части колонны скапливаются нерастворимые в углекислом газе компоненты, такие как вода, монопропиленгликоль и соли, которые затем направляются в отделение окисления (поток 10).

Фракции, содержащие фенол, метилфенилкарбинол и ацетофенон (потoki 7, 8 и 9), выводятся в соответствующие сепараторы V-100, V-101 и V-102, где они разделяются от углекислого газа и направляются на выход (потoki 12, 14, 16). Углекислый газ (потoki 11, 13, 15) смешивается в смесителе MIX-100 и вновь поступает на повторную экстракцию стока в замкнутом цикле (поток 17). Нерастворимые компоненты (поток 10) стекают в кубическую часть колонны и под действием своего давления направляются в отделение сверхкритического водного окисления, где в качестве окислителя используется кислород из воздуха.

В компрессоре K-100 воздух сжимается до 25 МПа и после этого (поток 18) поступает в смеситель MIX-101, образуя высокодисперсную эмульсию. Далее смесь сточных вод (поток 19) вместе с воздухом попадает в теплообменник-рекуператор E-102, где подогревается за счет отходящего потока (поток 21) из реактора ERV-100. Смешанная фаза затем поступает в реактор, в котором созданы условия, необходимые для сверхкритического состояния чистой воды (температура до 773,15 К и давление до 30 МПа), что позволяет провести реакцию окисления. Нагрев реакционной смеси осуществляется с использованием индукционного нагревателя. Неорганические осадки, содержащие молибден, образующиеся на дне реактора, удаляются для дальнейшего изучения и переработки в качестве каталитического комплекса (поток 22). Завершение окислительных процессов всех органических соединений происходит на второй стадии реактора.

Продукты, образовавшиеся в результате реакции окисления, проходят через теплообменник E-102, отдавая тепло входящему потоку, прежде чем их

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

охлаждают в холодильной машине E-103 до температур в диапазоне 313,15–323,15 К (поток 23). В жидком состоянии они подаются через регулятор давления VLV-100 (потoki 27, 24) в отборник очищенной воды и газоотделитель — сепаратор V-103, где образовавшиеся продукты окисления разделяются на техническую воду (поток 26) и углекислый газ (поток 25).

Технико-экономическое обоснование результатов данной работы было проведено с использованием программного обеспечения Aspen Process Economic Analyzer от компании Aspen Technologies Inc.

Заключение

Результаты исследования продемонстрировали, что затраты на приобретение и установку необходимого оборудования составят 253,784 тыс. долларов США, в то время как полная стоимость реализации предложенной технологии составит 342,589 тыс. долларов США. С учетом рыночных цен на очищенные компоненты сточных вод — молибден, монопропиленгликоль, ацетофенон и фенол — был рассчитан срок окупаемости, который составит 1,5 года (или 1 год и 6 месяцев). Важно отметить, что указанные затраты основаны на актуальных ценах на сырьё и оборудование, действующих на июль 2024 года.

Экономический анализ показал, что интеграция двух сверхкритических технологий (экстракции и водного окисления) в едином процессе нейтрализации сточных вод с последующим извлечением ценных компонентов для повторного использования представляет собой актуальное решение с экономической точки зрения. Эти установки имеют относительно короткий срок окупаемости по сравнению с другими методами утилизации и очистки, включая текущую технологию сжигания отходов, что придаёт дополнительную ценность.

Предлагаемая технология имеет наименьшую стоимость на 1 кг перерабатываемых стоков (по расчетам на июль 2024 года), что свидетельствует о её высокой экономической эффективности. Кроме того, данный подход обеспечивает значительную защиту окружающей среды от загрязнений по сравнению с другими методами удаления и очистки сточных вод, возникающих в процессе эпексидирования пропилена.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №22-19-00117).

Литература

1. Aetov A.U., Mazanov S.V., Usmanov R.A., Gabitova A.R., Gumerov F.M., Shapovalov Yu. A., Zaripov Z.I., Musin R.Z. Oxidation of Phenol and Acetone in a Model Water Flow in Continuous Mode at High Pressure // The Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2024. - Vol. 26, No. 1. - P. 21-27.
2. Mazanov S.V., Phan Q.M., Aetov A.U., Zaripov Z.I., Starshinova V.L., Karalin E.A., Usmanov, R.A., Gumerov F.M., Abdulagatov I.M. Heterogeneous Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Water Oxidation of Organic Pollutants in Industrial Wastewaters Effect of Operational Parameters // Journal Symmetry. – 2023. – Vol. 15 (2). - P. 1-23.
3. Mazanov S. V., Aetov A. U., Usmanov R. A., Gabitov R. R., Zaripov Z. I., Gumerov F. M. Oxidation of Acetic Acid by Hydrogen Peroxide in the Aqueous Medium in Supercritical Fluid Conditions // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2019. – Vol. 13, I. 7. - P. 1131-1134.
4. Xiao Z., Qing W., Leming C. Modeling for supercritical water oxidation process of sludge using Aspen plus // Computers Appl. Chem. – 2017. - Vol. 34. - P. 973-980.
5. Rodrigues V. H., De Melo M. M. R., Silva C. M. Simulation and techno-economic optimization of the supercritical CO₂ extraction of Eucalyptus globulus bark at industrial scale // Journal Supercritical Fluids. – 2019. - Vol.145. - P. 169–180.

Сведения об авторе

Аетов А.У. – ассистент кафедры «Теоретические основы теплотехники», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мирзозода Б.М., Холов Ш.Д., Шахзоди Х.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: borbadtjk@mail.ru

Аннотация: В работе приведены результаты работы над компьютерной модели, собранной по схеме сети электроснабжения промышленной предприятий, используемой для исследования режимов работы указанной сети, такие как провалы напряжения при самозапущке двигателей, короткое замыкание и обрыв фазы. Приведено описание компьютерной модели сети электроснабжения, принципы ввода параметров элементов модели и учет параметров двигательной нагрузки.

Ключевые слова: режим работы, трансформаторная подстанция, математическая модель, провалы напряжения, PSCAD.

STUDY OF OPERATING MODES OF POWER SUPPLY NETWORKS
OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abstract: The paper presents the results of work on a computer model created according to the scheme of the power supply network of industrial enterprises, used to study the operating modes of the specified network, such as voltage drops during self-starting of motors, short circuit and phase break. A description of the computer model of the power supply network, the principles of entering the parameters of the model elements and taking into account the parameters of the motor load are given.

Keywords: operating mode, transformer substation, mathematical model, voltage dips, PSCAD.

Надежная работа сети электроснабжения в ряду других особенностей, также зависит от корректной работы и правильного проектирования схем электроснабжения и выбора уставок средств релейной защиты и автоматики. Сеть электроснабжения промышленного предприятия содержит смешанную нагрузку, в том числе двигательную, которую требует правильного проектирования с учетом их пуска.

Для обеспечения надежной работы сети электроснабжения с двигательной нагрузкой и с поддержкой современных микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) необходимо улучшать и применять новые способы расчета переходных процессов, позволяющие получать и оценить мгновенные значения рабочих параметров рассматриваемой сети [1,2].

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Для выполнения поставленной задачи в работе рассмотрена стандартная схема сети электроснабжения, рис. 1. По указанной схеме собрана имитационная модель сети электроснабжения напряжением 10 кВ и реализованы повреждения, характерные для таких сетей.

В соответствии с [4,5] причинами возникновения провалов и прерываний напряжения в системах электроснабжения являются короткие замыкания в питающих сетях высокого напряжения и повторное включение от АПВ во внешней части системы электроснабжения;

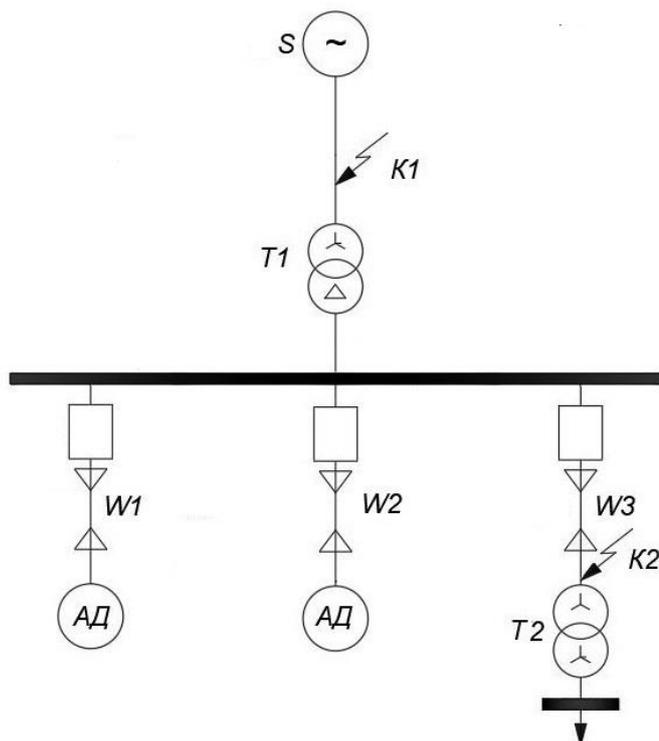


Рисунок 1 – Принципиальная схема рассматриваемой схемы электроснабжения

Исследования в рассматриваемой работе выполнены на основе имитационного моделирования в среде программного комплекса PSCAD [4].

В качестве исходной схемы для моделирования принято использовать стандартная схема электроснабжения. Принципиальная схема рассматриваемой сети и фрагмент собранной модели показаны на рис. 1 и 2.

В разработанной модели используются стандартные компоненты из библиотеки программы. Параметры, приведённые в табл. 1. вводятся в компонентах Three-Phase Voltage Source Model 1, Three-Phase Breaker, 3-Phase 2-Winding Transformer, Cable Interface, Three-Phase Fault, Fixed Load (1 and 3-Phase, LG) и модели устройство электродвигателя – Wound Rotor Induction Machine. И использованные исходные данные при моделировании приведены в табл. 1.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Таблица 1 Исходные данные вводимые в модели

№	Тип	Параметры
Линии		
W1, W2, W3	ААШВ-10-3х70	$U_H = 10 \text{ кВ}; L = 2,3 \text{ км}$
		$U_H = 10 \text{ кВ}; L = 0,45 \text{ км}$
Трансформаторы		
T1	ТДН-10000/110/10	$U_H = 110/10 \text{ кВ}; S_H = 10 \text{ мВА}$
T2	ТМ-1000/0,4	$U_H = 10/0,4 \text{ кВ}; S_H = 1 \text{ мВА}$
Электродвигатели		
M1, M2	АОД-1600-4У1	$U_H = 10 \text{ кВ}; P_H = 1600 \text{ кВт}$

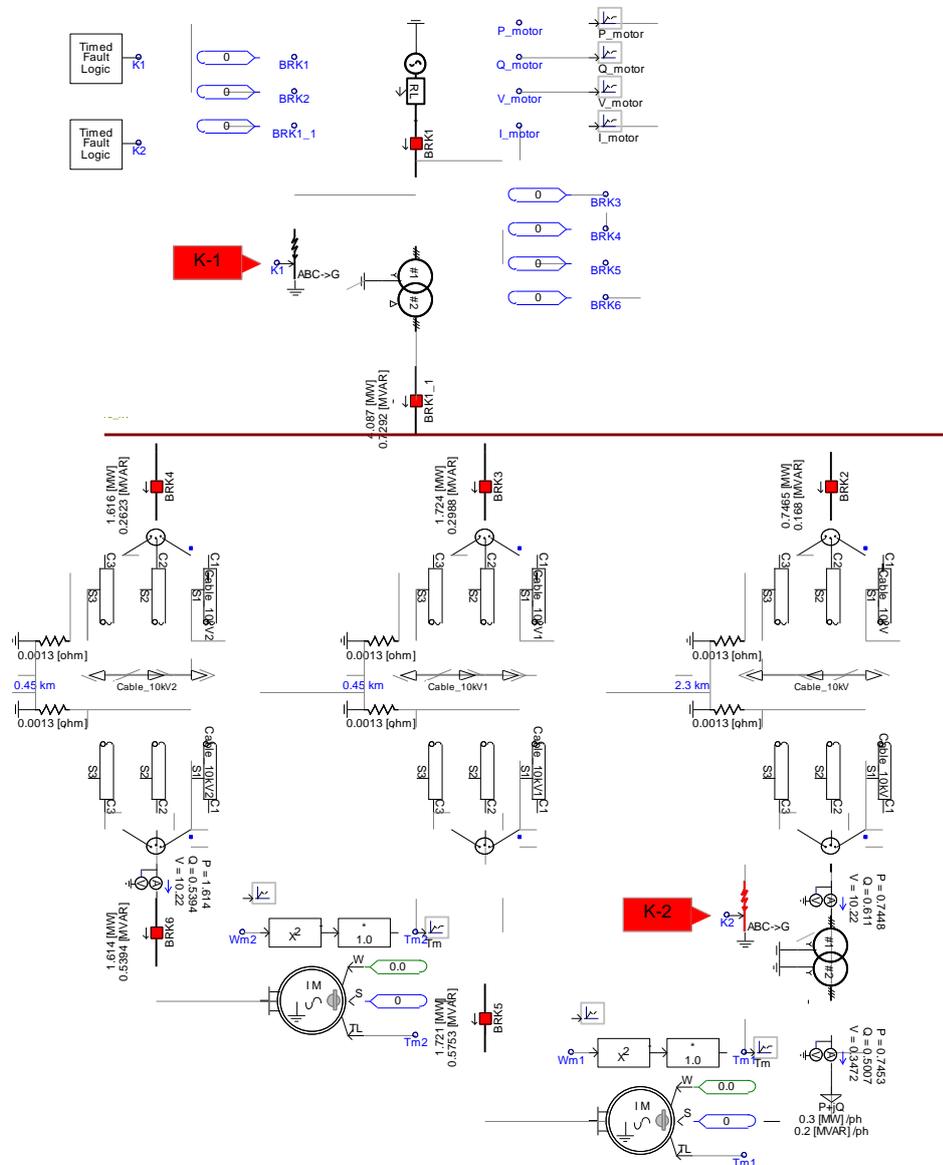


Рисунок 2 – Собранный по схеме. приведенной на рисунке 2 – фрагмент модели сети

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Возмущение реализуется в 10-й секунды моделирования путем создания 3-х фазного короткого замыкания со стороны питающей сети длительностью 0,3 секунды с повторного восстановления напряжения. Осциллограммы изменения параметров сети электроснабжения приведены на рисунках 3,4.

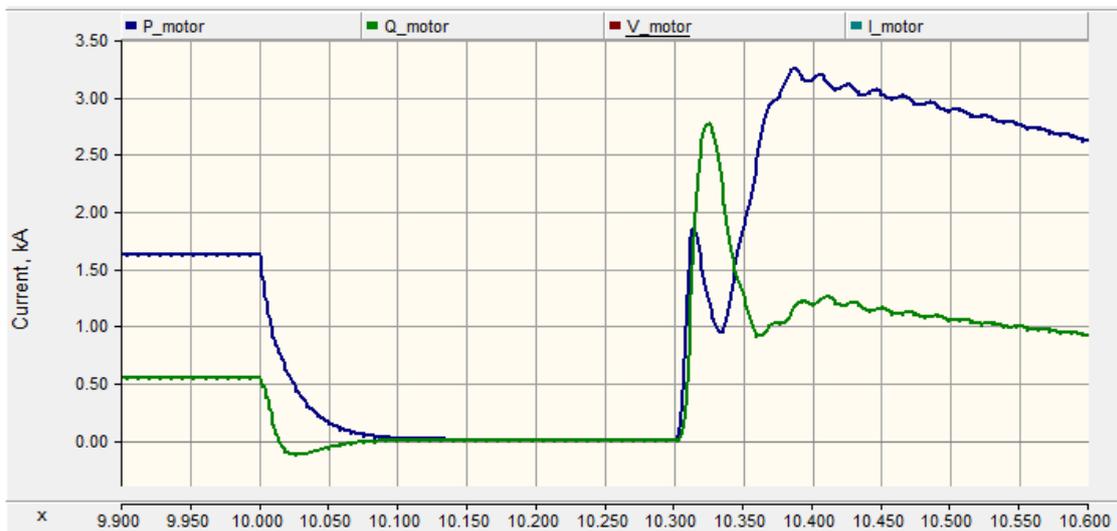


Рисунок 3 – Диаграммы изменения активной и реактивной мощности двигателя при КЗ на стороне питающей сети

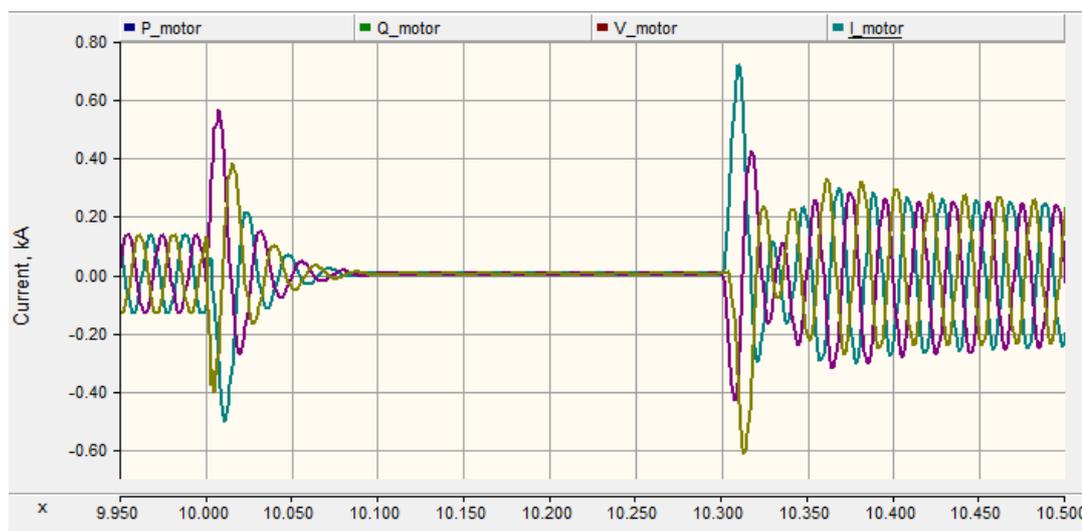


Рисунок 4 – Диаграммы изменения фазных токов двигателя при КЗ на стороне питающей сети

Выводы

Проведенное исследование в данной работе показывает, что правильное использование современных программных средств способствует получению наиболее точных результатов и корректной оценки аварийных режимов сети. Так как асинхронные двигатели являются основной нагрузкой промышленных предприятий при провалах напряжения, обусловленных трехфазным коротким замыканием, возникающим со стороны питающей сети при быстром

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

восстановление напряжения питания могут продолжать работу, если не происходило отключение от собственных защит.

Целесообразно использовать разработанную модель при выборе и настройке устройств релейной защиты и автоматики, а также при выборе элементов системы электроснабжения.

Литература

1. Захаров О. Г. Цифровые устройства релейной защиты электродвигателей. Алгоритмы и уставки (Часть 2). — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2012. — 82 с.

2. Обухов С.Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения: учебное пособие / С.Г. Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 84 с.

3. M.Bollen, E.Styvaktakis. Characterization of three-phase unbalanced dips (as easy as one-two- three?) // Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE. 2000. №2. P. 889 – 904.

4. PSCAD™ Power Systems Computer Aided Design. P. 513.

Сведения об авторах:

Мирзозода Б.М. к.т.н., доцент кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита, автоматика, противоаварийная автоматика.

Холов Шухрат Давлаталиевич – 2002 г.р., магистр кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

Шахзоди Хасан – 2002 г.р., магистр кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ В СИСТЕМЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 10-0,4 КВ В СРЕДЕ MATLAB / SIMULINK

Мирзозода Б.М., Шахзоди Х., Холов Ш.Д.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

E-mail: borbadtjk@mail.ru

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы разработки имитационной модели силового трансформатора напряжением 10/0,4 кВ для исследования нарушений нормального режима в системе электроснабжения 10-0,4 кВ в среде MATLAB/Simulink. Представлены результаты моделирования при создании разных видов повреждения, в том числе, короткие замыкания и обрыва одной фазы.

Ключевые слова: режим работы, трансформаторная подстанция, электроснабжение, математическая модель, провалы напряжения, Matlab/Simulink

MODELING OF DISTURBANCES IN THE 10-0.4 KV POWER
SUPPLY SYSTEM IN THE MATLAB/SIMULINK ENVIRONMENT

Abstract: The paper considers the development of a simulation model of a 10/0.4 kV power transformer to study disturbances in a 10-0.4 kV power supply system in the MATLAB/Simulink environment. The results of modeling are presented when creating different types of damage, including short circuits and phase failures.

Keywords: operating mode, transformer substation, power supply, mathematical model, voltage dips, Matlab/Simulink

В системах электроснабжения эксплуатируются трансформаторы мощностью 630 кВА, 1 и 1,6 МВА, которые подключаются к сети 10 кВ через выключатели и защищаются различными видами устройств релейной защиты [1]. Наряду с этим в сельской местности рассредоточено на больших площадях множество электроприемников малой мощности для их питания используются трансформаторы небольшой мощности (63, 100, 160, 250, 400 кВА), которые защищаются простейшими защитными аппаратами плавкими предохранителями. Для надёжного отключения повреждённого трансформатора от сети всеми тремя фазами плавкие предохранители часто используются в сочетании с выключателем нагрузки; такое устройство применяется только на закрытых трансформаторных подстанциях.

Основная причина выхода из строя электрооборудований являются короткие замыкания (КЗ), поскольку они сопровождаются большими токами КЗ

и могут вызывать глубокие понижения напряжения на зажимах других электроприемников. При этом у асинхронных электродвигателей снижается частота вращения и, если КЗ не будет быстро отключено, двигатели остановятся, что вызовет наращение работы предприятия или энергообъекта в целом [3,4].

Однофазное замыкание на землю (на корпус) на стороне В Н. В сетях 1 кВ, так же, как и 3, 6; 10 и 35 кВ, работающих в нашей стране с изолированной или компенсированной нейтралью, тока при однофазном замыкании на землю не превышают нескольких ампер: например, для сетей 10 кВ они составляют 20 А [2]. Специальная защита от этого вида поврежденная на трансформаторах 10 кВ не предусматривается, но на кабельной или кабельно-воздушной линии 10 кВ, по которой получают питание один или несколько трансформаторов, устанавливается защита (сигнализация) однофазных замыканий на землю [3,4].

Междуфазные КЗ за трансформатором могут происходить на выводах обмотки НН трансформатора, на сборных шинах НН и на отходящих элементах питаемой сети НН. Наибольшее значение тока соответствует трехфазному КЗ, причем во всех трех фазах токи равны между собой, как на стороне НН, так и на стороне ВН.

Однофазные КЗ за трансформатором. Эти повреждения характерны для трансформаторов, у которых обмотка НН соединена в звезду с выведенной нейтралью, и эта нейтраль имеет глухое заземление. Есть основания считать, что большинство коротких замыканий в сетях 0,4 кВ с глухо заземленной нейтралью начинается с однофазного и, если быстро не отключить однофазное КЗ, оно переходит в более тяжелое - междуфазное КЗ, чаще всего в трехфазное, которое сопровождается большими токами и которое должно отключаться максимальными токовыми защитами от междуфазных КЗ, менее чувствительными и менее быстродействующими, чем защиты нулевой последовательности от КЗ на землю на стороне НН.

В данной работе для дальнейшего исследования и разработки алгоритмов защит разрабатывается математическая модель трансформатора напряжением 10/0,4 кВ. Трансформатор типа ТМ-1000/10 напряжением 10/0,4 кВ рассматривается как основной предмет в данной работе. Фрагмент модели, собранной в пакете Matlab/Simulink показан на рис. 1. При создании модели были использованы рекомендации по [4].

Обрыв в сети 0,4 кВ представляет опасность не только для энергоснабжающих организаций, но и для потребителей. Это в основном связано с искажением симметричной трехфазной системы напряжений на стороне 0,4 кВ, т. е. непосредственно в узлах потребителей.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Авторами разработана имитационная модель силового трансформатора напряжением 10/0,4 кВ для исследования нарушений нормального режима в системе электроснабжения 10-0,4 кВ в среде MATLAB/ Simulink.

Однофазные короткие замыкания и обрывы одной фазы являются наиболее частым повреждением в этих сетях, которые в основном изучаются в данной работе.

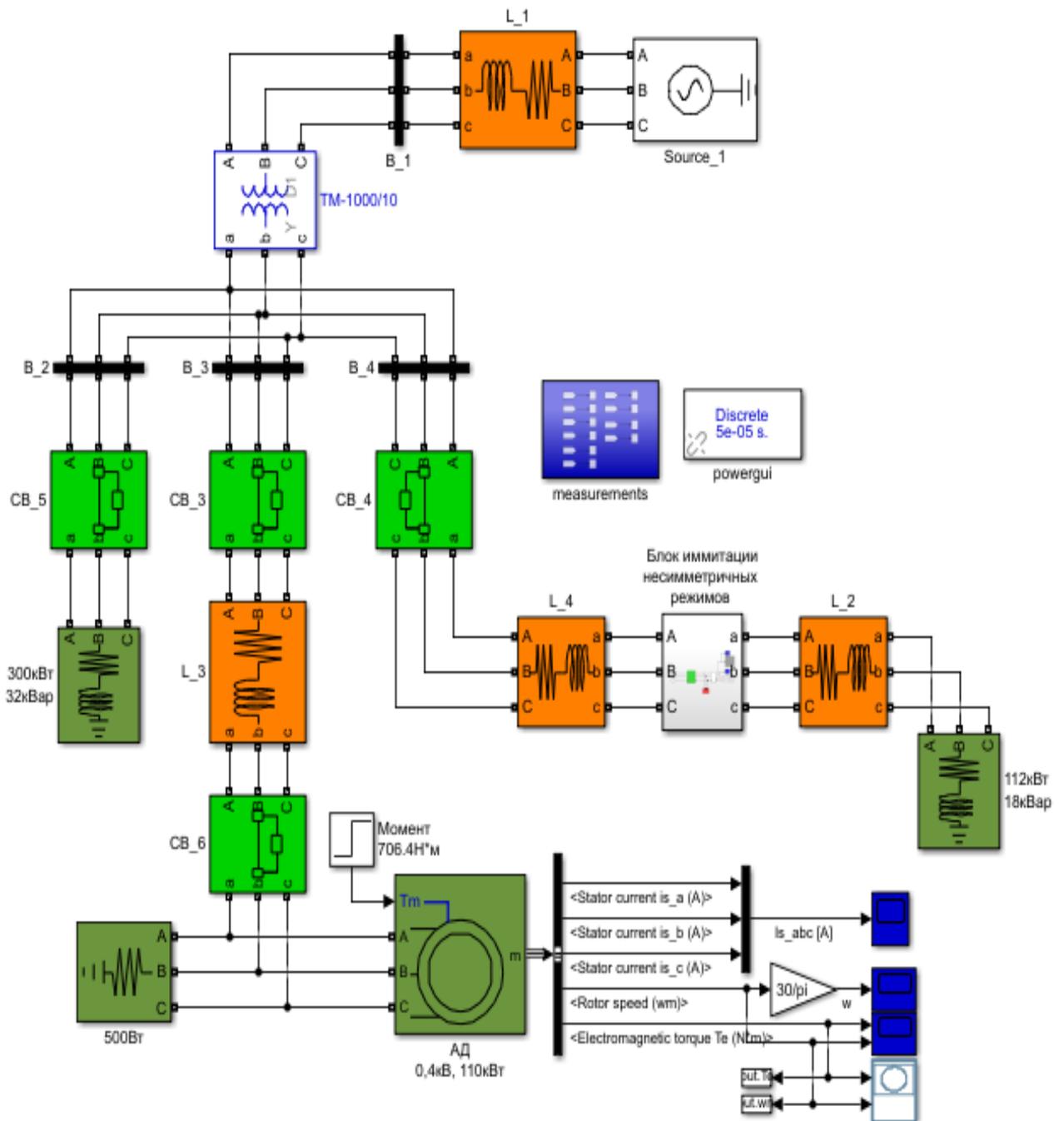


Рисунок 1 – Фрагмент собранной модели в среде Matlab/Simulink

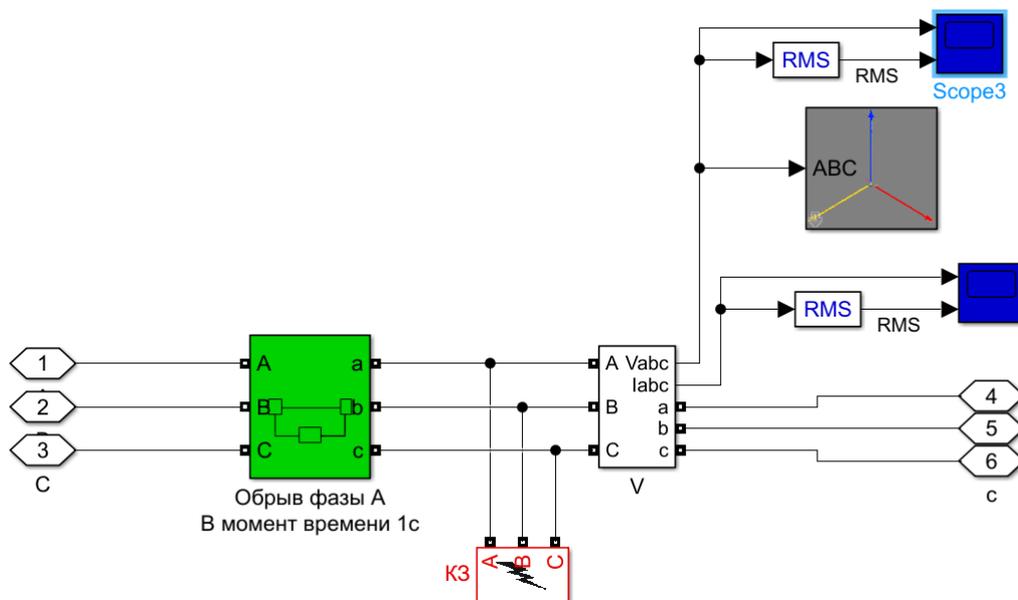


Рисунок 2 – Модель создания обрыв фазы

На рис. 3 приведены графики изменения мгновенных и среднеквадратичных значений напряжения при обрыве фазы А.

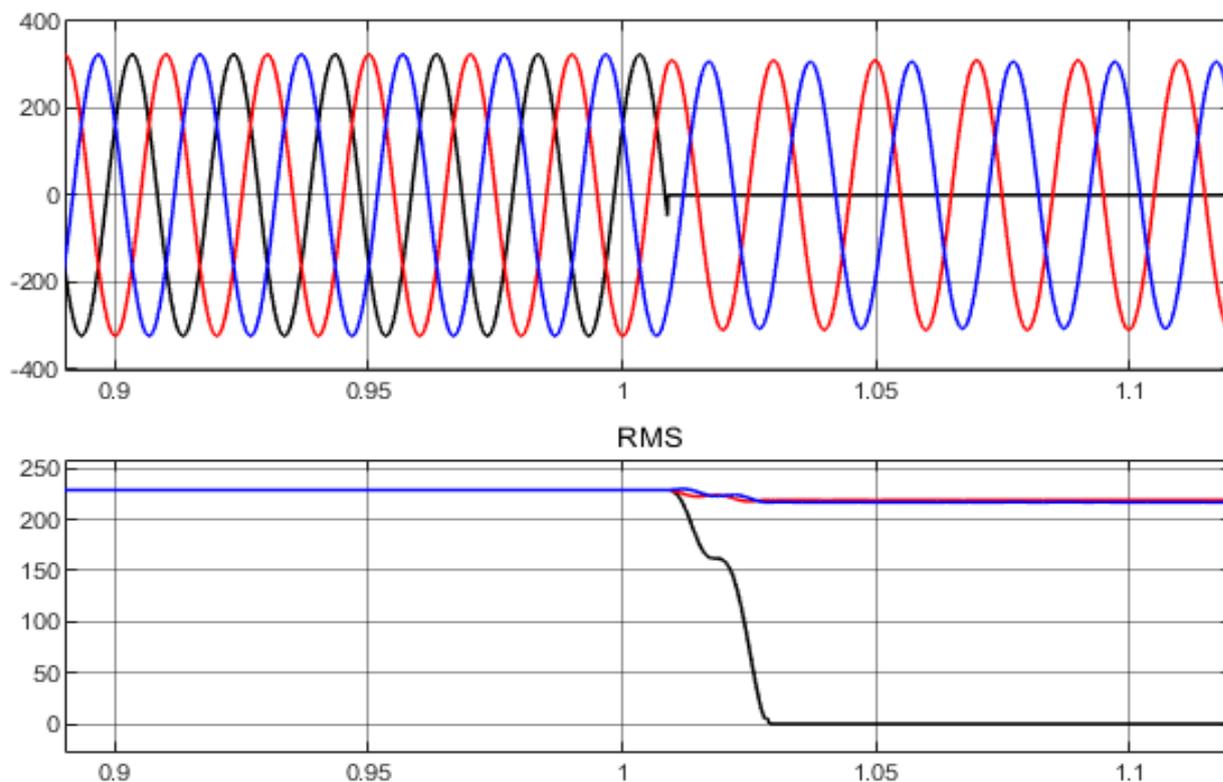


Рисунок 3 – График изменения значений напряжения при обрыве фазы А

Рассмотрим изменение параметров при двухфазном коротком замыкании (КЗ) на землю (за трансформатором). Полученные результаты представлены на рис. 4 и 5, где приведены изменение значения токов и напряжений при создании короткого замыкания.

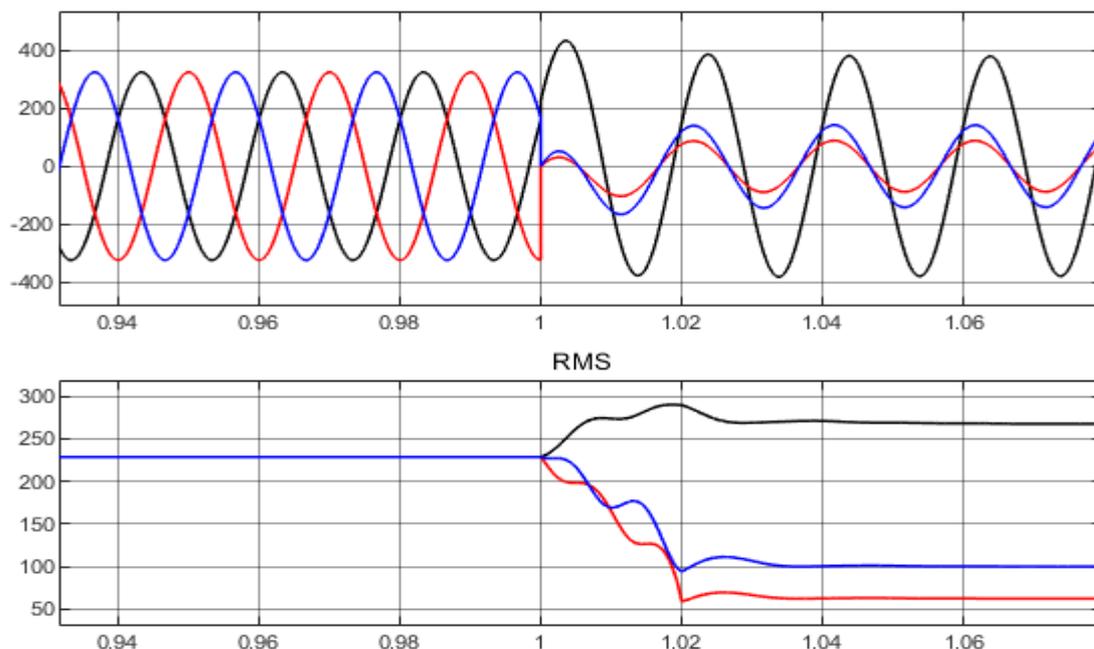


Рисунок 4 – График изменения значений напряжения при двухфазном КЗ на землю

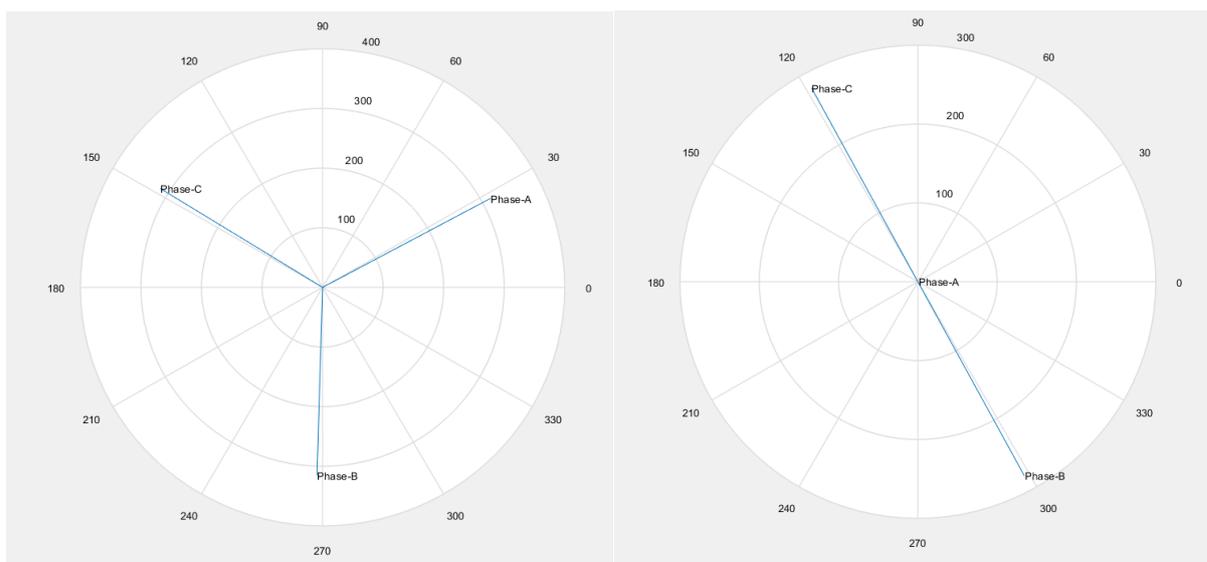


Рисунок 5 – Векторные диаграммы фазных напряжений на нагрузке до и после обрыва

Выводы

Результаты, полученные на компьютерной модели, в основном зависят от того, насколько корректно собрана модель и заданы параметры элементов. Авторами был промоделирован силовой трансформатор типа ТМ-1000/10, в котором были проведены теоретические исследования в нормальном режиме работы, при обрыве фазы и двухфазном коротком замыкании на землю. Планируется в следующей работе вести тщательное исследование повреждений

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

и ненормальных режимов работы сети электроснабжения напряжением 10/0,4 кВ. Так как, разработанная модель позволяет провести исследование параметров и явлений почти всех процессов, возникающих в рассматриваемой сети и трансформатора.

Литература

3. Шабад М.А. Защита трансформаторов 10 кВ. Москва. Энергоатомиздат, 1989 г.

4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей 14 е над М. Энергия, 1989.

5. Шабад М А Защита и автоматика электрических сетей агропромышленных комплексов Энергоатомиздат, 1987.

6. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И.В.Черных. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.

Сведения об авторах:

Мирзозода Б.М. к.т.н., доцент кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита, автоматика и противоаварийная автоматика.

Шахзоди Хасан – 2002 г.р., магистр кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

Холов Шухрат Давлаталиевич – 2002 г.р., магистр кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими, область научной работы – релейная защита и автоматика.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Мирзозода Б.М., Махмадсаидзода М.М., Ибрагимов Б.Ф.

ТТУ имени акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

[E-mail:borbadtjk@mail.ru](mailto:borbadtjk@mail.ru)

Аннотация. *Цифровые системы управления обеспечивают мониторинг процессов в режиме реального времени посредством автоматического извлечения моделей сложных систем с использованием данных от датчиков, счетчиков и устройств интернета для принятия правильных решений. В энергетических системах можно интегрировать цифровые системы управления для повышения надежности системы за счет обеспечения адаптивности к колебаниям спроса и сбоям в системе.*

Ключевые слова: *цифровые системы управления, надежность, энергетические системы*

DIGITAL CONTROL SYSTEMS, RELIABILITY, ENERGY SYSTEMS

Abstract: *Digital control systems provide real-time monitoring by automatically extracting models of complex systems using data from sensors, meters and internet devices to make the right decisions. Energy systems can integrate digital control systems to improve system reliability by being adaptable to demand fluctuations and system failures.*

Keywords: *digital control systems, reliability, energy systems*

Надежность энергетических систем важна для обеспечения стабильного и бесперебойного энергоснабжения для удовлетворения растущих потребностей современного общества. Однако стареющая инфраструктура, возрастающая сложность и интеграция возобновляемых источников энергии создают серьезные проблемы для поддержания надежности [1]. Моделирование и симуляция играют ключевую роль в оценке надежности энергосистем, особенно в связи с тем, что интеграция возобновляемых источников энергии создает новые сложности [2].

Двумя фундаментальными понятиями надежности энергосистем являются адекватность и безопасность [3]. Адекватность, также известная как достаточность ресурсов, относится к способности электрической сети удовлетворять спрос конечного пользователя на электроэнергию в любой момент времени, особенно в периоды пикового спроса. Это включает в себя обеспечение избытка управляемых генерирующих мощностей и ресурсов

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

реагирования на спрос для устранения серьезных непредвиденных сбоев оборудования путем автоматической регулировки генерации и устранения прерываемых нагрузок. Безопасность зависит от наличия эксплуатационных резервов, исторически обеспечиваемых синхронными генераторами [4]. Однако с распространением инверторных ресурсов, таких как солнечные фотоэлектрические системы и сетевые батареи, обеспечение безопасности стало более сложным [5].

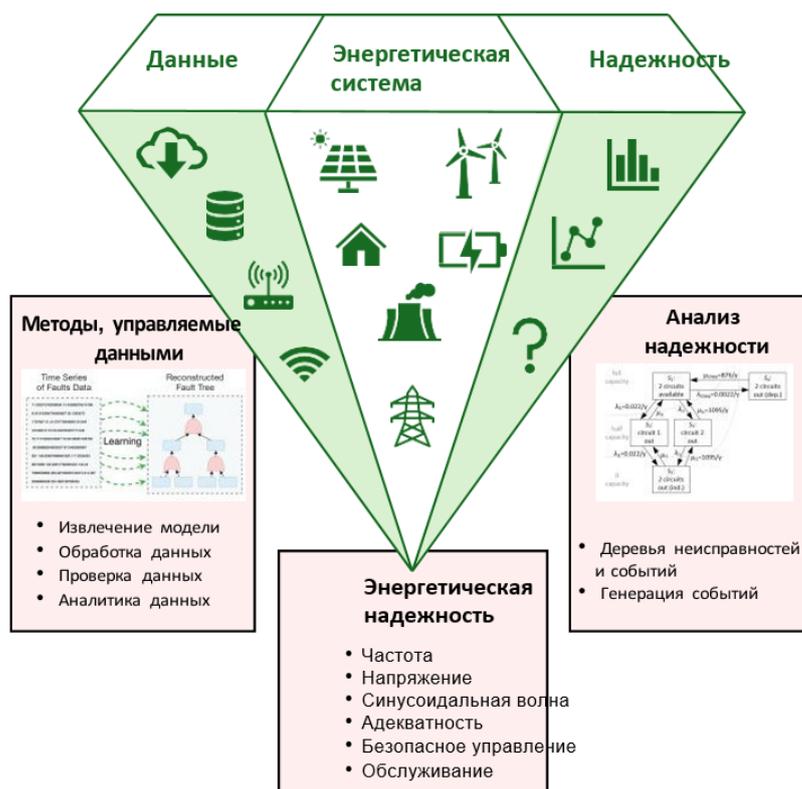


Рисунок 1– Интеграция анализа надежности на основе данных в энергосистемах

Цифровые системы управления (ЦСУ) служат виртуальным представлением физического объекта, процесса или системы, способным отражать его поведение в реальном времени посредством взаимодействия с данными [6].

Цифровые системы управления действуют как виртуальная копия физической энергосистемы, отражая поведение сети в реальном времени с использованием данных интеллектуальных счетчиков и датчиков [7]. Внедрение ЦСУ для интеллектуальных сетей предоставляет коммунальным предприятиям и операторам сетей целостное представление об их инфраструктуре [8]. ЦСУ позволяют улучшить мониторинг, управление и оптимизацию производительности энергосистемы, обеспечивая точное моделирование и прогнозную аналитику [9,10]. Мониторинг в режиме реальной

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

времени, и расширенная аналитика могут помочь выявить потенциальные проблемы, предсказать сбои и повысить надежность и эффективность энергосистем [11].

ЦСУ интегрирует в себе подсистему релейной защиты и автоматики (РЗА), противоаварийной автоматики (ПА), централизованную систему противоаварийной автоматики (ЦСПА), автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ), регистраторы аварийных событий (РАС), систему мониторинга и диагностики основного оборудования, систему определения места повреждения (ОМП) сети, системы сбора и передачи оперативной и неоперативной технологической информации, системы контроля качества электроэнергии и др. и осуществляет сбор первичной информации по всем параметрам технологических процессов, выполняет процедуры регулирования и дистанционного управления оборудованием. Данная система является источником информации для верхних уровней диспетчерского управления (диспетчерский пункт, центр управления) и во многом определяет эффективность управления всей энергетической системой. Входные данные в цифровые системы автоматически собираются и обрабатываются на основе операционных данных от датчиков, интеллектуальных счетчиков, систем SCADA. Укрупненная структура сети сбора телеинформации ПА приведена на рисунке 2.

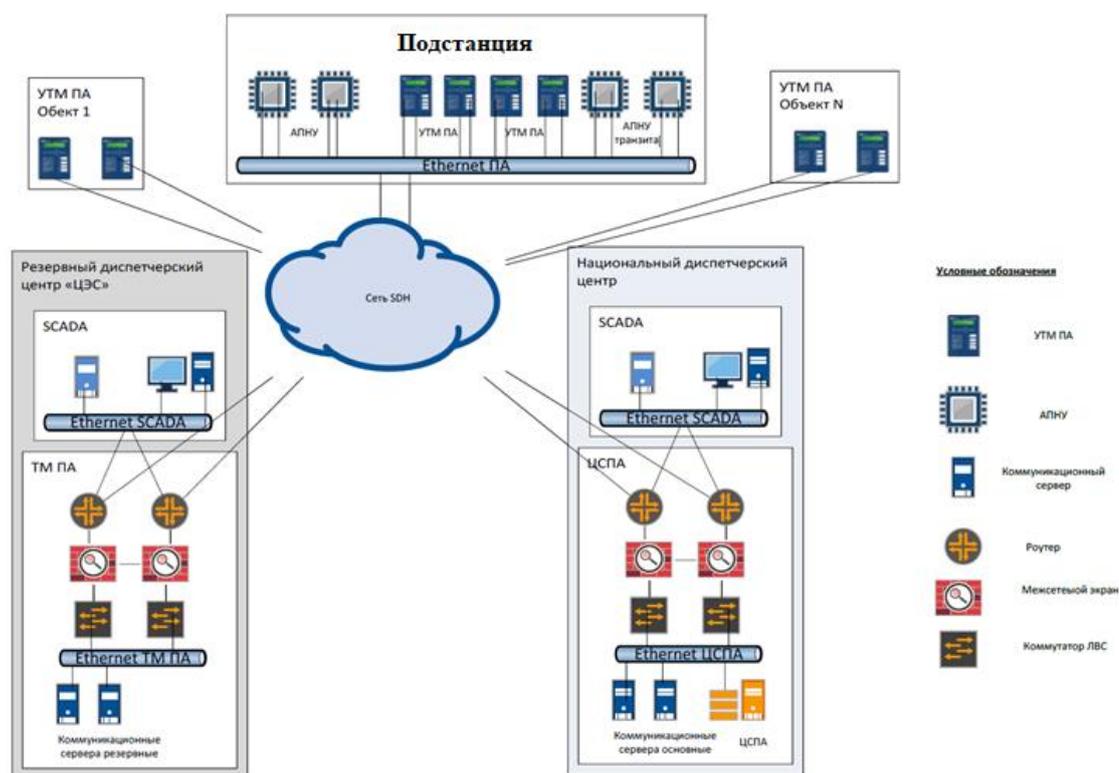


Рисунок 2 – Укрупненная структура системы сбора телеинформации ПА

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Все устройства ПА должны иметь возможность интеграции с системами АСУ ТП объекта и SCADA (при отсутствии АСУ ТП на объекте).

Система SCADA (На рис. 1) осуществляет централизованный мониторинг и управление удаленными системами генерации и передачи состоит из датчиков и исполнительных механизмов, которые сообщаются с центральным главным блоком и управляются им, а также обеспечивает пользовательский интерфейс через человеко - машинный интерфейс. Система фиксирует данные с отметками времени для последующего анализа.

Управляющие воздействия в адаптивной ЦСПА определяются непосредственным расчетом в «реальном времени», т.е. в темпе процесса изменения стационарного режима (рис.3).

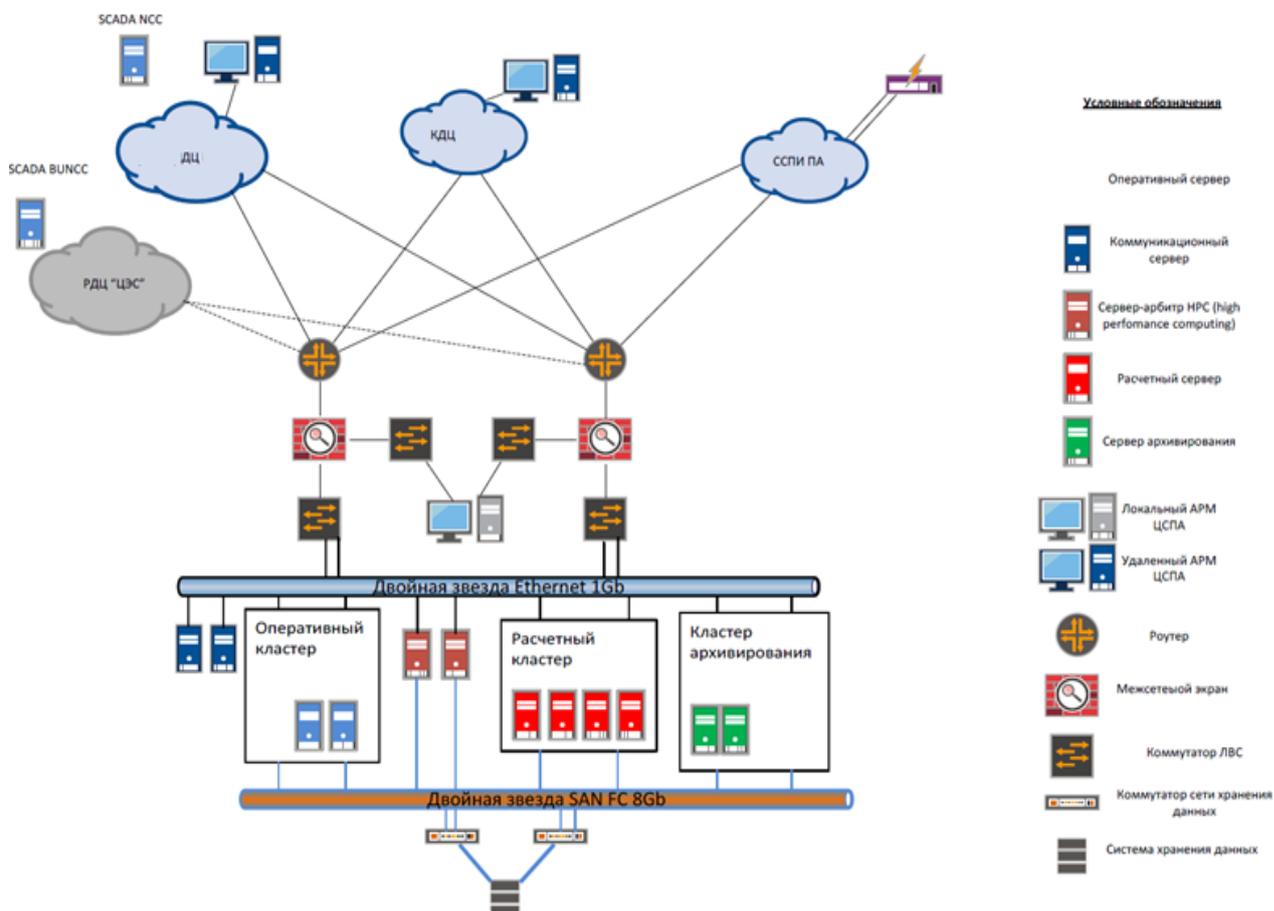


Рисунок 3 – Структурная схема соединений оборудования ЦСПА

ЦСПА играет важную роль в обеспечении надежности электроэнергетических систем, повышает точность и сокращает избыточность управляющих воздействий. Это достигается за счет применения специальных методов адаптивного выбора управляющих воздействий для обеспечения динамической и статической устойчивости энергосистемы.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Повышая стабильность, надежность и отказоустойчивость за счет мониторинга неисправностей в режиме реального времени, ЦСУ электросетей становятся ценным инструментом. Эта преобразующая технология (т.е. ЦСУ) актуальна для развития микросетей, где ее применение обещает существенные преимущества для долгосрочного планирования [12]. Кроме того, технология ЦСУ предлагает преобразующую перспективу с точки зрения управления энергопотреблением и мониторинга, позволяя системам и операторам принимать оптимальные и более эффективные решения [10].

Энергетическая надежность определяется как способность энергосистемы противостоять нестабильности, неконтролируемым событиям, каскадным сбоям или непредвиденным потерям компонентов системы [13].

Сбои в электроэнергетике и энергосистемах оказывают существенное влияние на экономику, вызывая значительные финансовые потери и сбои в работе.

Передовые вычислительные инструменты еще больше изменили анализ надежности, позволяя детально моделировать сложные системы, в том числе с возобновляемыми источниками энергии и технологиями интеллектуальных сетей [14], [15].

Для оценки надежности энергосистем обычно используются несколько показателей надежности [3]. Например, коммунальные предприятия измеряют показатели своей эффективности, используя:

1. Индекс средней частоты сбоев системы (SAIFI).
2. Индекс средней продолжительности перерывов в работе системы (SAIDI)
3. Индекс средней продолжительности перерывов в работе клиента (CAIDI)
4. Индекс средней частоты прерываний работы клиентов (CAIFI)
5. Средний индекс доступности услуг (ASAI).
6. Средняя неотпущенная энергия (AENS)

Компонент энергетической системы включает в себя физическую инфраструктуру электростанций, линий электропередачи, подстанций, распределительных сетей, микросетей или систем хранения энергии. Эти системы оснащены технологиями сбора данных, такими как датчики, интеллектуальные счетчики, системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA). Эти технологии позволяют собирать важные оперативные данные для дальнейшей обработки и анализа.

Анализ надежности с использованием данных в реальном времени, ЦСУ обнаруживает и диагностирует отказы и рекомендует действия по

предотвращению будущих сбоев и оптимизации производительности [16]. Решения реализуются с помощью усовершенствованных алгоритмов управления и оптимизации в реальном времени, что позволяет осуществлять динамическую корректировку в зависимости от текущих условий [17].

Выводы

Целью нашего всестороннего обзора литературы было изучение роли ЦСУ в повышении надежности энергетических систем. ЦСУ облегчают мониторинг в режиме реальной времени, профилактическое обслуживание и оптимизацию операций.

Литература

- [1] S. Kumar, R. K. Saket, D. K. Dheer, J. B. Holm-Nielsen, and P. Sanjeevikumar, “Reliability enhancement of electrical power system including impacts of renewable energy sources: a comprehensive review,” *IET Generation, Transmission, and Distribution*, vol. 14, no. 10, pp. 1799–1815, May 2020, doi: 10.1049/iet-gtd.2019.1402.
- [2] T. Niet, N. Arianpoo, K. Kuling, and A. S. Wright, “Increasing the reliability of energy system scenarios with integrated modelling: a review,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 17, no. 4, p. 043006, Apr. 2022, doi: 10.1088/1748-9326/ac5cf5.
- [3] B. W. Tuinema, J. L. Rueda Torres, A. I. Stefanov, F. M. Gonzalez-Longatt, and M. A. M. M. Van Der Meijden, *Probabilistic Reliability Analysis of Power Systems: A Student’s Introduction*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-43498-4.
- [4] R. Billinton and R. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd edition. Plenumpress, 1994.
- [5] G. Magdy, G. Shabib, A. A. Elbaset, and Y. Mitani, *Renewable Power Systems Dynamic Security*. in *Power Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-33455-0.
- [6] M. Grieves and J. Vickers, “Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems,” in *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, and A. Alves, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 85–113. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- [7] Md. M. H. Sifat et al., “Towards electric digital twin grid: Technology and framework review,” *Energy and AI*, vol. 11, p. 100213, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.egyai.2022.100213.

[8] S. Djebali, G. Guerard, and I. Taleb, “Survey and insights on digital twins design and smart grid’s applications,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 153, pp. 234–248, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.future.2023.11.033.

[9] M. Jafari, A. Kavousi-Fard, T. Chen, and M. Karimi, “A Review on Digital Twin Technology in Smart Grid, Transportation System and Smart City: Challenges and Future,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 17471–17484, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3241588.

[10] N. Tzanis, N. Andriopoulos, A. Magklaras, E. Mylonas, M. Birbas, and A. Birbas, “A Hybrid Cyber Physical Digital Twin Approach for Smart Grid Fault Prediction,” in *2020 IEEE Conference on Industrial Cyberphysical Systems (ICPS)*, Tampere, Finland: IEEE, Jun. 2020, pp. 393–397. doi: 10.1109/ICPS48405.2020.9274723.

[11] R. Schainker, P. Miller, W. Dubbelday, P. Hirsch, and Guorui Zhang, “Real-time dynamic security assessment: fast simulation and modeling applied to emergency outage security of the electric grid,” *IEEE Power and Energy Mag.*, vol. 4, no. 2, pp. 51–58, Mar. 2006, doi: 10.1109/MPAE.2006.1597996.

[12] N. Bazmohammadi et al., “Microgrid Digital Twins: Concepts, Applications, and Future Trends,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 2284–2302, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3138990.

[13] “Energy Reliability - Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/energy-reliability>

[14] P. H. Larsen, K. H. LaCommare, J. H. Eto, and J. L. Sweeney, “Recent trends in power system reliability and implications for evaluating future investments in resiliency,” *Energy*, vol. 117, pp. 29–46, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.10.063.

[15] S. Zhang et al., “Combing data-driven and model-driven methods for high proportion renewable energy distribution network reliability evaluation,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 149, 2023, doi: 10.1016/j.ijepes.2022.108941.

[16] Z. Zhaoyun and L. Linjun, “Application status and prospects of digital twin technology in distribution grid,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 14170–14182, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.410.

[17] O. Bertozzi, H. R. Chamorro, E. O. Gomez-Diaz, M. S. Chong, and S. Ahmed, “Application of data-driven methods in power systems analysis and control,” *IET Energy Systems Integration*, vol. n/a, no. n/a, doi: 10.1049/esi2.12122.

ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сведения об авторах:

Мирзозода Б.М. – к.т.н., доцент кафедры «Релейной защиты и автоматики» Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе. E-mail: borbadtjk@mail.ru

Махмадсаидзода М.М. – соискатель кафедры «Релейной защиты и автоматики» Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе. E-mail: makhmadsaidzoda01@mail.ru

Ибрагимов Б.Ф. – доктор философии (PhD) - Таджикского технического Университета имени М. С. Осими, г. Душанбе. E-mail: ibf-95@mail.ru

**«ЭНЕРГЕТИКА:
СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО –
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

Издано в авторской редакции

Подписано к печати 18 декабря 2024 г.
Условный печатный лист 1,0. Формат 60x84/16. Тираж 20 экз.
Душанбе "Aprint" , 2024

ISBN 978-99985-823-8-5



9 789998 582385