

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

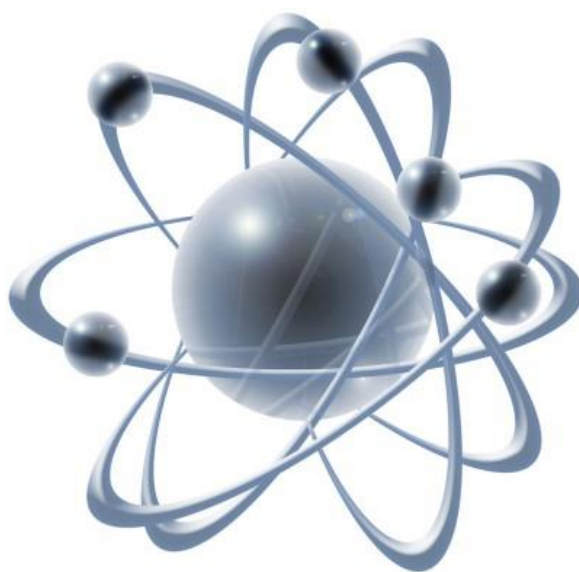
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современные проблемы энергетики и экологии

*Материалы докладов и сообщений
заочной студенческой научно-практической конференции
май-июнь 2020 года*



Севастополь
СевГУ
2020

УДК 621.31(063)+504.06(063)
С568

Редакционная коллегия:

А.М. Акимов – д.т.н., профессор;

С.А. Качур – д.т.н., доцент;

Б.А. Якимович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ВИЭиЭСС;

М.Р. Найдук – зам. директора ИЯЭиП по учебной и научной работе;

К.Б. Матузаев – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЯППУ;

С.Т. Мирошниченко – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ПТУиВМ;

Е.А. Магдыч – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ХТАС

С568 **Современные проблемы энергетики и экологии:** материалы докладов и сообщений заочной студенческой научно-практической конференции 2020 года / Под общей редакцией Ю. А. Омельчук ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 114 с.: ил. – Текст: электронный.

Представлены материалы докладов и сообщений студенческой научно-практической конференции научного студенческого общества Института ядерной энергии и промышленности, которая состоялась в мае-июне 2020 года в удаленном формате.

Сборник предназначен для всех интересующихся проблемами энергетики и экологии.

УДК 621.31(063)+504.06(063)

Рассмотрен и рекомендован к изданию на заседании кафедры ВИЭЭСС, протокол № 9/20 от 29 июня 2020 г.

© Коллектив авторов, 2020
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ	5
Использование в конструкции тепловыделяющей сборки реактора РБМК перемешивающих решеток и их влияние на теплообменные процессы в активной зоне реактора А.Д. Тимофеев, В.В. Шаповаленко	6
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ.....	11
Виды альтернативной энергетики и её применение И.Б. Эшкуватов, В.В.Чебоксаров.....	12
Типы используемых аккумуляторов для солнечных электростанций Ю. В. Брылев	16
Краткий обзор солнечной энергетики Крыма Водзиновский Д. Ю.	22
Поиск альтернативных источников энергии для железнодорожного транспорта Симонов И.В.....	26
Использование опыта и технологий офшорной ветроэнергетики при разработке электрооборудования волновых электростанций И.А. Кочетов, В.В. Чебоксаров	31
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	37
Сравнительный анализ радиационно-защитных свойств легкоплавких и тугоплавких композитных материалов Н.И. Черкашина, В.А. Разина, Д.В. Тарасевич	38
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ	43
Исследование влияния обледенения на надёжность воздушных линий электропередач П.С. Чернышов, В.В. Чебоксаров	44
Применение эффективного метода передачи электроэнергии В.В. Смирнов, Э.Р. Джемилев	48
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ синхронного двигателя с применением технологии «SMART GRID» А.А.Васильев, В.В.Колодяжный	53
ПРИМЕНЕНИЕ РЕКЛОУЗЕРОВ – КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ А.Г. Дунец, К.В. Штепа, Е.Г. Малюк	58

ГОСТы электромагнитной совместимости и требования к зарядной станции	
Симонов И.В.....	64
МОНИТОРИНГ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОНИЖЕННЫМ ИНДЕКСОМ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	
Г.С. Русанов, Е.Г. Малюк.....	69
РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЯХ	
Е.А. Петрушина, А.В. Горпинченко	75
АНАЛИЗ РЕСУРСА МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ЕГО РАБОТЫ	
Пантюхов С.В.....	82
Методы передачи электроэнергии на дальние расстояния	
Нечипоренко Я.А.	91
Анализ статистических метеоданных для установления корреляционной зависимости влияния грозовой активности региона и отказов в силовых кабельных линиях	
С.Ю. Еремин	95
АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	
Васина А.Ю., Парицкая Ю.П., Александрин Я.Н.....	101
ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ СРЕДНЕГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ.	
Сластухин В.В.....	105
Возможности внедрения «Умных сетей» в России	
В.В. Смирнов, И.А. Муртазаев	111

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ РЕАКТОРА РБМК ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ РЕШЕТОК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА

А.Д. Тимофеев, В.В. Шаповаленко

Повышение технико-экономических показателей АЭС делает проекты более конкурентно способными, дает толчок к их модернизации и дальнейшему развитию. В связи с этим модернизируется основное оборудование АЭС, ведется поиск новых перспективных материалов, используемых в ядерной энергетике, усовершенствуются конструкции тепловыделяющих сборок (ТВС) и тепловыделяющих элементов (ТВЭлов). С этой целью проводится анализ влияния изменений в конструкции ТВС на теплообменные и гидродинамические процессы в активной зоне реактора.

Введение

В настоящее время общеизвестно, что выработка электроэнергии России базируется на корпусных водо-водяных реакторах под давлением и канальных водо-графитовых кипящего типа реакторах (РБМК). Отмечаются неоспоримые достоинства реактора РБМК-1000, такие как увеличение мощности реактора за счет увеличения количества ТВС, так как размеры активной зоны не ограничены корпусом реактора, как ВВЭР-1000, возможность без изменения объемов активной зоны увеличить мощность реактора за счет применения дополнительной интенсификации теплообмена в активной зоне. Кроме того, к его преимуществам относится возможность перегрузки ядерного топлива без его останова.

Однако авария, которая произошла в Украине на Чернобыльской АЭС, недостатки конструкции, которые проявились при эксплуатации графитовой кладки работающих РБМК-1000 в виде деформации графитовых колонн, недостатки работы ОР СУЗ, требуют тщательного анализа конструкционного исполнения активной зоны реактора, тепловых и гидродинамических процессов, протекающих в активной зоне ядерного и поиска решений данной проблемы.

Цель работы

Целью данной работы является анализ работы перемешивающих решеток в составе конструкции тепловыделяющих сборок для реактора РБМК-1000. В частности, ставится задача исследовать влияние их применения на интенсификацию теплообмена и изменение гидравлических сопротивлений, влияние их на теплообменные процессы в активной зоне реактора.

Влияние на теплообменные процессы в активной зоне применения перемешивающих решеток в составе конструкции ТВС

Ячейка активной зоны в реакторе РБМК представляет собой графитовый блок размерами 250 x 250 мм, в центре которого находится труба-технологический канал, внутри которого расположена тепловыделяющая сборка. Диаметр отверстия в

графитовом блоке больше диаметра технологического канала, таким образом образуется зазор, заполняемый в шахматном порядке разрезными графитовыми кольцами, предназначенными для компенсации температурных расширений как со стороны графитовых блоков, так и со стороны технологического канала. Кроме того, через разрезные графитовые кольца, между которыми протекает азотно-гелиевая смесь осуществляется отвод тепла от графитовых блоков к технологическим каналам.

Тепловыделяющая сборка РБМК-1000 состоит из верхнего и нижнего пучка твэлов одинаковой конструкции по 18 твэлов в каждом, центральной трубы, объединяющей пучки, направляющих хвостовиков, втулки, объединяющих центральную трубу верхнего и нижнего пучка, крепежной гайки, фиксирующей положение пучков на центральной трубе.

Равное расположение твэлов в пучке осуществляется десятью дистанционирующими решетками. Дистанционирующая решетка собрана из отдельных фигурных ячеек, охватывается обоймой. Детали решетки соединены между собой контактно-дуговой сваркой. Между твэлами верхнего и нижнего пучка имеется зазор для компенсации удлинения твэлов. Центральная труба состоит из двух труб: верхней диаметром 36 мм из нержавеющей стали и нижней диаметром 12 мм из циркониевого сплава Э-125, соединяющиеся между собой втулкой.

В верхнем пучке твэлов установлены десять решеток, объединяющих обе функции дистанционирования и интенсификации потока теплоносителя, в которых периферийные и промежуточные пластины ячеек имеют отгибы под углом 45° к направлению потока теплоносителя, а на обойме решетки предусмотрены канавки – дефлекторы, выполненные под углом 15° к направлению потока теплоносителя [2]. За счет сложной конфигурации решетки создается разнонаправленное движение теплоносителя внутри каждой ячейки и вне ячейки, образованной соединениями трех соседних ячеек. Конструкция ТВС представлена на рисунке 1 [3].

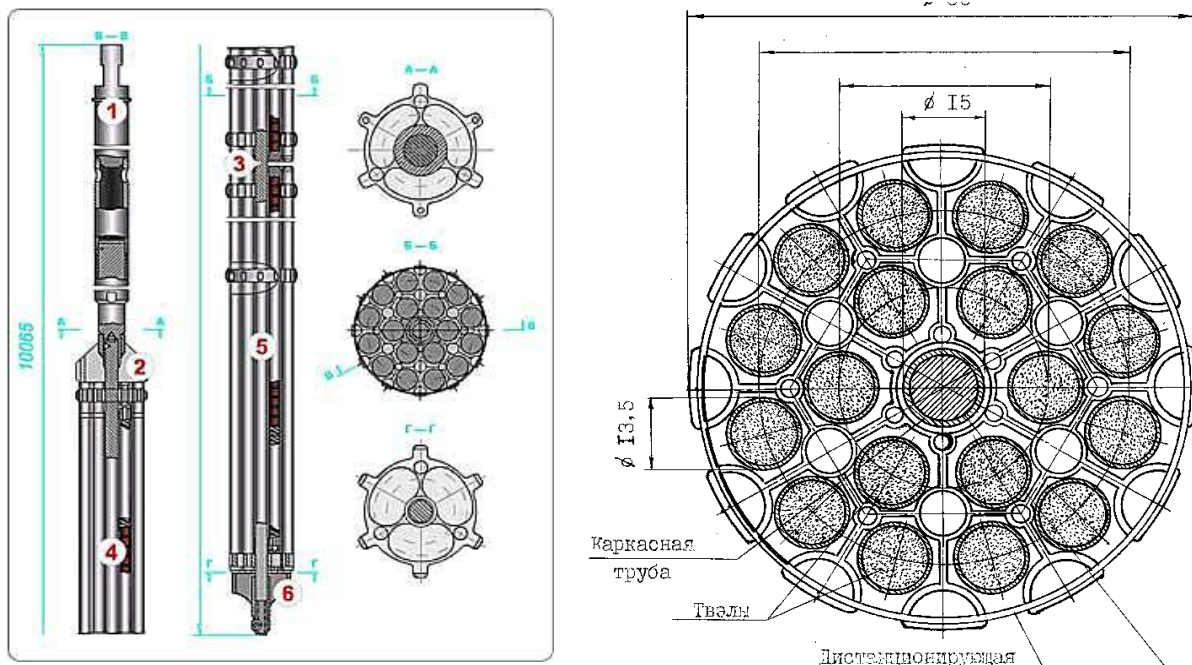


Рис. 1. Продольное и поперечное сечение ТВС РБМК-1000

1 – подвеска; 2 - направляющий хвостовик; 3 - несущий стержень; 4 - верхняя тепловыделяющая сборка; 5 - нижняя тепловыделяющая сборка; 6 – наконечник

Поскольку активная зона реактора РБМК-1000 представляет собой совокупность графитовых колонн, плотно прилегающих друг к другу, то любое смещение графитовых блоков вследствие их деформации может привести к подвижке следующего блока с нарастающим эффектом по деформации, а это в свою очередь приведет к изгибу технологического канала в графитовом блоке, в котором могут располагаться либо ТВС, либо ОР СУЗ, что однозначно негативно отразится на работе всей энергетической установки в целом и в первую очередь на её безопасности. Поэтому так важно создать, достаточные условия отвода тепла от графитовых блоков и элементов конструкции технологического канала.

Для повышения теплосъёма с поверхности оболочек тепловыделяющих элементов на самом энергонапряженном участке ТВС, в верхней ее части устанавливают перемешивающие решетки, создающие дополнительные условия отрыва пузырьков пара с поверхности оболочек твэла, равномерного их распределения в объеме пароводяного потока и стабилизации движения водного слоя жидкости на внутренней поверхности технологического канала – всё это позволяет избежать кризиса теплоотдачи в активной зоне и перегрева графитовых блоков.

Применение перемешивающих решеток позволяет увеличить мощность РБМК при прежних размерах твэлов, ТВС. С помощью интенсификаторов потока возможно уменьшение затрат мощности на прокачку теплоносителя при сохранении запаса до кризиса теплоотдачи. В этом случае увеличивается выходное паросодержание и снижается расход теплоносителя через каналы активной зоны. Однако применение интенсификаторов потока приводит к увеличению гидравлических сопротивлений в технологическом канале, поэтому для снижения гидравлических сопротивлений целесообразно использовать перемешивающие решетки, выполняющие также и функцию дистанционирования. Также имеются ограничения на повышение единичной мощности реактора в РБМК из-за предельных температур нагрева графитовых блоков не более 750 °С.

Влияние на гидродинамические процессы в активной зоне применения перемешивающих решеток в составе конструкции ТВС

Гидравлическое сопротивление решеток в значительной мере определяется их конструкцией. Гидравлические сопротивления при движении в канале пароводяного потока определяются по формуле [1], [2]:

$$\Delta p_{\text{од}} = \xi \frac{\rho' \cdot w_o^2}{2} \left[\frac{\rho' \cdot x^2}{\rho'' \cdot \varphi} + \frac{(1-x)^2}{1-\varphi} \right], \text{ Па} \quad (1)$$

где w_o – скорость циркуляции потока, м/с;

ρ' – плотность воды на линии насыщения, кг/м³;

ρ'' – плотность пара на линии насыщения, кг/м³;

φ – истинное паросодержание;

x – массовое расходное паросодержание.

$\xi = \xi_{\text{эд}} + \frac{3400}{m^{1.5} \text{ Re}}$ – коэффициент сопротивления.

Влияние интенсификаторов учитывается через $\xi_{\kappa\epsilon}$ - коэффициент сопротивления решетки и рассчитывается:

$$\xi_{\epsilon\delta} = \left[\frac{1-m}{2m^2} + \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \right]^2 + \xi_p \frac{h_p}{d_p} \frac{1}{m^2} - 0.036, \quad (2)$$

где $m = S_p / S_n$, здесь S_n - проходное сечение пучка твэлов, m^2 , S_p - проходное сечение решетки, m^2 ;

h_p - высота решетки, м.

В формуле (2) коэффициент сопротивления ξ_p :

$$\xi_p = (1.74 - 2 \lg \frac{0.035}{d_p})^{-2}, \quad (3)$$

где $d_\delta = \frac{4 \cdot S_p}{\dot{I}_{\delta\delta}}$ - гидравлический диаметр решетки, м.

В формулах (1) число Рейнольдса определяется:

$$Re = \frac{\rho w d_p}{\mu'}, \quad (4)$$

(4)

где μ' - динамическая вязкость, определяемая при температуре насыщения, Па·с;

ρ - плотность потока, кг/м³,

w - скорость потока, м/с,

d_p - гидравлический диаметр решетки, м.

В формуле (1) истинное паросодержание φ определяется по формуле:

$$\varphi = w'' / (w'' + w' + \Delta w) \quad (5)$$

где $w'' = (G \cdot x) / \rho''$ - приведенная скорость пара, м/с,

$w' = (w \cdot \rho \cdot (1-x)) / \rho'$ - приведенная скорость воды, м/с,

В формуле (5) скорость потока с учетом интенсификаторов потока определяется по формуле:

$$\Delta w = u_0 \psi [1 + 20 We^{0.75}], \text{ м/с} \quad (6)$$

где $We = w_{\tilde{n}} \cdot \mu' / \sigma$ - число Вебера;

$\psi = 1.4 \left(\frac{\rho'}{\rho''} \right)^{0.2} \left(1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right)^5$ - коэффициент, учитывающий структуру потока;

$$u_0 = 1.53 \left[\frac{g\sigma(\rho' - \rho'')}{(\rho')^2} \right]^{0.75} \text{ при условии, что число Вебера } We > 344;$$

$$u_0 = 0.35 \left[\frac{gD(\rho' - \rho'')}{(\rho')^2} \right]^{0.5} \text{ при условии, что число Вебера } We < 344.$$

Из расчета видно значительную зависимость гидравлических сопротивлений от изменения структуры потока теплоносителя, геометрии ячейки перемешивающей решетки, скорости движения потока, изменения теплофизических характеристик теплоносителя.

Выводы

Несмотря на всю привлекательность использования перемешивающих решеток в конструкции тепловыделяющей сборки для реализации повышения единичной мощности ядерного реактора РБМК за счет интенсификации теплообмена, данный способ ограничен в применении из-за прочностных характеристик графитовых блоков.

В приоритете все-таки остаются требования безопасной эксплуатации атомной станции, которые требуют поиска новых решений в области оптимизации конструкционного исполнения активной зоны ядерного реактора, что сводится к поиску новых материалов, обладающих более высокими прочностными свойствами, выдерживающих более высокие тепловые и радиационные нагрузки.

Список использованных источников

1. Шаповаленко В.В. Теплогидравлический расчет ядерных реакторов./ Севастополь: Издательство СевГУ, 2019. – 204 с.
2. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / П.Л.Кирилов, А.В.Жуков, Н.И.Логинов, В.М.Махин / М. :ИздАт, 2013.- 688с.
3. Шелегов А.С. Физические особенности и конструкция реактора РБМК-1000 / А.С.Шелегов, С.Т.Лескин, В.И.Слободчук/ М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 64 с.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

ВИДЫ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ

И.Б. Эшкуватов, В.В.Чебоксаров

В данной статье рассматриваются разновидности альтернативных источников энергии, их применение, преимущества также недостатки по сопоставлению с традиционными источниками энергии. Данная статья может быть использована для последующих научных исследований, применена как основа будущего проекта.

Введение

Все мы знаем, что запасы газа, угля, нефти не безграничны. Их стоимость регулярно увеличивается. Однако остаётся немало мест, в которых не подведён газ, нет электричества. Иногда стоимость работ по монтажу выше уровня дохода населения. Неудивительно, что альтернативная энергия своими руками порождает на сегодняшний день заинтересованность, как у жителей города, так и владельцев загородных домов.

Мир, в котором мы живем, полон энергии, находящейся не только в недрах земли. Ещё со школьной скамьи мы знали, что можно использовать энергию ветра, падающей воды, приливов и отливов, солнца и иных аналогичных энергоносителей в масштабах целых стран, а также континентов.

Цель работы

Целью данной статьи является анализ возможности, а также эффективности применения альтернативных источников энергетики. Из поставленной цели следуют соответствующие задачи:

1. ознакомиться с возможностями и тенденциями формирования альтернативной энергетики;
2. дать характеристику мировым перспективам формирования и стимулирования альтернативной энергетики;
3. рассмотреть стратегии становления возобновляемой энергии в мире;
4. установить потенциал и проблемы формирования энергетики России.

Виды альтернативной энергетики

Альтернативная энергетика — это комплекс перспективных технологий извлечения энергии, которые не так широко известны, как традиционные, но представляют интерес из-за рентабельности их использования при низком риске нанесения вреда окружающей среде.

Альтернативный источник энергии — это способ, устройство либо конструкция, которая даёт возможность получать электрическую энергию (или же другой необходимый вид энергии) и заменяет традиционные источники энергии, работающие на нефти, добываемом природном газе и угле. Целью поиска альтернативных источников энергии является получение её из возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений. Также можно принять во внимание экологичность и экономическую эффективность (табл.1)

	Тип источников	Преобразуют в энергию
.	Биотопливная	Теплоту сгорания возобновляемого топлива
.	Ветряные	Движение воздушных масс
.	Волновая	Движение воды в реках и морях
.	Геотермальные	Тепло планеты
.	Солнечные	Электромагнитное излучение солнца

Таблица 1 – Классификация источников

Применение альтернативной энергетики

Биотопливная энергетика. Приблизительно 50% твердых отходов составляет вода. Мы можете легко собрать только 15% мусора. Самое большее, что могут производить твердые отходы, - это энергия, равная приблизительно 3% потребляемой нефти и 6% природного газа. Поэтому без конструктивных усовершенствований в организации сбора твердых бытовых отходов они навряд ли смогут внести значительный вклад в производство электроэнергии. Биомасса – древесина и органические отходы – составляют около 14% от общего мирового потребления энергии. Во многих развивающихся странах биомасса является распространенным бытовым топливом [1].

В качестве источника энергии предлагалось выращивать растения, в том числе лесные. Около 190 тонн сухого продукта с гектара в год могут производить быстрорастущие водные растения. Такие продукты можно сжигать в качестве топлива либо перегонять чтобы получить жидкие или газообразные углеводороды. Так например в Бразилии сахарный тростник был использован с целью производства спиртосодержащего топлива, заменяющего бензин. Их стоимость не намного выше стоимости обычных ископаемых энергоносителей. При правильном управлении данный энергетический ресурс может быть восполняемым. Необходимы дополнительные исследования, особенно по быстрорастущим культурам и их рентабельности, с учетом затрат на сбор урожая, перевозку и измельчение. Из-за климата выращивание быстрорастущих растений в России затруднено. Продукты, которые получают из биотоплива

- получение биодизеля;
- производство метана и синтез-газа;
- производство биогаза.

Кроме того быстрорастущие водоросли и некоторые виды органических отходов может использоваться в качестве биотоплива.

Ветроэнергетика - это отрасль энергетики, предназначенная на использовании энергии ветра (кинетической энергии воздушных масс в атмосфере). Ветроэлектростанция-это установка, которая служит для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию. Она состоит из ветродвигателя, генератора электрического тока, автоматического устройства для управления работой ветродвигателя и генератора, а также конструкций для их монтажа и обслуживания. Производство ветряных электростанций дешево, однако их мощность не слишком велика, кроме того от погодных условий зависит и их эксплуатация. Из-за того, что ветряные электростанции шумные, на ночь их приходится отключать. Также ветряные электростанции создают помехи для воздушного движения и даже для радиоволн. В конечном итоге, использование ветряных электростанций требует огромных площадей, гораздо больших, чем для других типов электрогенераторов.

Волновая энергетика - это способ получения электрической энергии путем преобразования потенциальной энергии волн в кинетическую энергию пульсаций

также преобразования пульсаций в однонаправленную силу, вращающую вал электрогенератора. Сравнивая энергию волн с солнечной и ветровой энергией, она имеет гораздо более высокую удельную мощность. Например, средняя мощность волн морей и океанов выше 15 кв/м. Когда волна достигает высоту в 2 м, то её мощность равна 80 кВт / м. Часть мощности волны может использоваться для механической и электрической энергии, однако коэффициент преобразования для воды выше, нежели для воздуха – до 85%.

Геотермическая энергия-способ выработки электроэнергии путем преобразования внутреннего тепла Земли в электрическую энергию. Данный способ основан на том, что температура горных пород с глубиной повышается, а на уровне 2-3 км от поверхности Земли превышает 100°C. К минусам геотермальных электроустановок можно отнести возможность локального проседания грунтов и пробуждения сейсмической активности. А газы, выходящие из-под земли, могут содержать токсичные вещества. Помимо этого, для строительства геотермальной электростанции нужны определенные геологические условия.

Солнечная энергетика-это преобразование солнечной энергии в электрическую с помощью фотоэлектрических и термодинамических способов. Для фотоэлектрического метода используются фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) с прямым преобразованием энергии квантов света (фотонов) в электричество. Термодинамические установки содержат "солнечный котел", турбину и генератор. Но солнечное излучение, падающее на Землю, содержит несколько отличий: невысокую плотность потока энергии, суточную и сезонную цикличность, зависимость от погодных условий.

Возобновляемые (альтернативные) источники энергии составляют лишь около 1% мирового производства электроэнергии. Речь идет, в первую очередь, о геотермальных электростанциях, которые производят максимальную часть электроэнергии в странах Центральной Америки, Филиппинах и Исландии. Кроме того Исландия является примером страны, где термальная вода широко применяется для отопления. Приливные электростанции по — прежнему доступны только в некоторых странах-Франции, Великобритании, Канаде, России, Индии и Китае. Только в 30 странах работают солнечные электростанции. Большинство стран используют ветроэнергетические установки. Преобладают они в странах Западной Европы, США, Индии, Китая. 25 % энергии от ветра получает Дания[2]. В Бразилии в качестве топлива применяют этиловый спирт.

Россия способна из ветра получать до 10% энергии.

США, Китай и Индия являются лидерами в области альтернативной энергетики. В результате анализа использования альтернативных источников энергии были получены следующие данные (рис. 1) [3].

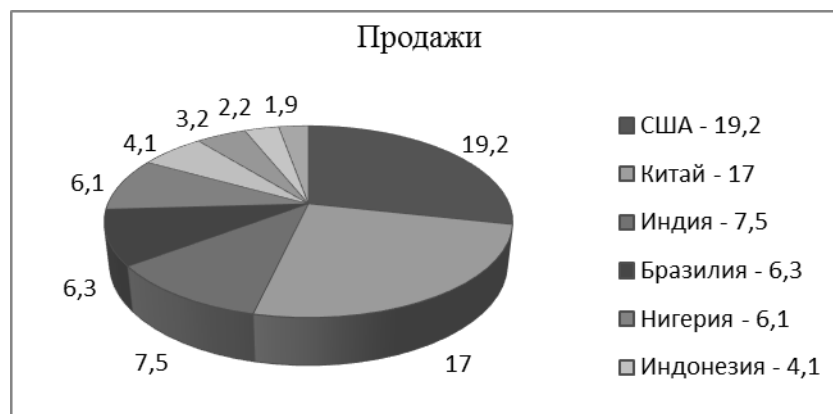


Рисунок 1 – Ведущие страны, производящие энергию из ВИЭ, %

Вывод

На основе анализа различных источников информации выявлены наиболее перспективные технологии преобразования основных видов возобновляемой энергии (солнечной, ветровой, биомассы, приливов и волн).

Уровень использования альтернативной энергетики в Российской Федерации составляет менее 1 % от общего объема производства. В первую очередь это связано с низкими ценами на ископаемые источники энергии и высокими инвестициями в альтернативные источники энергии. Именно эти трудности сдерживают использование альтернативных источников энергии.

Исходя из проведенного анализа, можно сказать, что основные исследования в области развития возобновляемых источников энергии должны быть направлены на снижение себестоимости конвертеров за счет повышения их КПД, материалоемкости, повышения энергоемкости и использования органических материалов вместо дефицитного сырья.

Список использованных источников

1. Алексеенко С.В. Нетрадиционная энергетика и энергоресурсосбережение // Инновации. Технология. Решения. – 2006. – № 3 (март). – С. 38-41;
2. <http://www.vz.ru/economy/>;
3. Global renewable energy markets – key trends and challenges [Electronic resource]. URL: [www/reportlinker.com/report/best/keyword](http://www.reportlinker.com/report/best/keyword).

ТИПЫ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЪ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Ю. В. Брылев

В данной статье предпринята попытка краткого обзора современных аккумуляторов для применения в составе солнечной электростанции. Основное внимание в статье уделяется особенностям устройства аккумуляторов, их достоинствам и недостаткам.

Введение

Еще недавно добыча электричества с помощью солнечных батарей казалась фантастикой. Но в современном мире это уже давно не новшество, благодаря преимуществам солнечной энергии, этот вопрос не перестает быть актуальным. Одной из главных частей установки по производству электроэнергии с применением солнечных батарей являются аккумуляторы.[1]

Аккумулятор для солнечных батарей применяются в целях поддержания постоянного напряжения в исходящей сети, вне зависимости от функционирования самой генерирующей части. В сущности, работа солнечной электростанции сильно зависит от времени суток и погодных условий. Во время хорошей инсоляции (день) производится достаточное количество электричества для поддержания всех устройств нагрузки, одновременно осуществляется подзарядка аккумуляторной батареи. Когда выработка падает, или становится ниже требуемой, накопитель, а в качестве него обычно используется аккумулятор, начинает подпитывать сеть, возмещая недостаток из накопленных запасов. Применяется система АВР (Автоматический ввод резерва) позволяет переключить питание объекта при отсутствии солнца и полном разряде аккумуляторов на электросеть. Эта же схема может использоваться и наоборот – солнечная батарея, как резервный источник питания. В этом случае АВР переключает потребителей на аккумуляторные батареи при потере питания от электросети.[2]

Цель работы

Цель данной работы дать представление о особенностях современных аккумуляторных батарей, которые могут применяться для аккумуляирования электроэнергии выработанной солнечной электростанцией.

Аккумуляторы

Аккумуляторы для солнечных батарей можно назвать посредниками. Они передают полученную электрическую мощность конечному потребителю. С их помощью происходит сохранение излишков энергии, которая была выработана днем, чтобы иметь возможность использовать ее ночью.

Любой электрический аккумулятор это устройство, позволяющее сохранять и отдавать ток. Принцип его действия построен на обратимости химических процессов. В

общем случае, энергия сохраняется в положительно заряженном ионе составляющего вещества, который при подаче тока на батарею интегрируется в кристаллическую решетку графита, солей или оксидов металлов, с возникновением их химической связи. В сущности, любой аккумулятор состоит из двух различных по материалам электродов, погруженных в электролит, облегчающий перемещение ионов с одного на другой. Направление движения тока задается свойствами самих металлов, используемых в качестве проводящих контактов. Катод обладает большим удельным сопротивлением, анод - меньшим. На техническом языке катод называется минусом питания, анод плюсом.

При заряде батареи основа анода растворяется, с переносом ионов, содержащих два электрона на катод. При разряде происходит обратная реакция, с освобождением частиц энергии и восстановлением изначального металла анода. Конечно, цикл не бесконечен, так как в любом случае происходят потери материала в процессе химических реакций. Максимальное количество периодов заряда и разряда — одна из главных характеристик батареи, которая непосредственно зависит от использованных в ней металлов для основы электрода и катода. Важна и скорость прохождения реакции, а также побочные эффекты, происходящие в их процессе. К примеру, нагрев — чем большим током происходит заряд аккумулятора, тем быстрее идет реакция переноса, во время которой электролит нагревается, так как через него проходит большее количество заряженных частиц. Слишком большие значения токов могут вызвать закипание проводящего вещества, в результате которого произойдет выделение газов, в свою очередь, разрушающих корпус батареи.

Существует несколько видов аккумуляторов, которые могут применяться для совместной работы с солнечными батареями, все они имеют свои преимущества. Большая их часть не требует обслуживания, тем самым исключается физический контакт, что является плюсом, ведь это минимизирует риск их физического или химического воздействия на организм человека. При выборе аккумулятора следует обращать внимание на его основные технические характеристики.

Основные типы аккумуляторов

- гелиевые;
- щелочные никелевые;
- свинцово-кислотные;
- литиевые;
- аккумуляторы AGM;
- аккумуляторы OPzS;
- никель-кадмиевые.

Гелиевые аккумуляторы — электролит находится в гелеобразном состоянии благодаря добавленному в него оксиду кремния. Отличительные характеристики — высокая степень безопасности и хорошее качество. Такие конструкции не требуют периодического обслуживания в процессе эксплуатации. Что касается химической основы, — это обычные свинцово-кислотные батареи. Применение геля в качестве основы электролита дополнительно дает увеличение количества циклов заряда, за счет отсутствия связывания проникаемого ионами вещества с частями материала анода. Другими словами, у таких аккумуляторов меньше падает кислотность электролита, что дает возможность отказаться от периодического поднятия его плотности в процессе использования батареи. Одной из особенностей гелиевого устройства является малая энергия саморазряда. Аккумулятор способен функционировать в любом положении и

при низких температурах (до -30°C). Это перспективный и эффективный инструмент электроснабжения на базе устройств альтернативной энергетики. Аккумуляторы такого типа обозначаются, как «GEL» на корпусе. Их, наверное, самый большой минус — непереносимость перезаряда или пополнения слишком высокими токами.

По ценовой категории один из самых дорогостоящих аккумуляторов.

Щелочные (никелевые) аккумуляторы менее распространенные, так как существует необходимость регулярной проверки на уровень электролита. Для работы в таких аккумуляторах используется не кислота, а щелочь. Из преимуществ: превосходят кислотные из-за способности выдерживать глубокие разряды. По некоторым показателям превосходят свинцовые, имеют стойкость к толчкам и тряске.

Свинцово-кислотные аккумуляторы по конструкции делятся на обслуживаемые (заливные) и необслуживаемые (герметизированные). Вторые в международной классификации обозначаются аббревиатурой SLA и содержат сернокислый электролит, связанный в стекловолокне (AGM) или в виде геля. В сравнении с заливными, имеют более высокие эксплуатационные характеристики и лучше приспособлены для использования в солнечной электроэнергетике.

Вне зависимости от применяемых технологий все свинцово-кислотные аккумуляторы в целом плохо переносят глубокий разряд, но способны постоянно подзаряжаться малыми токами. По сроку службы являются самые недолговечные — от 24 до 48 месяцев.

В последнее время популярностью пользуются герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, они в процессе эксплуатации не выделяют взрывоопасные газы.

AGM аккумулятор является одним из самых дешевых вариантов. Свинцово-кислотные АКБ, самые распространенные и зачастую используемые на транспорте. В аккумуляторах этого типа основой реакции служит связка химического обмена ионами между контактами свинца с преобразованием его в оксид металла. Электролитом служит раствор серной кислоты. Как раз последний фактор и обеспечивает минус у таких батарей — жидкость, кроме того, что может закипеть, еще и постоянно теряет свою кислотность из-за оседающих в ней остатков от химических реакций обмена. Такие аккумуляторы требуют периодического повышения плотности в процессе эксплуатации. Уровень электролита в одном положении, относительно пластин электродов, поддерживается пропиткой им специальных матов из стекловолокна. Если говорить о минусах, то это недолгий эксплуатационный срок (максимум 5 лет) и чувствительность к превышению напряжения заряда. При этом может работать с неполной зарядкой. AGM аккумуляторы используются при температуре от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. Для его зарядки много времени не требуется. Также можно отметить хорошую работу устройства в плохо вентилируемом помещении и сохранение накопленного заряда во время транспортировки.

Аккумуляторы OPzS имеют аналогичный принцип работы со свинцовыми. Система обладает высокой надежностью благодаря наличию трубчатого анода, что обеспечивает увеличенное количество циклов «заряд-разряд». Имеют один минус — существует опасность разгерметизации, так как произойдет утечка жидкого электролита. Такое устройство имеет среднюю стоимость на рынке аккумуляторов для солнечных батарей.

Литиевые аккумуляторы малогабаритные, в сравнении с другими весят мало. Имеют высокий уровень безопасности, но дороже других видов, включая гелиевые. Литий-ионные с пометкой Li-ion на корпусе. Анод в них выполнен на основе графита, нанесенного на алюминиевую фольгу, а катод с использованием кобальтина лития (LiCoO_2) на тонкой медной поверхности. Литиевые аккумуляторы характеризуются

низким уровнем саморазряда и быстрым набором энергии. К сожалению, они взрывоопасны, при неправильном использовании. Еще один минус — они дороги.

Литий-ионные батареи имеют различия и по виду (составу) добавок: LiFePO_4 — железо и фосфаты, а также оксиды LiNiCoAlO_2 — никеля, LiCoO_2 — кобальта, LiMn_2O_4 — марганца, LiNiMnCoO_2 — цинка, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ — титана.

Литий-ионные батареи на втором месте по популярности после свинцово-кислотных. Возможно, скоро они будут самыми востребованными, так как превосходят свинцовые почти по всем параметрам.

Хотя литиевые аккумуляторы в два раза дороже свинцовых, но имеют перед ними ряд преимуществ:

- в 10 раз превышают циклический ресурс;
- занимают меньше места из-за небольшого веса и габаритов;
- время заряда — 60-120 минут;
- возможность осуществлять дистанционный мониторинг;
- простые в использовании;
- напряжение и уровень заряда батареи видны на экране;
- длительный срок службы;
- не выходят из строя в разряженном состоянии;
- широкий диапазон температурного режима.

Также стоит отметить, что высокая первоначальная стоимость литиевых устройств абсолютно оправдана. Аккумуляторы имеют намного больше циклов, и если рассчитывать цену по стоимости за цикл, то они обойдутся в 2 раза дешевле свинцово-кислотных.

Никель-кадмиевые аккумуляторы появились еще в 50-е годы, несмотря на это, они и сегодня популярны и используются в разных сферах деятельности человека. Практически все устройства цилиндрической формы, из-за чего в простонародье их называют «банками». Также всем известны и плоские аккумуляторы, применяемые для часов.

Никель-кадмиевые, в которых анод изготавливается из гидрата закиси кадмия $\text{Cd}(\text{OH})_2$ или его металлического варианта Cd . Применяемый электролит состоит из смеси гидроксидов лития (LiOH) и кадмия (KOH). Катод выполнен путем соединения графитового порошка с гидратом закиси никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Обычно батареи такого типа маркируются, как NiCd . Характерным минусом служит долгое время заряда и относительно невысокая емкость АКБ, которая еще и уменьшается в процессе эксплуатации из-за сильно выраженного «эффекта памяти» никель-кадмиевых накопителей. Плюсом служит — низкая цена в соотношении с аналогами и малый нагрев при зарядке. Никель-кадмиевые аккумуляторы не подвержены быстрому нагреванию, что исключает перегрев и преждевременную поломку. Эти устройства отличаются хорошей прочностью и герметичностью. Они не боятся внутренних химических реакций и больших давлений газов. Можно эксплуатировать даже при очень низких температурах (до -40°C).

Используя это устройство, не стоит беспокоиться о самовозгорании, которым подвержены литиевые аккумуляторы. Еще одно преимущество никель-кадмиевых аккумуляторов — низкая стоимость.[3,4]

Выбор аккумулятора для солнечных батарей

В первую очередь, нужно определить, в каких целях будет использоваться устройство. Лучшая батарея для солнечной станции выбирается в первую очередь от ее объема, он должен быть достаточным для обеспечения всего требуемого количества питания.

Критерии выбора аккумуляторных устройств:

- мощность аккумулятора;
- оптимальные температурные показатели;
- габариты и вес аккумулятора в зависимости от места их расположения и эксплуатации;
- срок эксплуатации;
- большой ток разряда;
- хорошая емкость;
- саморазряд.

При выборе аккумулятора для солнечных батарей нужно учитывать мощность, емкость. Особое внимание надо уделить емкости аккумулятора, ведь именно от нее зависит работа устройства без подзарядки. Номинальную емкость производители указывают в описании к каждому аккумулятору. В реальности она может отличаться в среднем на 10-15 %.

Количеством циклов заряда-разряда и определяется срок службы устройства. Когда емкость аккумулятора выше 60 %, то он больше не может использоваться.

Не менее важный критерий при выборе аккумулятора – саморазряд, когда устройство постепенно и произвольно теряет энергию. Лучше выбирать устройство с меньшим саморазрядом. Чтобы его уменьшить, нужно контролировать температуру воздуха, где работает аккумулятор. Она не должна превышать +20° С.

Эксплуатация аккумуляторов при глубоком разряде ведет к их более частой замене и, соответственно, к удорожанию системы. Глубину разряда аккумуляторов СЭС стараются ограничить на уровне 30-40%, что достигается отключением нагрузки (или снижением мощности) либо использованием аккумуляторов большей емкости. Из-за разбалансировки устройств по уровню заряда, аккумулятор не способен функционировать в полном цикле, что быстрее выработает ресурс. Это возможно при использовании параллельного и комбинированного соединения аккумуляторов. Для управления зарядом встраивается контролер, которым всегда снабжается система получения солнечной электроэнергии. Совместная работа объединенных в единый массив аккумуляторов, может давать неравномерную зарядку и разрядку. Во избежание этого нужно применять аккумуляторы одинаковой модели. Немаловажным фактором выступает цена на представленные в продаже аккумуляторы.

К примеру, гелиевые аккумуляторы для солнечных панелей дороже, чем AGM, но в свою очередь, дешевле литий-ионных батарей. Здесь важно соблюсти баланс между желаемыми возможностями накопителя, обязательностью его обслуживания и ценой на конкретную продукцию. Еще одним из стимулов, влияющих на выбор конкретной модели, может стать ее экологическая и эксплуатационная безопасность. В некоторых случаях лучше использовать менее емкие, но более надежные литиевые аккумуляторы. Они не вызывают вопросов у экологов и других органов санитарного контроля, слабо греются и продаются дешевле прочих.

Выводы

Обобщая все выше изложенное можно сделать вывод, что основных параметров, существенно влияющих на выбор аккумулятора для солнечной электростанции всего четыре:

1. Емкость. Чем емкость больше, тем больше энергии может накопить в себе аккумулятор. У разных производителей аккумуляторов существует важное отличие в маркировке при указании емкости, касается оно номинала – рассчитанного на 10 либо 20 часов разрядки

(указано на этикетке или корпусе). Очевидно, что в первом случае абсолютная емкость выше;

2. Масса. При одинаковом проставленном номинале АКБ с большей массой (для свинцовых моделей) обладают лучшими параметрами цикличности и реальной накопительной способностью;
3. Количество циклов (для ожидаемой глубины разрядки в процентах). Выбор аккумулятора для солнечных панелей рекомендуется в пользу модели с максимальным предлагаемым числом циклов;
4. Срок службы. Здесь применимо аналогичное правило. Следовательно, при наличии достаточных средств предпочтение отдается современным литий-ионным вариантам, а при финансовых ограничениях на покупку – GEL (либо AGM с увеличенным до 10 лет периодом работоспособности).

Срок службы любого АКБ во многом зависит от правильности его применения. Аккумуляторы для солнечных батарей – незаменимый источник альтернативной энергии.

Список использованных источников

1. Кувшинов В.В., Морозова Н.В. Солнечная энергетика// Учебное пособие. – М.: Издательство «Спутник +», 2018. – 193 с.
2. Горпинченко А. В., Общая энергетика. Курс лекций // ИЯЭиП Севастополь: СевГУ, 2020. – 185 с. – Текст : электронный. С. 105-109.
3. Дасоян М. А., Новодережкин В. В., Томашевский Ф. Ф. Производство электрических аккумуляторов // Изд. 3-е, Москва “Высшая школа”, 1977. С. 381.
4. Кашкаров А. Справочник - Аккумуляторы // Москва, 2014., С. 192.

КРАТКИЙ ОБЗОР СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КРЫМА

Водзиновский Д. Ю.

Запасы солнечной энергии поступающей на поверхность Земли неисчерпаемы и по критериям экологичности ей нет равных. На территории Крыма выработка электроэнергии представлена электростанциями нескольких видов, которые используют альтернативную энергию. В статье представлен обзор Солнечных электростанций (СЭС) Крыма.

Введение

В настоящее время наиболее актуальной проблемой человечества можно считать вопрос энергетического будущего страны и мира в целом.

Решение этой проблемы лежит на поверхности: больше электростанций - больше энергии. Однако чтобы их стало больше, необходимо израсходовать больше топлива, которое мы берем из природных запасов нефти, газа, угля, которые отнюдь не бесконечны. Сейчас ученые, инженеры занимаются поисками новых источников энергии, которые не только могли бы сохранить и заменить истощаемые природные ресурсы, но и улучшить экологическую картину нашей планеты.

Энергетика имеет многочисленные отрасли в зависимости от основного энергоносителя: ядерная, угольная, газовая, гидроэнергетика и альтернативная, основанная на использовании нетрадиционных возобновляемых источников энергии. К альтернативной энергетике можно отнести ветроэнергетику, солнечную, геотермальную, биомассовую, приливно-волновую и т. д. Если сравнить все отрасли по экологическим, экономическим критериям и показателям безопасности, то можно прийти к выводу, что наиболее перспективной из них является солнечная энергетика.[1]

Солнечная энергия, поступающая на территорию России, например, за три дня превышает энергию годовой выработки. Кроме того, запасы ее неисчерпаемы и по критерию экологичности ей нет равных.

Учеными подсчитано, что небольшого процента солнечной энергии достаточно для обеспечения транспортных, промышленных и бытовых нужд как в настоящее время, так и в будущем. На энергетическом балансе Земли и состоянии биосферы это не отразится, независимо от того, будет ли энергия использована или нет.

Однако нельзя упустить из виду один значительный недостаток. Солнечные излучения, падая на земную поверхность, не имеют определенного места концентрации, поэтому ее необходимо уловить и превратить в форму энергии, которую было бы возможно использовать для нужд человека. Кроме того, чтобы поддержать энергоснабжение в ночное время суток и пасмурные дни, нужно каким-то образом солнечную энергию запасти. В настоящее время эта проблема легко решается – главное правильно использовать данный ресурс, чтобы свести ее стоимость к минимуму. Тем более, учитывая каждодневное совершенствование технологий и удорожание, а главное, истощаемость традиционных ресурсов, солнечная энергия все больше и больше будет находить новые области применения.[2]

Цель работы

Целью данной работы является представление краткого обзора Солнечных электростанций расположенных на территории Крымского полуострова и перспектив их использования.

Солнечные электростанции Крыма

Солнце - это экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии очень большой мощности, по данным различных информационных источников, энергия, приходящая на Землю за 22 дня солнечного сияния, по суммарной мощности равна всем запасам органического топлива на Земле. Объемы суммарного солнечного излучения в Крыму намного превышают объемы реального потребления топлива.

На Крымском полуострове в 2010—2012 годах были построены четыре солнечные электростанции (СЭС): «Родниковое», «Охотниково», «Перово», «Митяево», общей мощностью 227,3 МВт.

Ранее построенная СЭС «Николаевка» была введена в эксплуатацию только в 2015 году. Ввод в эксплуатацию СЭС «Владиславовка» был отложен из-за необходимости выдачи новых технических условий (ТУ).

До апреля 2014 года альтернативная энергетика Крыма субсидировалась за счёт «зелёного тарифа», когда электроэнергия у производителя покупалась на порядок дороже, чем за неё платил потребитель. После отказа руководства Крыма от завышенных тарифов солнечные станции были остановлены до августа — когда производители электроэнергии согласились снизить цену с 14,5 до 3,42 рублей за кВт·ч. При этом тариф для населения составлял от 0,95 до 3,26 рублей, для предприятий — от 3,3 до 4,22 рублей за кВт·ч.

В сентябре 2014 года общая фактическая мощность солнечных электростанций составляла 160—180 МВт, при установленной мощности СЭС 227,3 МВт.

п / п	Название СЭС	Ввод в работу	Эл.мощ, МВт	кол - во фотоэл. модулей	площадь СЭС, га.	Сокращение выбросов CO ₂ , т/год	Производство эл. энергии в год, млн. кВт·ч
1	«Родниковое»	2011	7,5	32600	15	7842	9,683
2	«Охотниково»	2011	82,65	356000	160	80000	100
3	«Перово»	2011	105,56	440000	200	105000	132,5
4	«Митяево»	2012	31,55	134760	59	29500	40
5	«Николаевка»	2015	69,7	290048	116	72000	84,2
6	«Владиславовка»	замена ТУ	110	нет данных	220	-	-
7	«Севастополь»	неокончена	2,6	нет данных	-	-	-

Таблица 1. Данные по СЭС Крыма

Строительство еще двух СЭС «Хлебное» 115 МВт и СЭС «Островская» 45 МВт было прекращено на начальной стадии.

Развитие СЭС

Солнечные электростанции в Крыму служат источником энергии не только для индивидуального потребления, их используют также для общественных и государственных нужд: уличное освещение, работа светофоров.

Наиболее перспективными направлениями применения солнечных батарей на Крымском полуострове являются:

- водоснабжение сезонных объектов – лагеря, жилые и общественные здания, отели и гостиницы;
- отопление малоэтажных жилых домов и промышленных сооружений сел и деревень преимущественно в южной части Крыма;
- применение энергии солнца для сельского хозяйства – растениеводство (теплицы) и животноводство.[3.4]

Возможно использование электроэнергии от солнечных батарей для различных отраслей промышленности. Для Крымского полуострова такой альтернативный способ получения энергии экономит топливо на отопительных котельных и повысит выработку электроэнергии в регионе.

Эффективность работы солнечной батареи и финансовая выгода ее установки зависит от региона. Несмотря на то, что Крымский полуостров – южный регион, солнце освещает его неравномерно (Табл. 2). Продолжительность солнечного сияния в год определяет не только целесообразность установки батареи, но позволяет рассчитать результативность ее использования.

Наименование	Продолжительность свечения, ч/год	Количество солнечных дней в год	Эффективность установки батареи с альтернативным источником энергии (солнца)
Армянск	2 300-2 350	215-240	средняя
Краснопереконск	2 350-2 400	220-270	высокая
Раздольное	>2 400	230-290	очень высокая
Первомайское	2 250-2 300	150-210	умеренная
Джанкой	2 250-2 300	150-210	умеренная
Черноморское	>2 400	230-290	очень высокая
Красногвардейское	2 250-2 300	150-210	умеренная
Нижнегорский	2 250-2 300	150-210	умеренная
Советский	2 250-2 300	150-210	умеренная
Евпатория	>2 400	230-290	очень высокая
Саки	>2 400	230-290	очень высокая
Керчь	2 300-2 350	215-240	средняя
Ленино	2 250-2 300	150-210	умеренная
Кировское	2 250-2 300	150-210	умеренная
Белогорск	2 250-2 300	150-210	умеренная
Симферополь	2 250-2 300	150-210	умеренная
Феодосия	2 300-2 350	215-240	средняя
Судак	2 300-2 350	215-240	средняя
Бахчисарай	2 250-2 300	150-210	умеренная
Куйбышево	<2 250	140-190	низкая
Алушта	2 300-2 350	215-240	средняя
Севастополь	2 300-2 350	215-240	средняя
Ялта	2 250-2 300	150-210	умеренная

Таблица 2. Инсоляция по районам Крыма

Наибольшее количество ясных дней в Крыму в году приходится на омываемые Черным морем территории. Продолжительность свечения оказывает непосредственное влияние на эффективность применения солнечных батарей в регионах. Меньший срок окупаемости у альтернативного источника энергии будет в таких районах Крымского полуострова, как Раздольное, Черноморское, Евпатория, Саки, Красноперекопск. Выгоду принесет монтаж солнечных батарей в отелях и гостиницах курортных территорий Крымского полуострова: Армянска, Керчи, Феодосии, Судака, Алушты и Севастополя.[5]

В остальных районах Крыма, несмотря на менее высокую активность солнца, устанавливать системы альтернативного получения электроэнергии и тепла можно, однако необходимо учитывать, что срок окупаемости будет выше. Для повышения эффективности учитывается угол падения лучей при монтаже солнечной батареи (оптимально 90°) на Крымском полуострове, материал, из которого она изготовлена (самый высокий КПД у монокристаллов) и т.д.

Выводы

Крым обладает уникальной возможностью использования солнечной энергии. Более 270-ти дней в году солнечные. Солнечная и ветряная энергетика обеспечивают 5% потребности Крымского региона в электричестве. Средний по РФ показатель равен всего 1%. Однако использование энергии солнца до сих пор встречается очень редко. Главное достоинство установок СЭС в Крыму — они экологически чисты в работе, не оставляют после себя никаких шлаков, их «горючее» не иссякает. При правильном инженерном подходе к вопросу проектирования, установки и эксплуатации СЭС, а так же соответствующих капиталовложениях, можно рассчитывать на нормальную интеграцию СЭС в энергосистему Крыма.

Список использованных источников

1. Кувшинов В.В., Морозова Н.В. Солнечная энергетика// Учебное пособие. — М.: Издательство «Спутник +», 2018. — 193 с.
2. Горпинченко А. В., Общая энергетика. Курс лекций // ИЯЭиП Севастополь: СевГУ, 2020. — 185 с. — Текст : электронный.
3. Андреев С.В. Солнечные электростанции.// Москва, «Наука», 2002. 340 с..
4. Дьяков А.Ф. Малая энергетика России: проблемы и перспективы.// М.: «Энергопрогресс: энергетика», 2003. 128 с.
5. <https://www.kommersant.ru/doc/4048155>

ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Симонов И.В.

С каждым днем потребность в быстром передвижении людей и товаров возрастает, вместе с этим происходит развитие железнодорожного транспорта. При этом возникает задача по уменьшению затрат на эксплуатацию железнодорожного сообщения. Решение данной задачи возможно с использованием возобновляемой энергетики.

Введение

По плану развитие РЖД до 2030 года предполагает увеличение не только объемов грузоперевозок, но и создание новых железнодорожных линий [1]. В связи с этим необходимо использовать альтернативные источники электроэнергии, которые могли бы уменьшить затраты. На сегодняшний день железнодорожный транспорт имеет скорость передвижения около 100-200 км/ч. В России на данный момент нет большого количества скоростных пассажирских поездов (в России: маршрутная скорость не более 91 км/ч, максимальная скорость до 200 км/ч)⁷.

Постановка проблемы

На поддержание нормальной работоспособности железнодорожных составов, а так же железнодорожных путей и технических помещений расходуется большое количество электроэнергии. Поэтому мировыми компаниями в том числе и ОАО «РЖД» ведутся поиски альтернативных источников энергии.

Практические задачи

Необходимо определить какие перспективные источники энергии есть в железнодорожной сфере. А так же рассмотреть варианты преобразования этой энергии для обеспечения локальных потребителей, а так же для обеспечения энергией железнодорожных составов.

Виды энергий и способы их преобразования

Способы получения энергии доступные на железнодорожной станции, железнодорожных путях:

- Энергия воздушных потоков от проходящих поездов. Возможные способы преобразования данной энергии- это установка ветроустановок, Т-box.
- Энергия солнца. Данную энергию можно преобразовывать с помощью солнечных панелей, солнечных коллекторов
- Энергия колебания земли (от движения поездов). Для преобразования данной энергии применяют механический выпрямитель движения.

- Использование тепловых насосов (для обеспечения теплом различные помещения) .

- Рекуперация энергии железнодорожными составами.

Рассмотрим каждый из источников энергии:

Солнечную энергию можно преобразовывать с помощью солнечных панелей (для получения электроэнергии) или используя солнечные коллекторы (горячая вода может быть использована для обогрева помещений) [2]. Однако это не эффективно на всей территории РФ.

Если вблизи какого-либо здания есть источники стабильной тепловой энергии (озеро, грунт), то будет эффективно применить тепловые насосы. При их использовании нет необходимости в постоянном обслуживании. Тепловые насосы имеют эффективность около 4.9- это означает, что на каждый 1кВт потребляемой электроэнергии потребитель получит 4.9 кВт тепловой энергии. Это позволит значительно снизить затраты на обогрев помещения в зимний период. [3]. К минусам можно отнести необходимость источника низкотемпературного тепла, а также высокая стоимость.

При проезде поезда по железнодорожным путям большое количество энергии в виде вибраций переходит в колебательную энергию. С помощью механического выпрямителя движения можно преобразовывать нерегулярные колебания железнодорожных путей во вращение генератора [4]. Такой способ получения электроэнергии имеет ряд технических сложностей, связанных с обслуживанием, а также довольно высокую стоимость.

Рекуперация энергии подразумевает переделывание уже существующих составов, что несет большие денежные затраты. Так же существует экспериментальный проект на отрезке ОЖД в Ленобласти организаторами которого являются ООО «РУСЭНЕРГОСБЫТ», АО «РОСНАНО» и ОАО «Российские железные дороги».

Поток воздуха перед поездом имеет высокую энергию, так же при движении состава создается знакопеременный воздушный поток. Обобщенная схема представлена на рисунок 1. Эти ветровые потоки можно использовать для получения электроэнергии, для обеспечения локальных потребителей. Мощности ветровых потоков будут возрастать с увеличением скорости поездов. Данная энергия не зависит от внешних факторов, таких как ночное время суток, снег и так далее. Поэтому энергию ветровых потоков необходимо рассмотреть подробнее.

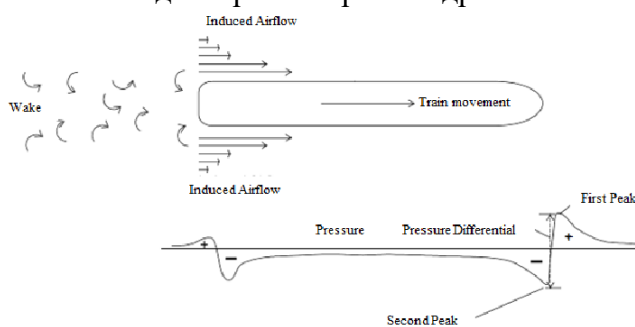


Рис.1. схема колебаний давления ветровых потоков.

Использование энергии ветра от проходящих поездов

В ходе масштабного проекта EU TRANSAERO были проведены многочисленные исследования связанные с аэродинамикой высокоскоростных поездов (скорость 250 км/ч) . Были получены экспериментальные данные и построены графики изменения давления воздуха от поездов ETR 500 [5]. Ниже приведен рисунок 2, наглядно

показывающий изменение давления. График построен с учетом высоты над шпалами 0.44 м и прохождении двух поездов ETR 500.

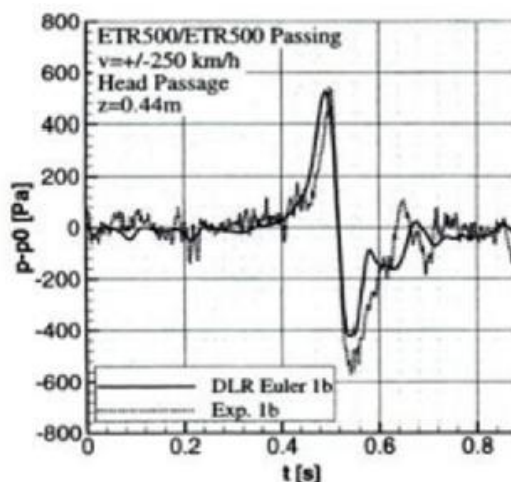


Рис.2. Изменение давления при движении поезда.

Были проведены большое количество экспериментов с двумя пассажирскими поездами ETR 500 и одним ETR 500 и грузовым поездом. На основе полученных данных с датчиков давления установленных на высоте окна неподвижного поезда ETR 500, видно что на протяжении около 7 секунд наблюдаются сильные колебания давления, амплитуда которых порой превышает 500 Па. Необходимо заметить что максимальное давление возрастает со скоростью поезда, но уменьшается время колебательного процесса [5].

Так же наблюдается остаточные след поезда рисунок 3. Из имеющийся литературы ясно, что точная природа данного следа поезда варьируется в зависимости от транспортного средства, но, по-видимому, существует относительно небольшое количество механизмов потока, которые могут существовать в той или иной комбинации - разделения слоя сдвига, продольные спиральные потоки, вихревые потоки и разделительная полость. По результатам расчетов выяснили, что вихревые потоки наиболее сильные вблизи земли.

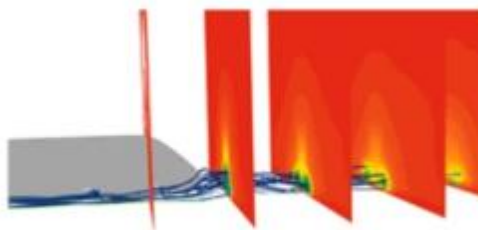


Figure 17 Helical vortices in the wake of trains [1], [8], [17]

Рис.3. Остаточный след поезда.

Движение поездов в тоннелях

Однако при движении поездов на открытом воздухе трудно сконцентрировать ветровые потоки на какой-либо ветроустановки. Однако сила ветровых потоков усиливается при въезде поезда в тоннель, а также в тоннеле легче контролировать ветровые потоки. При резком переходе с открытого воздуха генерируются волны давления, которые распространяются в тоннеле. Так из рисунка давления ветра (рисунок 4) видно, что при движении в двойном тоннеле двух поездов ETR 500 одновременно со скоростью 280 км/ч в различных участках тоннеля создается разное

давление. В середине одного поезда были установлены датчики с трех сторон вагона (по бокам и на крыше), важно отметить, что в тоннеле давление изменяется практически одинаково со всех боковых сторон поездов и доходит до -3кПа. (шкала времени показывает время нахождения в тоннеле)

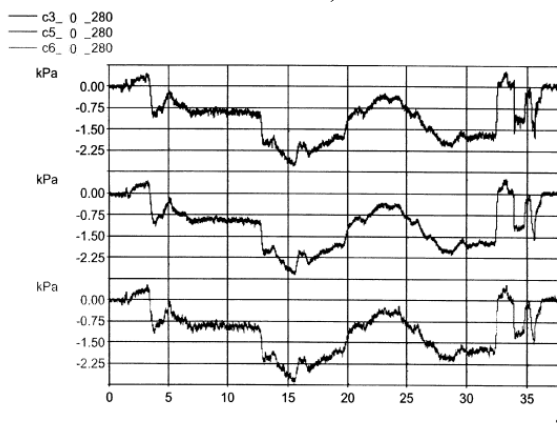


Figure 21 Two Etr 500 passing in tunnel at 280 km/h: pressures on middle car

Рис.4. Изменение давления при движении поезда в тоннеле.

Первичные расчеты показывают наличие высокой энергии от проходящего поезда в тоннеле даже при скорости 70 км/ч. Однако из-за быстро меняющегося направления ветра установка стандартных ветроустановок бессмысленна. Тем не менее возможно использование турбины Уэльса, которая применяется в осциллирующих водяных колоннах. Турбина Уэльса из-за своей конструкции накапливает энергию за счет эффекта маховика, что в свою очередь поможет сгладить колебания ветрового потока [6]. В зависимости от площади ометаемой поверхности, скорости движения железнодорожного состава и его длины мощность, которую можно получить определяется по формуле (1). Так при средней длине грузовых поездов 2080 м, скорости движения 11.1 м/с и радиусе ветроустановки 1.8 м, получаемая энергия будет равна 0.5 кВт*ч. При скорости 20 м/с получаемая энергия будет равна 1.5 кВт*ч.

$$P = \frac{\rho * S_0 * v^3}{2} \quad (1)$$

Заключение

Описанные источники энергии подходят для обеспечения энергией железнодорожные переезды, частичное обеспечение энергией систем управления железнодорожных тоннелей. С увеличением скорости движения железнодорожных составов уменьшается время воздействия на ветроустановку. Тем не менее наблюдается увеличение получаемой энергии.

Список использованных источников

1. Энергетическая стратегия РЖД на период до 2015 г и на перспективу до 2030 г. // Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» -№2718р - 2011г.
2. Азарова, Т. Б. Отопление с использованием солнечных коллекторов в городе Оренбурге / Т. Б. Азарова, К. П. Гусева, Т. С. Жилина. // Молодой ученый. — 2017. — № 8 (142). — С. 40-43.
3. Лунева С.К., Эффективность применения тепловых насосов / С.К. Лунева // технико-технологические проблемы сервиса - 2015г. - №2(32).- с 49-54.

4. Lin, John Wang, and Lei Zuo, Energy Harvesting from Rail Track for Transportation Safety and Monitoring Teng / T. Lin, J. Wang and L. Zuo // Final Report - 2014.
5. TRANSAEROA European Initiative on Transient Aerodynamics for Railway System Optimisation // a symposium in Paris., 2002.
6. Ying Cui, Beom-Soo Hyun, Numerical study on Wells turbine with penetrating blade tip treatments for wave energy conversion / Ying Cui, Beom-Soo Hyun // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering – volume №8 - pages 456-465. 2016.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЫТА И ТЕХНОЛОГИЙ ОФШОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

И.А. Кочетов, В.В. Чебоксаров

На сегодняшний день возобновляемая энергетика весьма разнообразна и охватывает технологии, основанные на совершенно разных физических процессах при использовании солнечного света, приливов и отливов, ветра, геотермальной теплоты, водных потоков, а также энергии волн. В волновой энергетике наблюдается очень большое разнообразие технологий, поэтому предложена новая конструкция на основании разработок оффшорной ветроэнергетики, также произведена выборка электрической части станции с дальнейшим применением для выработки электроэнергии.

Введение

В настоящее время общеизвестно, что выработка электроэнергии в глубоководных районах всегда была очень сложной задачей. Океаны покрывают две трети поверхности земли, и в их движении содержится большое количество энергии. Этот огромный источник возобновляемой энергии обладает потенциалом удовлетворения важной части спроса на экологически чистую электроэнергию для человечества. Начиная с 1970-х годов, после нефтяного кризиса, исследования в области возобновляемых источников энергии получили все большую поддержку, и это также повлияло на исследования в области волновой энергии. На сегодняшний день было изобретено, разработано и испытано в небольших и крупномасштабных экспериментах множество типов волновых преобразователей энергии. Когда производство электроэнергии зависит и изменяется синхронно с движением волны, тогда амплитуда и частота преобразованного электричества, естественно, будут резко меняться в течение каждого периода волны. Это электричество несовместимо с электрической сетью, так как электричество, подаваемое в сеть, должно иметь напряжение постоянной амплитуды и частоты. Следовательно, некоторые стратегии электрического управления и хранения в рамках преобразования энергии играют значительную роль в волновых энергетических системах. Морская энергетика реализуется в морских районах с большой скоростью течения на мелководье, где номинальный расход составляет $1,5 \text{ м/с} \sim 2 \text{ м/с}$. Основные виды технологии в основном такие же, как и у наземных ветрогенераторов, включая асинхронный генератор двойного питания (DFIG) и генераторы энергии с прямым приводом на постоянных магнитах.

Изменение климата и увеличение расходов на получение энергии является серьезной проблемой для специалистов, политиков и общественности. Эмиссия CO_2 , обусловленная работой промышленных предприятий, транспорта и производством энергии, влечет за собой повышение глобальной температуры и связанные с ней последствия, в том числе оттаивание ледяных полярных шапок или расширение площадей, занимаемых пустынями. Эти процессы сопровождаются увеличением расходов на мазут, бензин и пищевые продукты при одновременном уменьшении запасов нефти и природного газа. Развитие и эффективное использование регенеративной и экологичной энергии является возможным выходом из сложившейся

ситуации, например, используя при этом волновую энергетику вместо ветровой. Плотность ветровой энергии значительно меньше, чем у волновой. Поэтому волновые энергоустановки будут компактнее.

Так как большая часть поверхности Земли покрыта водой и многие страны располагают широкими прибрежными ландшафтами, то использование энергии волн относится к экологичному обеспечению энергией. Внедренные при этом технологии отличаются универсальным применением и могут быть реализованы в почти всех странах мира, имеющих доступ к морю. Кроме того, в период экономического кризиса эффективное использование возобновляемой энергии создает дополнительные рабочие места в научных учреждениях и на производстве.

Суммарная мощность волн Мирового Океана оценивается в 10 ТВт, что является достаточным для увеличения вдвое производства электроэнергии в мире. Поэтому преобразование энергии морских волн – довольно перспективное направление альтернативной электроэнергетики. При преобразовании энергии волн эффективность выработки электроэнергии может значительно превышать прочие альтернативные преобразования, такие как генерация на ветряных и солнечных электростанциях, достигая коэффициента полезного использования приблизительно 85%.

Цель работы

Целью данной работы является анализ перспективных решений по созданию эффективных энергоустановок, работающих только на возобновляемых источниках энергии, используя при этом энергию волн прибрежных ландшафтов. В частности, ставится задача разработки электрической части для плавучих резонансных волновых электростанций нового типа.

Резонансные волновые энергоустановки

Существует два принципиально разных подхода к генерации, используется:

- энергия движения волн;
- энергия поверхностного качения.

В первом случае волны, направляющиеся в коллектор, вращают турбины, а те в свою очередь – генератор. Существует и другой способ: волна движется через открытую емкость, вытесняя воздух и вынуждая работать двигатель. Во втором – электроэнергия получается благодаря преобразователям - поплавкам, которые следуют за направлением волны и, таким образом, находятся на плоскости воды. Сейчас применяются установки по преобразованию энергии волн в морях и океанах, общая мощность которых составляет более 100 млрд. кВт.

Существует три метода получения энергии из волновой, но рассмотрим принцип «колеблющегося тела» - энергия вырабатывается за счет движения рабочего элемента от волнения воды. На таких электростанциях устанавливаются полупогружные генераторы, на которых отдельный буй поднимается и опускается, а также он может раскачиваться из стороны в сторону, все зависит от направления, в котором движутся волны. Также возможна установка ряда подвижных элементов, которые двигаются относительно друг друга. Система цилиндров и поршней создают давление масла, которое и вращает лопасти турбин. Турбины же соединены с генератором. Существует множество различных преобразователей, например, для организации резонансной маятниковой колебательной системы предлагается использовать традиционный, вертикально подвешенный маятник.

Маятниковые схемы уже применяются в преобразователях волновой энергии. Для работы в резонансном режиме, т.е. при совпадении его собственной частоты с

максимумом спектральной плотности волнения, маятник оказывается относительно крупногабаритным, его изготовление и эксплуатация не представляет больших технических сложностей, так как диапазон приведенной длины физического маятника составляет от 15 до 40 м. Существует важная проблема, которая заключается в обеспечении остойчивости плавучего преобразователя. Остойчивость легче обеспечить при организации отбора мощности с маятника в его нижней точке, но резко ухудшается при организации отбора мощности по оси качания крупногабаритного маятника.

Аналоги схем маятниковых преобразователей не смогли решить данную проблему с остойчивостью. Поэтому предложен вариант по патенту[4], где установлена индукционная связь нижней части маятника с катушками на основании. В данном варианте возможны существенные потери из-за воздушного зазора, но зазор необходим из-за больших габаритов нежесткого маятника. Предлагаемое устройство отбора мощности маятника полностью расположено в нижней части преобразователя, на плавучем основании. Устройство выполнено в виде механизма с зубчатыми передачами, находящегося в зацеплении с зубьями на маятнике (Рис.1)[5].

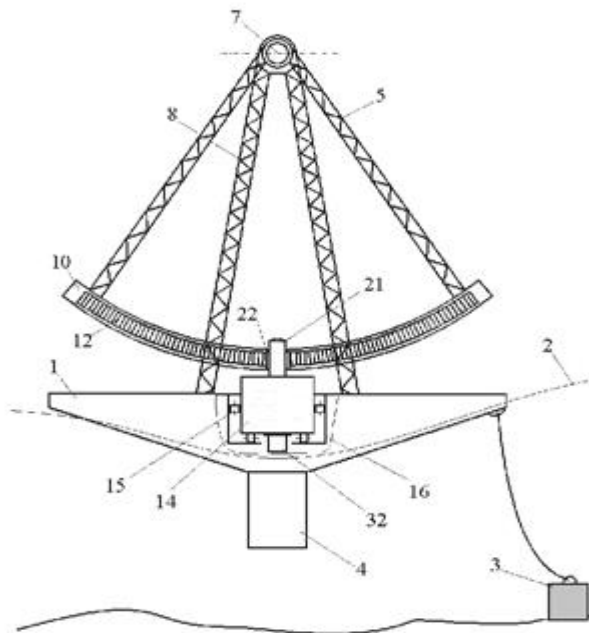


Рис. 1. Схема преобразователя энергии волн с крупногабаритным секторным маятником

Дадим оценку ожидаемой единичной мощности резонансной волновой энергоустановки. Среднегодовая удельная (на единицу длины фронта волны) мощность волнения для большинства районов шельфа находится в пределах 10...70 кВт/м. Исходя из того, что в штилевых условиях энергоустановка работать не будет, соответствующую часть времени года из расчета следует удалить. Поэтому номинальный режим волновой энергоустановки и, следовательно, ее конструктивные параметры целесообразно выбрать соответствующими несколько большим значениям удельной мощности волнения, например, находящимся в диапазоне 70...80 кВт/м. Определим характеристики волнения, обладающего такой мощностью. Прежде всего условно заменим нерегулярное волнение эквивалентной регулярной волной с частотой максимума спектра нерегулярного. Тогда для определения энергетических параметров можно воспользоваться линейной теорией волн, согласно которому плотность энергии $\bar{E}$ регулярной волны в Дж/м² определяется по следующей формуле:

$$\bar{E} = \frac{\rho g h^2}{8}, \quad (1)$$

где h – высота волны, м,

ρ – плотность морской воды, кг/м³,
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Отсюда оценка удельной мощности волны в Вт/м:

$$\bar{P} = \bar{E} \cdot v_g = \frac{\rho g h^2}{8} v_g, \quad (2)$$

где v_g – групповая скорость волны (скорость переноса энергии), м/с.

Для глубокой воды ($d \gg L$), $v_g = c/2 = L/2T$, где d – глубина в месте базирования установки, м; c – фазовая скорость волны, м/с; L – ее длина, м. Для мелкой воды ($d < L$)

в пределе $v_g = c = L/T$. Здесь фазовая скорость $c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$. Причём, длина волны L определяется:

$$L = \frac{2\pi g}{\omega_m} \operatorname{th}\left(\frac{2\pi d}{L}\right). \quad (3)$$

Рассмотрим условия волнения в 5 баллов: высота волны с обеспеченностью (вероятностью превышения) – 3%. $h_{3\%} = 3,5$ м; средний период волн $\bar{T} = 6$ с.; угловая частота максимума спектра (для спектра Пирсона-Московица) $\omega_m = 0.75$ с⁻¹. Тогда, например, при глубине акватории $d = 15$ м из соотношения (3) получаем длину волны $L = 70$ м.

Далее допустив что $h = h_{3\%}$, из (2) рассчитываем оценку удельной мощности волны $\bar{P} = 78$ кВт/м, что характерно для северо-восточной Атлантики и попадает в вышеуказанный диапазон среднегодовой удельной мощности волнения. При номинальной длине волны $L = 70$ м целесообразно изготовить плавучую платформу волнового преобразователя с размерами в плане ($A \times B$) 30×15 м.

Механическую мощность резонансного преобразователя энергии волн посчитаем по формуле (4):

$$N = \bar{P} B \eta, \quad (4)$$

где η – коэффициент использования энергии волн, который должен быть определен экспериментально. Предварительно при достаточно высоких значениях добротности для плавучей платформы и маятникового резонатора примем $\eta = 0,6$, тогда номинальная механическая мощность резонансного преобразователя энергии волн $N = 700$ кВт.

Разработка электрической части для нового варианта преобразователя

Данную конструкцию можно выполнить в основном так же, как и у наземных ветрогенераторов, включая асинхронный генератор с фазным ротором (DFIG) и генераторы энергии с прямым приводом на постоянных магнитах. Также необходимо проложить определенные кабельные линии для выработки электроэнергии.

Выбор правильного типа кабелей заключается в эффективной передаче электрической энергии с минимальными потерями. Кабели могут работать при помощи технологий одножильных высоковольтных линий электропередач постоянного тока (HVDC) или одно-трехжильных высоковольтных линий электропередач переменного тока (HVAC) в зависимости от нескольких балансирующих факторов, в частности расстояния от берега до берега, общей генерируемой мощности станции, материальных и эксплуатационных затрат (Рис. 2).

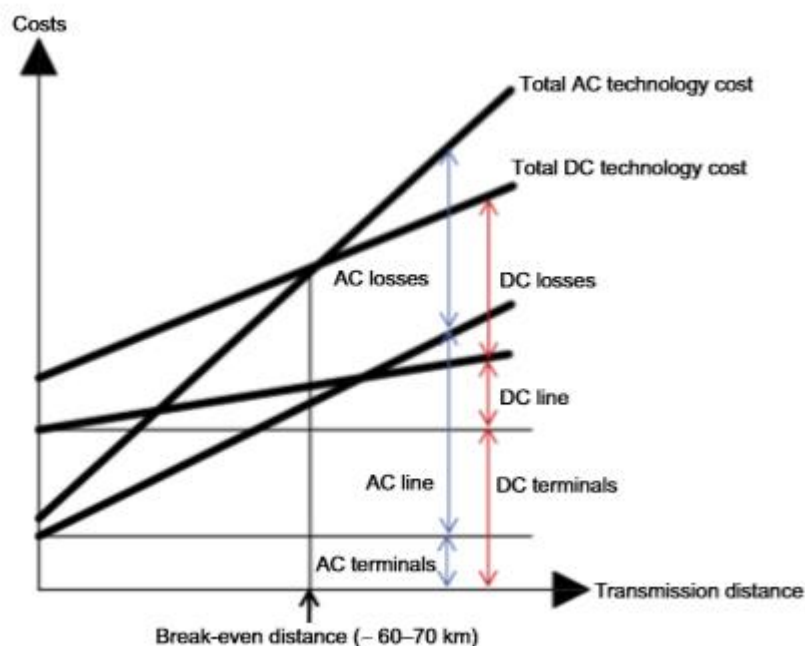


Рис.2. Сравнение стоимостей подводных линий электропередач постоянного тока и переменного тока высокого напряжения в зависимости от расстояния от берега.

Технология HVDC уменьшает количество кабелей, а также позволяет лучше справляться с возникновением сильных порывов ветра. Предположение о конструкции кабеля представляет собой пару одножильных кабелей HVDC (обычно изолированных из сшитого полиэтилена и с медным проводником) для каждой платформы преобразователя с высоким положительным и отрицательным напряжением относительно потенциала земляного провода. Два кабеля каждой цепи HVDC и связанные с ними волоконно-оптические кабели. Кабели могут быть объединены в один блок и помещены в одной подводной траншее до тех пор, пока они не приблизятся к месту выхода на сушу. Кроме того, они могут быть установлены отдельно, в зависимости от стратегии укладки кабеля и местных условий морского дна. Отмечается, что стоимость монтажа на километр одного пучка значительно ниже, чем у отдельных кабелей. Выбор генератора DFIG обосновывается тем, что электрические асинхронные генераторы с фазным ротором похожи на электрические генераторы переменного тока, но имеют дополнительные функции, которые позволяют им работать со скоростями, немного превышающими или ниже их естественной синхронной скорости. Один из подходов к разрешению изменения скорости турбины заключается в том, чтобы принимать любую частоту, производимую генератором, преобразовывать ее в постоянный ток, а затем преобразовывать ее в переменный ток на требуемой выходной частоте с помощью инвертора.

Таким образом, индукционная машина с двукратным асинхронным генератором представляет собой электрическую машину с двойным питанием намотанного ротора и имеет ряд преимуществ перед обычной индукционной машиной в области ветроэнергетики. Во-первых, поскольку схема ротора управляется силовым электронным преобразователем, асинхронный генератор способен как импортировать, так и экспортировать реактивную мощность. Это имеет важные последствия для стабильности энергосистемы и позволяет машине поддерживать сеть во время сильных возмущений напряжения (низковольтная проводка; LVRT). Во-вторых, управление напряжениями и токами Ротора позволяет асинхронной машине оставаться синхронизированной с сетью, в то время как скорость турбины изменяется. Турбина с

переменной скоростью использует имеющийся водный ресурс более эффективно, чем турбина с фиксированной скоростью, особенно в условиях слабых возмущений. В-третьих, стоимость преобразователя низка по сравнению с другими решениями с переменной скоростью, поскольку только часть механической мощности, обычно 25-30%, подается в сеть через преобразователь, а остальная часть подается в сеть непосредственно от статора. Эффективность DFIG очень хороша по той же причине (Рис. 3).

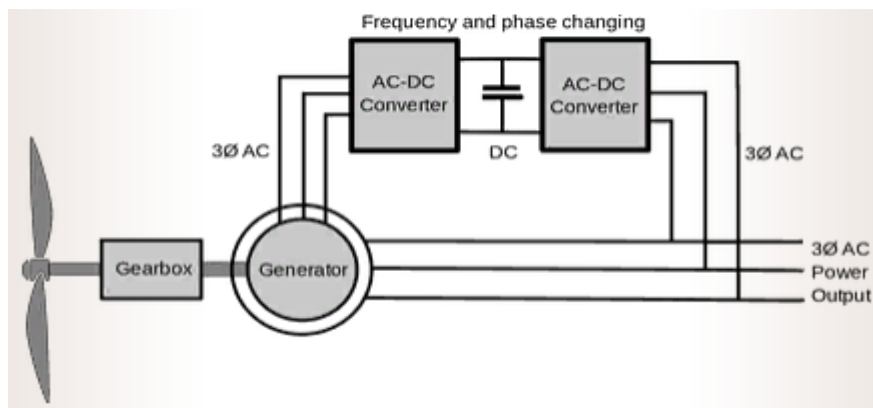


Рис.3. Генератор с двойным питанием для ветряной турбины.

Выводы

Данная станция в штилевых условиях работать не будет, что обуславливается сезонными метеорологическими условиями. Поэтому номинальный режим волновой энергоустановки и, следовательно, ее конструктивные параметры целесообразно выбрать соответствующими несколько большим значениям удельной мощности волнения. Также для платформы площадью 30×15 метров подобрана номинальная механическая мощность резонансного преобразователя энергии волн, которая должна быть приблизительно 700 кВт. При применении данного электрического оборудования возможна выработка электроэнергии преобразователем волновой энергии при помощи секторного маятника.

Список использованных источников

1. Макаров А. А. Энергия и энергетика будущего // Материалы Российского энергетического форума. М., 2005.
2. Гентова А.А., Каменских И. В. Обзор вариантов преобразователей энергии морских волн // Современные наукоемкие технологии, 2013. № 8-1. С. 115-116.
3. Panicker N.N. Power Resource Potential of Ocean Surface Waves / N.N. Panicker // Proc. Wave and Salinity Gradient Workshop. - Newark, Delaware, USA, 1976. - P. J1-J48.
4. Hobdy M., Wave energy converter, US Patent No. 8026620, 2011.
5. Чебоксаров В.В. Сравнительный анализ эффективности двух схем маятниковых преобразователей энергии волн / В.В. Чебоксаров // Энергетические установки и технологии. - 2016.- Т. 2, № 1. - С. 68-75.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКОПЛАВКИХ И ТУГОПЛАВКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.И. Черкашина, В.А. Разина, Д.В. Тарасевич

Дан сравнительный анализ влияния различных концентраций нанопорошков соединений легкоплавких и тугоплавких металлов на радиационно-защитные свойства композита. Выбраны наиболее оптимальный модификаторы композитного материала, улучшающий радиационно-защитные свойства из каждой категории, представлен экономический расчет стоимости изготовления наилучшего образца. Рассчитаны зависимость кратности ослабления от процентной концентрации добавки модифицированных порошков тугоплавких и легкоплавких металлов с привязкой к стоимости.

Введение

Снижение дозовых нагрузок на человека на предприятиях атомной отрасли, работающих в зоне действия источников излучения или радиоактивного загрязнения является актуальной задачей. В конструкционных материалах, защитной одежде, в рабочих экранах и элементах оборудования могут использоваться различные модификаторы и наполнители для увеличения радиационной защиты. Модифицировать можно любой материал: бетон, резина, пластик или каучук, стекло или керамика [1–3].

На выбор материала матрицы и модификатора будут влиять не только его радиационно-защитные, но и физико-химические свойства, а также его стоимость, в зависимости от его назначения.

Постановка цели

Цель работы – выбор композитного материала на основе нанопорошков легкоплавких и тугоплавких соединений металлов с оптимальными радиационно-защитными свойствами и стоимостью.

Постановка задачи

Для достижения поставленной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

- исследование влияния различных концентраций нанопорошков тугоплавких и легкоплавких металлов на радиационно-защитные свойства;
- рассчитывалась экономическая целесообразность использования наиболее эффективного композита.

Методика эксперимента

Измерения радиационной устойчивости проводились на дозиметр-радиометре КРВП-3Б регистрирующий скорость счета (имп/с) и МКС–05М (доза). Суть эксперимента заключалась в регистрации мощности дозы в геометрии «без защиты» на расстоянии (от 1 до 10 см) от источника гама- и бета- излучения и регистрации мощности дозы «за защитой» на расстоянии 10 см от источника.

Кратность ослабления оценивалась как отношение мощности экспозиционной дозы на поверхности защиты (испытуемого образца) к мощности экспозиционной дозы после защиты [4].

Истинная скорость счета и итоговая скорость счета от препарата определялась по формулам 1 и 2 и измерялась на приборе КРК-1:

$$n_0 = n_{\text{изм}} * P(\tau_p) - n_{\text{ф}} \quad (1)$$

где $n_{изм}$ – скорость счета от препарата без вычета фона, имп/мин;
 $n_{ф}$ – скорость счета фона, имп/мин;
 $P(t_p)$ – поправка на разрешающее время.

$$n_{итог} = n_0 * e^{-0.693 * \frac{d_{полг}}{\Delta\beta}} \quad (2)$$

где n_0 – истинная скорость счета от препарата, имп/мин;
 $d_{полг}$ – толщина слоя поглотителя, см;
 $\Delta\beta$ – слой половинного ослабления излучения в веществе, мг/см³.
 Относительная квадратичная ошибка:

$$\Delta = \frac{\sqrt{N}}{N}, \%$$

$$\Delta = \frac{\sqrt{1235,3}}{1234,2} = 1,02, \%$$
(3)

Значение относительной квадратической погрешности для используемых радиометров находится в допустимых пределах.

В данной работе предложен защитный композитный материал на основе поливинилацетатного клея ГОСТ 30535-97 [5], в качестве наполнителя композиционного материала радиационной защиты, использовали нанопорошки металлов вольфрама, титана, алюминия, железа, меди. Для получения экспериментальных данных исследованы композитные материалы с различным содержанием наполнителя (масс. %): 1 – 10 %; 2 – 15 %; 3 – 20 %; 4 – 25 %; 5 – 30 %.

Нанопорошок карбида вольфрама показал наименьшую радиационно-защитную способность по сравнению с другими тугоплавкими образцами [6], нанопорошки оксида меди и железа показали наименьшую радиационно-защитную способность по сравнению с другими легкоплавкими образцами [7].

По результатам исследования радиационно-защитных свойств композитных материалов, модифицированных порошками легкоплавких (оксид алюминия, железа и меди) [7] и тугоплавких (модификаторы нанопорошки оксид титана TiO₂, отожженные образцы, карбид титана и вольфрама) [6] металлов лучшие радиационно-защитные свойства, показали: из порошков легкоплавких металлов – композит с добавлением оксида алюминия 15 % и 20 %; из порошков тугоплавких металлов – композит с добавлением оксида и карбида титана 15 – 30 % отожженного.

Кратность ослабления была получена путем расчета соотношения мощности дозы от препарата без слоя защитного материала к измеренной мощности дозы с защитным материалом.

Зависимость кратности ослабления от процентной концентрации добавки модифицированных порошков тугоплавких и легкоплавких металлов с привязкой к стоимости указана в таблице.

Таблица. Зависимость кратности ослабления от процентной концентрации добавки модифицированных порошков тугоплавких и легкоплавких металлов с привязкой к стоимости

Наполнитель	Содержание, %	n (имп/с) № 7 источник эквивалент (7э)	Кратность ослабления	Стоимость (м ² /руб)
Al ₂ O ₃	15	3,49	7,61	2627,51
	20	3,05	10,53	2731,95
WC	25	3,11	16,94	3924,79
	30	2,52	27,57	4245,15
TiC, TiO ₂ (отожженный)	15	3,87	12,57	3190,79
	20	3,31	15,96	3483,89
	25	3,01	19,64	3675,65
	30	2,61	29,86	4068,74

Необходимые допущения при измерениях:

- источник расположен на оси детектора при измерении;
- ионизирующее излучение не поглощает слоем воздуха и не отражается от радиационно-защитного материала.

Материал будет влиять на коэффициент поглощения ионизирующего излучения слоем отделяющей среды, который вносит вклад в коэффициент регистрации для определения абсолютной активности источника.

Для промышленного использования и изготовления данных композитных материалов необходимо было учесть соотношение себестоимости и кратности ослабления композитного материала.

Расчет стоимости изготовления на примере образца TiC отожжённого

Приведен экономический расчет стоимости изготовления образцов, который состоит из затрат на материалы и работы по изготовлению самого изделия.

Расчет стоимости изделия проводится следующим образом:

$$C_{\text{изд}\%} = C_{\text{св}} + C_{\text{п}} + C_{\text{рас}} + C_{\text{раб}} \quad (4)$$

где $C_{\text{изд}\%}$ – стоимость изделия, руб/100г;

$C_{\text{св}}$ – стоимость связующего материала, руб/кг;

$C_{\text{п}}$ – стоимость порошка, руб/кг;

$C_{\text{рас}}$ – стоимость растворителя, руб/л;

$C_{\text{раб}}$ – стоимость работы затраченной на изготовление подложки, руб.

Расчет стоимости связующего материала (формула 5):

$$C_{\text{св}} = m_{\text{св}} \cdot \Pi_{\text{св}} \quad (5)$$

где $m_{\text{св}}$ – масса связующего вещества, кг;

$\Pi_{\text{св}}$ – цена связующего вещества, кг.

Расчет стоимости порошка (формула 6):

$$C_{\text{п}} = m_{\text{п}} \cdot \Pi_{\text{п}} \quad (6)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса порошка, кг;

$\Pi_{\text{п}}$ – цена порошка, руб/кг.

Расчет стоимости растворителя (формула 7):

$$C_{\text{раств}} = \rho_{\text{раств}} \cdot \Pi_{\text{раств}} \cdot V_{\text{раств}} \quad (7)$$

где $\rho_{\text{раств}}$ – плотность растворителя, г/мл;

$C_{\text{раств}}$ – цена растворителя за 1л, руб;

$V_{\text{раств}}$ – объём растворителя, мл.

Расчет стоимости работы затраченной на изготовление подложки (формула 8):

$$C_{\text{раб}} = n_{\text{час}} \cdot \Pi_{\text{раб}} \quad (8)$$

где $n_{\text{час}}$ – количество времени затраченного на изготовление образца, час;

$\Pi_{\text{раб}}$ – стоимость работы, руб/час.

Так как объём растворителя и время работы во всех случаях одинаковы (формула 9).

$$\Sigma_{\text{рас+раб}} = C_{\text{рас}} + C_{\text{раб}} \quad (9)$$

где $\Sigma_{\text{рас+раб}}$ – суммарная стоимость растворителя и работы.

Расчет стоимости изделия (формула 10)

$$C_{\text{изд}\%} = \Pi_{\text{св}} \cdot m_{\text{св}} + \Pi_{\text{п}} \cdot m_{\text{п}} + \Sigma_{\text{рас+раб}} \quad (10)$$

$$C_{\text{изд}10\%} = 0,09 \cdot 650 + 0,01 \cdot 2974 + 26,96 = 115,2 \text{ руб}/100\text{г}$$

$$C_{\text{изд}15\%} = 0,085 \cdot 650 + 0,015 \cdot 2974 + 26,96 = 126,82 \text{ руб}/100\text{г}$$

$$C_{\text{изд}20\%} = 0,08 \cdot 650 + 0,02 \cdot 2974 + 26,96 = 138,44 \text{ руб}/100\text{г}$$

$$C_{\text{изд}25\%} = 0,075 \cdot 650 + 0,025 \cdot 2974 + 26,96 = 146,06 \text{ руб}/100\text{г}$$

$$C_{\text{изд}30\%} = 0,07 \cdot 650 + 0,03 \cdot 2974 + 26,96 = 161,68 \text{ руб}/100\text{г}$$

$$\sum_{C_{изд}} TTK(отож) = 115,0 + 126,82 + 138,44 + 146,06 + 161,68 = 688,2 \text{ руб}$$

Расчет стоимости 1 м² (TiC) в зависимости от процентного содержания композитного материала:

$$C_{10\text{м}^2} = \frac{2516,54 \cdot 115,2}{100} = 2899,05 \text{ руб/м}^2$$

$$C_{15\text{м}^2} = \frac{2516,54 \cdot 126,82}{100} = 3190,79 \text{ руб/м}^2$$

$$C_{20\text{м}^2} = \frac{2516,54 \cdot 138,44}{100} = 3483,89 \text{ руб/м}^2$$

$$C_{25\text{м}^2} = \frac{2516,54 \cdot 146,06}{100} = 3675,65 \text{ руб/м}^2$$

$$C_{30\text{м}^2} = \frac{2516,54 \cdot 161,68}{100} = 4068,74 \text{ руб/м}^2$$

Зависимость кратности ослабления от стоимости материала представлены на рисунке.

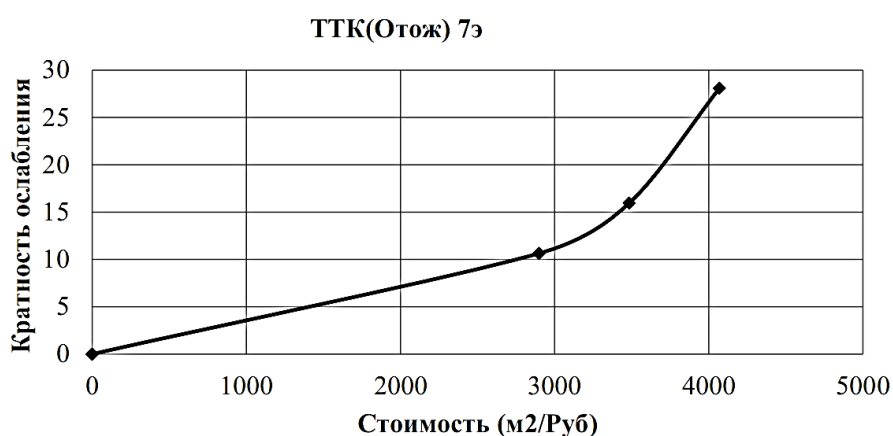


Рисунок. - Зависимость кратности ослабления от стоимости композита (TiC, TiO₂ (отожженный))

На рисунке показана зависимость увеличения стоимости материала от кратности ослабления, которая зависит от процентной концентрации наполнителя. На выбор модификатора матрицы защитного материала существенно будет влиять экономическая целесообразность использования композита и его эффективность.

Выводы

Таким образом, в результате исследования влияния наномодификаторов на радиационно-защитные свойства образцов, можно сделать следующие выводы:

- наиболее оптимальным модификатором композитного материала, улучшающий радиационно-защитные свойства является нанопрошок TiC, TiO₂ отожженного, (кратность ослабления 29,86), при добавлении которого наблюдаются наилучшие результаты (при концентрации 20 % нанопрошка наблюдается увеличение радиационно-защитных характеристик в 23,3 раза);

- изучение кратности ослабления от стоимости композита показало, что кратность ослабления композита на основе оксида алюминия 20 % на 30 процентов ниже, чем композита на основе оксида и карбида титана, отожженного той же концентрации, но при этом его стоимость изготовления ниже на 22 % и он легче в 3,5 раза, следовательно, на использование модификатора будет влиять его назначение и цена;

- нанопрошок оксида алюминия 15 % показал наименьшую радиационно-защитную способность по сравнению с нанопорошками приведенными в таблице;

– для более детального изучения влияния наномодификаторов необходимо провести ряд исследований, направленных на различные свойства композитных образцов.

Список использованных источников

1. Русских И.М., Селезнев Е.Н., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Экспериментально-теоретическое исследование органометаллических радиационно-защитных материалов, адаптированных к источникам излучения со сложным изотопным составом // Ядерная физика и инжиниринг, 2014, том 5, №5, с.449-455.
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Лукьяненко В.Ю., Михайлова А.Ф., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В. Оптимизация состава радиационной защиты // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика 2015. № 4. С. 36-42.
3. Савченкова Г.А., Артамонова Т.А., Савченков В.П., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Перспективы использования материалов серии Абрис для радиационной защиты персонала АЭС. Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики. Сборник докладов восьмой международной научно-технической конференции 23–25 мая 2012 г. М., ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2012.
4. Cherkashina N, Vladimir G., Tatyana C. Experiment – calculated investigation of composite materials for protection against radiation // Materials Today: Proceedings 11. – 2019. – p. 554–560.
5. Method and device for obtaining a powder from particles of tungsten or tungsten compounds with a size in the nano-, micron- or submicron range: Pat/ EP 3138932 A1, EC, GalugaAndrey, Baranov Georgij, Gavrish Vladimir, Smirnov Sergei, LosenkovAleksandr, VostrognutovStanislav - № 15002564.1 заявл. 01.09.2015 опубл. 08.30.2017 Бюл. 2017/10.
6. Черкашина Н.И., Гавриш В.М., Чайка Т.В., Разина В.А., Тарасевич Д.В. Расчетно-экспериментальное исследование композитных материалов для защиты от излучения // Энергетические установки и технологии, 2019. - Т. 5, № 4. С. 130-135.
7. Черкашина Н.И., Ерофеев В.А., Разина В.А., Тарасевич Д.В. Расчетно-экспериментальное исследование радиационно-защитных свойств легкоплавких композитных материалов // Энергетические установки и технологии Т. 6 № 1. –2020. – с. 125–130.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА НАДЁЖНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

П.С. Чернышов, В.В. Чебоксаров

Актуальность темы исследования заключается в новом способе расчёта надёжности воздушных линий, основанном на моделировании воздушной линии с наложенными на неё определёнными условиями гололеда, характерного для региона, в котором воздушная линия будет построена. Это позволит сделать расчёт надёжности более точным и не требующим особых финансовых затрат.

Введение

В данной статье особый акцент будет сделан на влиянии гололёда, как на экстремальном погодном факторе, серьёзно влияющим на надёжность воздушных линий электропередач. Обледенение проводов является серьёзной проблемой для электронадёжности воздушных линий, так, как из-за льда увеличивается физическая нагрузка на проводник, что в итоге нередко приводит превышению нормативной нагрузки на линии, и в итоге к обрыву провода. К сожалению, не представляется возможным существенно повысить точность расчета показателей надёжности воздушных линий без разработки моделей возникновения аварий, связанных с основными природными факторами, наполнения информационной базы моделей и их использования в проектировании и эксплуатации сетей.

Постановка проблемы

Проблема заключается в недостаточной точности расчётов надёжности воздушных линий электропередач при учёте влияния гололёда на воздушных линиях электропередач. Данный природный фактор является одной из частых причин обрывов проводов и весьма распространен в Российской Федерации, в связи с её географическим расположением. Конечно, в «правилах устройства энергоустановок» чётко описывается влияние климатических условий при расчёте воздушных линий, и их элементов, однако карты климатического районирования территории РФ, на которых и основываются расчётные условия в правилах устройства энергоустановок, имеют большой масштаб и редко учитывают небольшие изменения в ландшафте (например, холмы или заливы), которые тем не менее, могут серьёзно влиять на погоду в районе. К тому же, создание новых климатических карт проводится лишь раз в 25 лет.

Постановка задачи

Для решения проблемы предполагается сформулировать упрощенную математическую модель, позволяющую повысить точность расчета вероятности аварий воздушных линий, вызванных экстремальным погодным фактором обледенения, исключительно на основе доступной для района расположения сети климатической информации, а именно по частоте и интенсивности гололёдных явлений или наихудшем за год сочетании факторов климатического риска обледенения (температура, скорость ветра, влажность). При этом будут учтены как статистические характеристики указанных нагрузок, действующих на провода и опоры ВЛ, так и статистические характеристики прочности элементов конструкции ВЛ.

План работы

- 1) Поиск климатической информации о повторяемости гололедных явлений для тестового района;
- 2) Осуществление нескольких численных экспериментов по расчёту максимальной годовой толщины льдообразования с использованием CFD пакета ANSYS Fluent;
- 3) Разработка тестовой линейной экстраполяционной модели толщины стенки гололёда с использованным распределением Гумбеля.

Методика исследований

Прочность R компонентов оборудования ВЛ и действующие на них нагрузки Q в процессе эксплуатации являются случайными величинами (носят вероятностный характер с некоторыми законами распределения).

Проектирование ВЛ осуществляется в соответствии с утвержденными национальными и международными методиками. Пример – международный стандарт ИЕС 60826 “Overhead transmission lines – Design criteria”, который применим как к проектированию магистральных сетей, так и ВЛ на РЭС. В России действуют на практике типовые проекты ВЛ серии 3.407.1-143 с учетом климатического районирования. То есть, при проектировании уже закладывается определенная надежность компонентов оборудования по критерию

$$Q_T < K_R * R_C, \quad (1)$$

где Q_T – действующая нагрузка с повторяемостью T лет,

K_R – коэффициент прочности, рассчитываемый по рекомендациям стандарта,

R_C – нормативная прочность, которая по данным производителей гарантируется с вероятностью 90...98% (экслюзивный предел – квантиль = 2...10%).

Однако из-за разброса значений R и Q возможно временное превышение предела прочности самого слабого компонента ($Q > R$), что и вызывает аварию.

Таким образом, задача сводится к построению расчетной модели по определению вероятности (интенсивности возникновения) ситуации $Q > R$ по характеристикам распределений R и Q . В частности, при нормальном законе распределения R и Q вероятность аварии $ВерA$ вычисляется через функцию Лапласа Φ в зависимости от показателя надежности β (см. рисунок 1):

$$ВерA = 1 - \Phi(\beta). \quad (2)$$

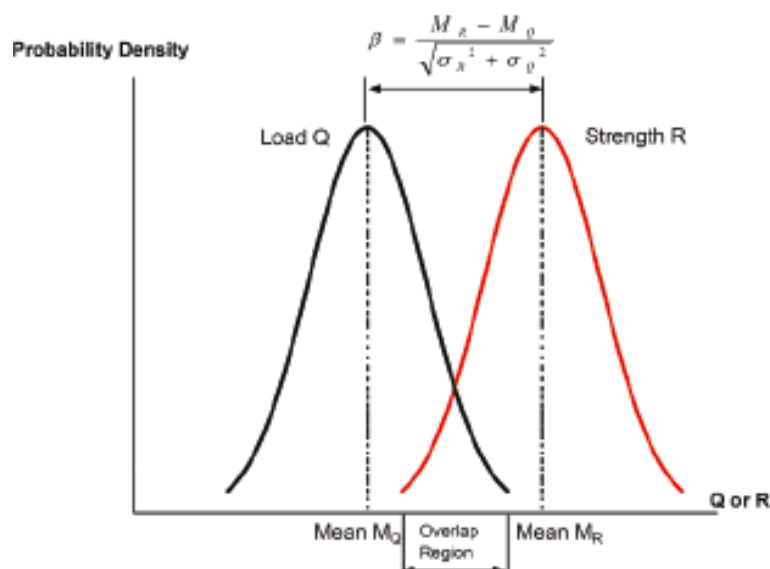


Рисунок 1. Вычисление вероятности аварии $VerA$ через функцию Лапласа

Однако по данным наблюдений редкие климатические явления (напр., обледенение) лучше описываются **теорией экстремальных значений** с использованием распределения Гумбеля:

$$VerA = 1 - e^{-e^{-a(RC-\mu)}}, \quad (3)$$

где a и μ - параметры распределения Гумбеля, или более общего распределения экстремальных величин (GEV - распределения).

Проведенные исследования показывают, что при некотором количестве наблюдений максимальной годовой ледовой нагрузки (удельно в кг/м или в мм радиальной толщины ледовой корки) на вероятностной бумаге для соответствующего закона распределения (Гумбеля или GEV) может быть построена линейная модель связи максимальных годовых значений нагрузки с их повторяемостью, обладающая достаточно высокой точностью для экстраполяции. См. диаграмму максимальных значений радиальной толщины льда по данным наблюдений за 59 лет на полигоне в Чехии (Рисунок 2):

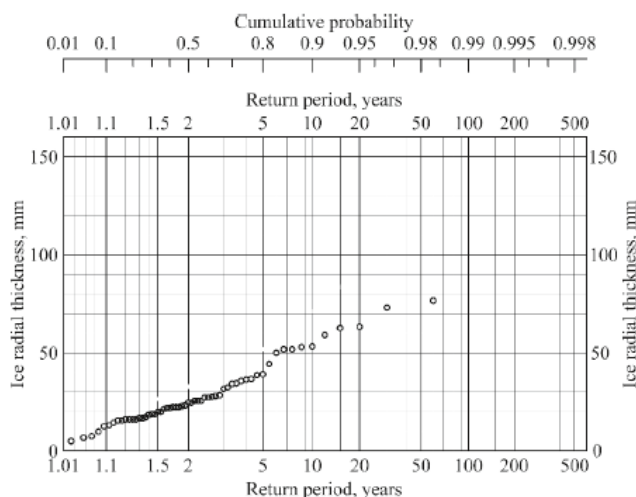


Рисунок 2. Данные наблюдений за 59 лет на полигоне в Чехии

Ключевое значение для точности модели имеет длительность наблюдения наибольшей в течение года толщины гололеда или наибольшей годовой нагрузки на провода. Желательно иметь такие данные не менее чем за 20 лет. Если данные о гололеде будут недоступны, то предполагается их получить самостоятельно, путем

численного расчета методами компьютерной динамики жидкости по имеющейся информации о температуре, скорости ветра и влажности воздушного потока. Согласно результатам последних научных исследований, CFD-моделирование процессов обледенения дает хорошее совпадение с экспериментальными данными. При этом можно ограничиться расчетами с относительно простыми двумерными расчетными областями при описанных рекомендуемых настройках.

Пусть экстремальные климатические условия, вызывающие аварию (при которых $Q_T \geq KR * RC$) возникают в i -м сегменте ВЛ с повторяемостью T_3 лет, тогда вероятность аварии на нем в течение года j будет:

$$\text{Вер}A_j = 1/T_3, \quad (4)$$

Затем считаем интенсивность аварий в i -м сегменте ВЛ:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} + \frac{\text{Вер}A_j}{t_3}, \quad (5)$$

где t_3 – длительность экстремального события, λ_{0i} – условно постоянная интенсивность аварий в i -м сегменте из-за неклиматических, например, географических (близость к дорогам) факторов. Тогда **искомая удельная интенсивность аварий** в i -м сегменте, равна:

$$RFI_i = \frac{\lambda_i}{L_i}, \quad (6)$$

где L_i – длина сегмента, в котором наблюдаются указанные нагрузки. L_i может быть оценена по данным, приведенным в международном стандарте IEC 60826, в зависимости от вида климатического воздействия и рельефа местности.

Выводы

Создание упрощённой математической модели позволит существенно повысить расчёт надёжности воздушных линий электропередач от физического воздействия обледенения. При этом данный метод не влечёт за собой никаких финансовых расходов, достаточно будет лишь подставить значения требуемых характеристик проводов и окружающей среды в соответствующие формулы. А CFD моделирование процессов обледенения даст хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Список использованных источников

1. L. Makkonen, J. Zhang, T. Karlsson, M. Tiihonen. - Modeling the growth of large rime ice accretions, Cold Regions Science and Technology, 2018.
2. G. McClure, M.Lapointe. – Modeling the structural dynamic response of overhead transmission lines, Computers and Structures, 2003.
3. M. Farzaneh. – Atmospheric Icing of Power Networks, Springer, 2008.
4. L.Makkonen, B.Wichura, - Simulating wet snow loads on power line cables by a simple model, Cold Regions Science and Technology, 2010.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В.В. Смирнов, Э.Р. Джемилев

В данной статье рассмотрен новый способ передачи электроэнергии. Проведен анализ использования резонансной системы электроснабжения. Предложены варианты передающего и приёмного резонансных контуров с высокочастотными трансформаторами и однопроводной линии.

Введение

Современное общество трудно представить без использования электрической энергии. Она применяется во всех отраслях хозяйственной деятельности: в промышленности, городском, сельском и коммунальном хозяйстве; в быту и на транспорте. Особенности энергетического производства определяют трудности управления в отрасли, вызывающие необходимость реагирования на все изменения потребления электрической энергии.

Исследование резонансной системы передачи электрической энергии

Современная линия электропередачи (воздушная или кабельная) в простом понимании – это три (в случае трехфазной линии) провода от источника к потребителю. Толщина этих проводов напрямую зависит от нагрузки и тока – для 200-300 ватт домашней люстры достаточно проводов с сечением 0,75 миллиметра квадратных, для нагрузки в несколько киловатт уже требуются провода от 2,5 кв. мм и выше, такое еще возможно для разводки проводов. Допустим, Сечение кабеля проложенного по дачному посёлку, уже сопоставима, примитивно выражаясь, с толщиной пальца взрослого человека. Стоимость проводов и их вес пропорционально растут, а также растут омические потери энергии в них.

Такой вариант применим для разводки проводов «на конечном участке», но если бы провода ЛЭП от источника к потребителям соответствовали потребляемому току потребителей, то были бы они сечением тысячи миллиметров квадратных, что совершенно недопустимо. Поэтому для передачи одной и той же мощности, но по проводам меньшего сечения, используют повышенное напряжение – тысячи вольт. При неизменной мощности напряжение увеличивается, а ток уменьшается: по закону Ома. Но и в таком случае сечение проводов на ЛЭП велико, масса и стоимость их огромны.

Один из вариантов решения этой проблемы представлен на Рис.1.,Рис.2.: на генерирующей стороне преобразовывать электрический ток в высокочастотный (частота не превышает 50 000 Гц), подать его на колебательный контур, настроенный на данную частоту, и соединить его с контуром на принимающей стороне. Соединить одним проводом, который имеет меньшее сечение по сравнению с тем, что использовался бы в стандартной линии передачи. В режиме резонанса в линии достигается напряжение до сотен тысяч вольт, но токи относительно невелики, поэтому Джоулевы потери на нагрев проводников в линии малы и поэтому не требуется большое сечение и масса провода.

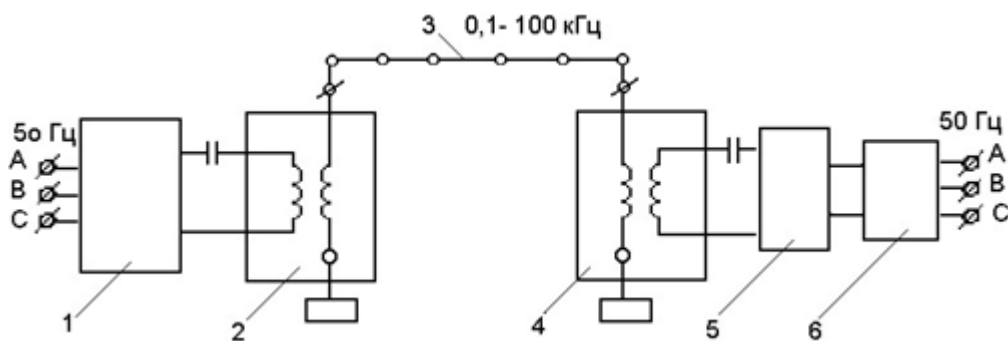


Рис.1. Электрическая схема РС с двумя высокочастотными (ВЧ) трансформаторами.

- 1 – генератор повышенной частоты;
- 2 – резонансный контур повышающего трансформатора;
- 3 – однопроводниковая линия;
- 4 – резонансный контур понижающего трансформатора;
- 5 – выпрямитель;
- 6 – инвертор.

С однопроводными резонансными системами появляются возможности для создания дальних линий электропередач и, в перспективе, замены существующих воздушных линий на кабельные нового типа.

Так будет решена одна из важнейших проблем электрификации – повышение надежности электроснабжения.

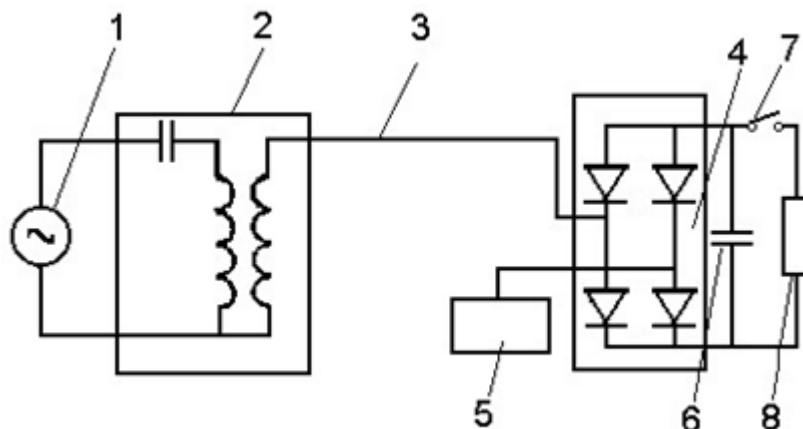


Рис. 2. Схема передачи электрической энергии с диодно-конденсаторным блоком:

- 1 – генератор повышенной частоты;
- 2 – резонансный контур повышающего трансформатора;
- 3 – однопроводниковая линия;
- 4 – преобразовательный мост;
- 5 – естественная ёмкость;
- 6 – конденсатор выпрямителя;
- 7 – ключ;
- 8 – нагрузка.

На рис. 3 показано распределение волн напряжения и тока в однопроводниковой линии, замкнутой на землю с обоих концов. Это волноводная линия со сдвигом фаз между токами и напряжениями 90° , смонтированная на заземленных опорах, присоединенных к линии в точках с узлами напряжения. Заземление линии не изменяет

параметры данной линии и не оказывает влияние на величину передаваемой мощности.

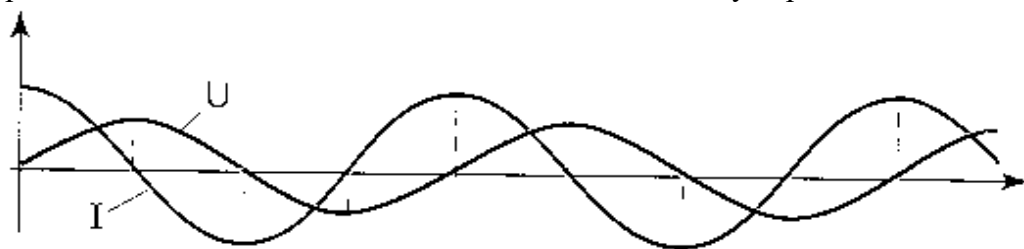


Рис 3. . Распределение напряжений и токов в линии, замкнутой с двух сторон на землю: распределение стоячих волн тока и напряжения вдоль однопроводниковой линии;

Стоячие волны в разомкнутой линии (рис. 4) появляются в результате сложения падающей и отраженной волн, имеющих похожие амплитуды. Фазы напряжения и тока во всех сечениях линии одинакова. Между напряжением и током существует сдвиг по фазе на 90° в пространстве и во времени. Когда во всей линии напряжение максимально, ток стремится к нулю и наоборот.

Пространственный сдвиг выражается в том, что в сечениях линии с пучностями напряжения наблюдаются узлы тока, а при узлах напряжения наблюдаются пучности тока. Фаза во всех сечениях линии одинакова. Это означает, что во всей линии напряжение равно нулю или максимально в один и тот же момент времени, но эти максимумы для разных сечений различны, так как амплитуда колебаний вдоль всей линии изменяется. То же самое происходит с волнами тока. Средняя мощность, отдаваемая генератором(источником) в разомкнутую однопроводную линию или в линию, замкнутую на реактивное сопротивление, будет равна нулю.

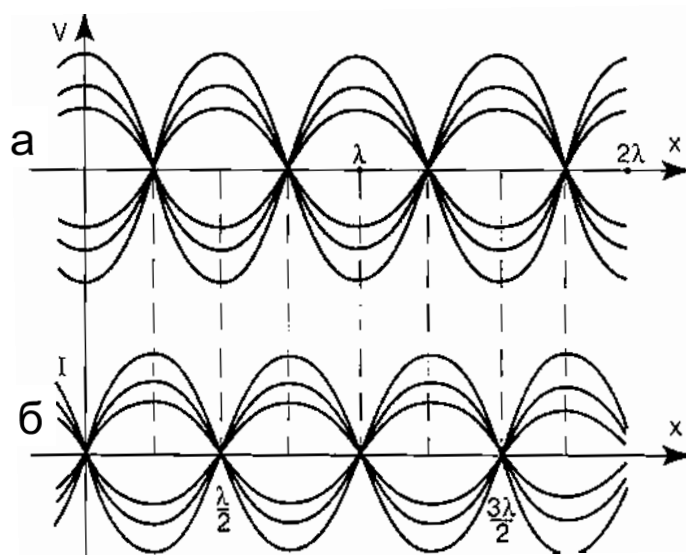


Рис.4. Стоячие волны. Распределение волн:

а – напряжения;

б – тока в однопроводниковой линии в различные моменты времени

У линии работающей в режиме стоячих волн входное сопротивление имеет реактивный характер. Если в линии есть потери, то данная бегущая волна от источника компенсирует эти потери. При наличии в линии как бегущих так и стоячих волн ее

входное сопротивление содержит активную и реактивную составляющие.

В настоящее время длина линий электропередач зачастую не превышает 1000 км, а длина волны тока и напряжения при частоте 50 Гц составляет 6000 км. Полуволновая линия (рис. 5) длиной 1000 км может быть выполнена при частоте 150 Гц, даже в трехпроводном привычном исполнении. Данная линия будет передавать значительно большие мощности, чем при стандартной частоте. Однако современные линии электропередач проявляют свои резонансные свойства только в аварийных режимах (при обрыве линии у потребителей).

В данных линиях содержание алюминия и меди в проводах может быть радикально уменьшено за счёт снижения их сечения в десятки раз. Если линию электропередачи сделать в виде стального провода (для повышения прочности), который будет покрыт тонким слоем меди (для электропроводности), то такие линии станут совершенно непривлекательны для расхитителей цветного металла.

Из перечисленного следует, что потери электроэнергии в однопроводной линии относительно малы по сравнению с двух-трехфазной линией;

Большинство линий электропередач можно будет сделать подземными заменив воздушные, тем самым исключив обрывы от погодных стихий, таких как ураганы или ледяные дожди, а также уменьшить огромные затраты на их ремонт и строительство.

Главные преимущества резонансной системы передачи электроэнергии:

- создание сверхдальних кабельных линий электропередач;
- потребители, где необходимо скрытно подать электроэнергию: где опоры воздушных линий либо тонут, либо всплывают; прииски в тайге, куда ЛЭП прокладывать очень дорого; болотистые места, горы, где освоение полезных ископаемых затруднено в связи с отсутствием электричества и т.д.
- современные ЛЭП проявляют резонансные свойства в аварийных режимах, что приводит к перенапряжению и разрушению изоляторов, а при обрыве однопроводниковой линии стремительно изменяется частота и линия отключается;
- благодаря относительно малой ёмкости линии передача электроэнергии осуществляется по однопроводному высоковольтному кабелю;
- экономия электричества при передаче так как снижаются омические потери в линии;
- данная система позволяет доставлять потребителям качественную электроэнергию. Так же разделятся частоты у генератора и потребителя, так как имеются вставки постоянного тока вначале и в конце данной линии;
- экономия материалов проводов, так же снижение стоимости монтажа линии.;
- снижение расходов на техническое обслуживание, отсутствие межфазных коротких замыканий;
- возможно продавать продукцию высокого качества на экспорт.
- несанкционированное подключение к линиям и кража электроэнергии почти невозможны.

Осуществлен интересный практический эксперимент – передача электроэнергии для оборудования электрохимической катодной защиты газопроводов, который осуществил Газпром. Дело в том, что на всех газо- и нефтепроводах обязательно через каждый 10 километров стоят станции катодной защиты, чуть с большим интервалом – автоматика, задвижки и т.д. Для питания этого оборудования вдоль трубы пускают трёхфазную ЛЭП, которая представляет собой головную боль для нефтяников и газовиков, поскольку на большом протяжении она проходит по ненаселённым районам, сильно подвержена стихиям и труднодоступна для ремонта. Был взят один из фазных проводов этой ЛЭП и использован как однопроводная линия на отдельном

участке, продемонстрировав эффективность и огромную экономию меди, поскольку стандартно там идут 3 провода сечением по 70 «квадратов». Потом на этом же участке пустили ту же энергию по 1-миллиметровому проводу в коаксиальной оболочке, да ещё и с минимальными потерями около 2 процентов. То есть толстые медные и алюминиевые кабели оказались не нужны, а если тонкий провод закопать в землю, то и проблемы с защищённостью электроснабжения газопровода.

Выводы

Потребление электроэнергии в России и во всем мире растет год от года. Это требует или строительства новых линий электропередач или модернизации уже существующих.

При этом весьма существенен расход электроэнергии на ее транспортировку. При резонансной системе передачи электрической энергии токи в линии будут меньше, поэтому потери на нагрев проводника снизятся до технически возможного минимума. Так как в линиях электропередач резонансного типа по сравнению с классическими при одинаковой пропускной способности существенно снижается требуемый для этого минимальный диаметр используемых проводов, то это обеспечивает значительную экономию и финансовых и материальных ресурсов. Особенно, если учесть, что суммарная протяженность высоковольтных ЛЭП в России составляет около полумиллиона километров. Рассматриваемый тип линии электропередачи способен обладать большей устойчивостью в работе по сравнению с уже существующими.

Список используемых источников

1. Стребков Д.С., Некрасов А.И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. Изд. 3-е. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008 г., 352 с.
2. Алиев И.И. Энергосберегающая резонансная однопроводная ЛЭП. «Энергобезопасность и энергосбережение». №6, 2011 г., с. 35—38.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «SMART GRID»

А.А.Васильев, В.В.Колодяжный

Проектирование современных устройств силовой электроники требует нового подхода к их разработке и внедрению. Такой подход может заключаться в добавлении элементов интеллектуальной сети в систему электропитания. «Умная сеть» означает формирование распределительной системы, основанной на активном управлении всеми этапами использования энергосистемы от производства до потребления с максимальной безопасностью.

В работе представлена реконструкция системы возбуждения для синхронного двигателя, который приводит в движение турбокомпрессор с помощью программируемого логического контроллера.

Введение

Особенность этого варианта реконструкции от аналогичных решений - применение инновационного аппаратного и программного обеспечения, обеспечивающего гибкость системы. Использование программируемого логического контроллера (ПЛК) позволяет с минимальными затратами подключиться к существующей автоматике управления заводскими процессами и реализовать различные алгоритмы оптимизации. Такой подход позволяет устройству стать активным элементом системы «smart grid» и способствует «умному» использованию имеющихся ресурсов для генерации реактивной энергии.

На рисунке 1 показана схема возбуждения синхронного двигателя [1], который используется для запуска турбокомпрессора для удаления воздуха (ротор возбуждается полууправляемым тиристорным мостом) [2]. Учитывая особенности использования для выполнения сложной процедуры запуска и остановки двигателя (последовательные функции), а также требований к управлению, было решено, что система возбуждения будет основана на программируемом логическом контроллере Siemens SIMATIC [3]. Такое решение в конкретных условиях эксплуатации обеспечивает ряд преимуществ, среди которых:

- Быстрая реализация «умной сети»
- Система «Smart grid» обладает большой гибкостью, имея широкий спектр настроек для управления; оптимизацию системы под определенные параметры можно проводить уже после сборки оборудования.
- Возможность расширения «Умной сети» на другие устройства, подключенные внутри энергосистемы предприятия, либо на смежных участках, если возникнет такая необходимость.

В современных реалиях сети могут содержать элементы, генерирующие энергию из возобновляемых источников (ВИЭ). Участие ВИЭ в распределительной сети поднимает вопрос об их эффективном использовании в процессе регулирования напряжения. Такие источники энергии влияют на качество передаваемой

электроэнергии, напряжение сети и стабильность системы, что достигается путем выдачи реактивной мощности в высоковольтных сетях среднего класса напряжений (6 кВ, 10 кВ, 20 кВ, 35 кВ). Следует сказать, что на сегодняшний день основным источником реактивной энергии являются синхронные двигатели, широко применяемые на промышленных предприятиях в районах с слабой распределительной сетью, зачастую эксплуатируемые в качестве привода крупных насосных станций.

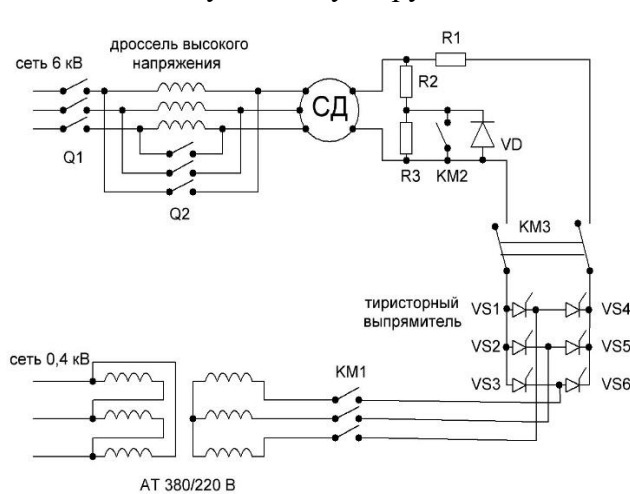


Рисунок 1. Схема возбуждения синхронного двигателя

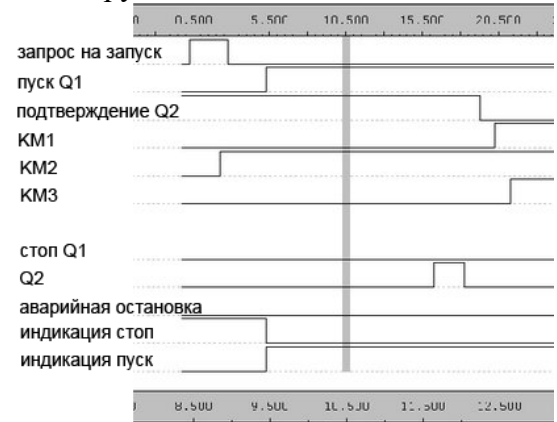


Рисунок 2. Диаграмма циклов процедуры запуска

В концепции системы «умная сеть» синхронные двигатели могут использоваться в качестве важного элемента для регулирования напряжения, несмотря на то, что они потребляют активную энергию [4], [5].

Принцип работы

Поскольку необходимо адаптировать большое количество требований к реальным условиям эксплуатации, в качестве органа управления рассматривается ПЛК. Использование ПЛК в промышленности позволяет добиться:

- Уменьшение временных затрат на разработку системы
- Быстрое и относительно простое изменение как параметров, так и общего алгоритма управления и контроля системы
- Простота добавления новых функций в соответствии с требованиями заказчика
- Надежность, долговечность и простота замены в случае выхода оборудования из строя
- Связь между системой возбуждения и другими элементами технологической системы
- Возможность дистанционного управления и мониторинга.

В нашем случае ПЛК берёт на себя функции наблюдения, управления и защиты. Под управлением ПЛК реализуется последовательности пуска и остановки. На рисунке 2 в качестве примера изображен график процедуры запуска.

Из рисунка видно, что процедура запуска начинается с появления сигнала запроса запуска, который требует от ПЛК проверки готовности системы к запуску (что подразумевает отсутствие сигналов, которые вызывают активацию защиты). Если система готова к запуску, ПЛК включает контактор KM2 (см. Рисунок 1), что позволяет включать высоковольтный выключатель Q1 через его вспомогательные контакты. Через некоторое время, которое определяется постоянной времени нагрева дросселя высокого напряжения и достижения требуемой скорости вращения синхронного двигателя во время запуска, замыкаются контакты выключателя Q2, который

закорачивает дроссель высокого напряжения. Через несколько секунд (для дополнительного пуска двигателя) питание тиристорного моста КМ1 включается, а через 1с выход тиристорного моста подключается к обмотке возбуждения ротора.

С точки зрения системы защиты и мониторинга, ПЛК выполняет следующие функции:

- выявление слишком длительного запуска машины,
- обнаружение неисправности полупроводникового моста возбуждения,
- мониторинг частоты сети и машины с измерением скольжения в режиме онлайн,
- онлайн измерение пульсаций тока возбуждения с целью выявить асинхронную работу машины,
- наблюдение за состоянием энергетической части.

Связь с другими устройствами системы осуществляется через соединение RS485/ RS422 в соответствии с произвольно настраиваемым протоколом, среди которых Modbus, PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface. Таким образом систему возбуждения интегрируется в родительскую систему управления или систему диспетчерского управления и сбора данных SCADA.

В системе управления ПЛК служит пропорционально-интегрально-дифференцирующим (ПИД) регулятором с возможностью регулирования тока возбуждения и коэффициента мощности $\cos\varphi$, который показан на рисунке 3. Он также включает режим форсирования в случае, если напряжение сети падает ниже определенного предела, чтобы сохранить синхронизм СД с сетевым напряжением.

Поскольку ПЛК реализует математические функции высокого уровня, появляется возможность для более продвинутых методов управления, таких как оперативная оценка параметров машины, то есть измерения короткого замыкания и скорости холостого хода, а также построение характеристики активного тока статора в недовозбужденном и перевозбужденном состоянии для требуемой рабочей точки.

Защита от асинхронной работы

Чтобы свести к минимуму вероятность повреждения машины, защита от асинхронной работы синхронного двигателя выполнена двумя способами. Первый способ реализован программным обеспечением – нацеленным выявлять характерные изменения тока возбуждения. Второй способ – при помощи аппаратного обеспечения, использующего электронную схему для этой цели. Защита программного обеспечения основана на измерении пульсации тока возбуждения. Абсолютное значение разности между заданным и текущим током возбуждения является интегральным (суммируется) в соответствующем временном интервале (окне) и, если это значение превышает заданное значение Ref_{asy} , отправляется команда на отключение машины. Переменная Ref_{asy} пропорциональна току опорного возбуждения. Таким образом, проблема возможной ненужной защиты при запуске или форсировании просто решается, а также происходит автоматическая переустановка порога действия в случае изменения установленного значения тока возбуждения.

Аппаратная схема защиты от асинхронной работы основана на обнаружении состояния, превышающего допустимый угол мощности. Блок-схема электронной цепи для обнаружения состояния, требующего отключения двигателя при синхронной работе показана на рисунке 4. На вход в эту систему подаётся импульс от индуктивного датчика (маркера) и сигналов синхронизации, генерируемых системой сетевого напряжения. Маркер размещается на валу двигателя так, чтобы он совпадал с осью q . Сигналы синхронизации генерируются из сетевого напряжения для получения импульсов небольшой ширины, которые совпадают с началом нового периода соответствующих фаз А, В, С. Частота импульсов синхронизации в три раза выше стандартной, т.е. 150Hz. Используя все три напряжения для генерирования синхро-

сигнала, достигается независимость от выбора фазы в соответствии с которой измеряется задержка электрической оси q .

Временные диаграммы характерных сигналов в нормальном режиме работы показаны на рисунке 5.

При возникновении импульса маркера (график 2, схема 5) Set-Reset Flip-Flop (SRFF) изменяет состояние так, чтобы его выходной сигнал был логическим нулем (график 3, рис. 5). Также активируется схема, которая генерирует импульс заданной ширины на своем выходе (график 4, рис. 5). Когда появляется следующий импульс синхронизации (график 1, рис. 5), SRFF меняет состояние на логическую 1. Если на тот момент график 4 изменил значение до логического нуля, а на выходе цепи (график 5, рис. 5) присутствует высокий логический уровень, а (график 6, рис. 5) сохраняет логический ноль – будет гореть индикатор правильной работы машины.

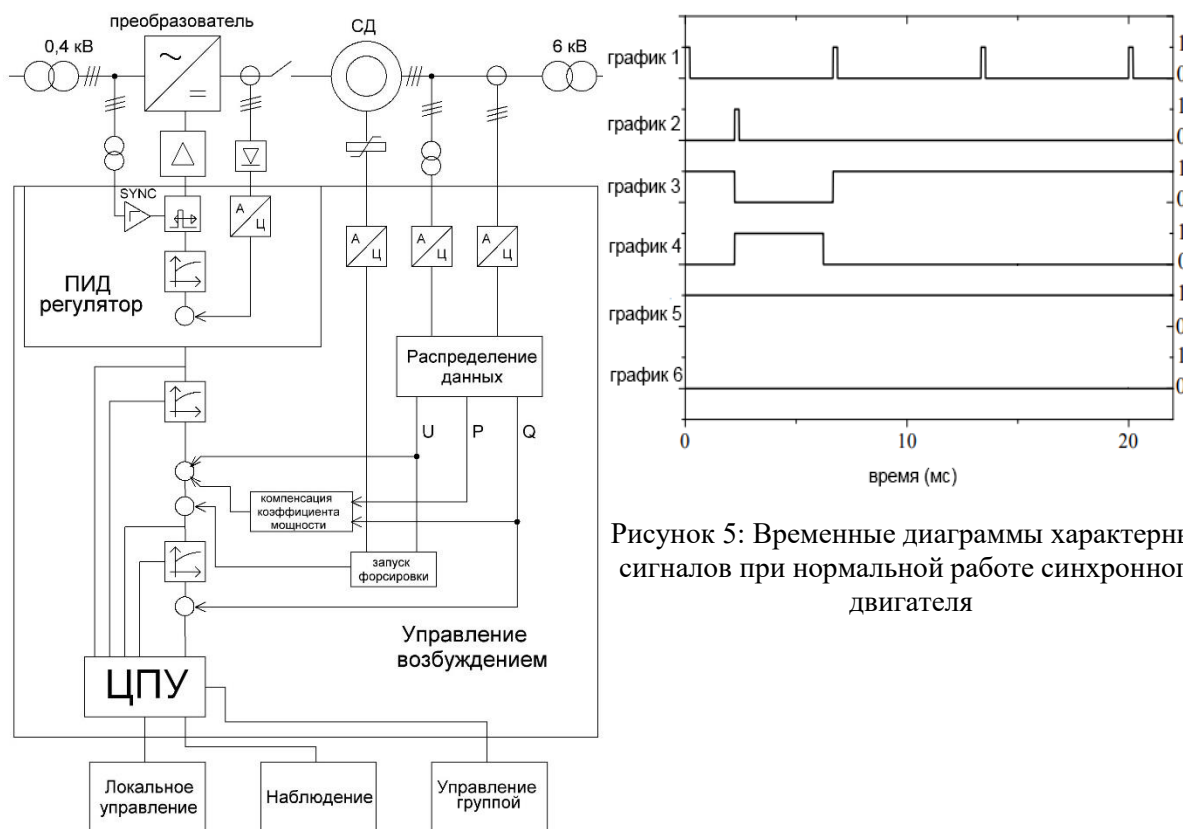


Рисунок 5: Временные диаграммы характерных сигналов при нормальной работе синхронного двигателя

Рисунок 3. Схема регулирования тока возбуждения

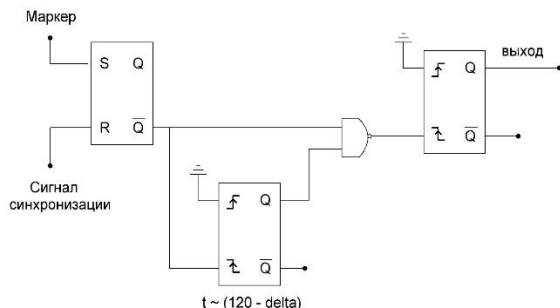


Рисунок 4. Структурная схема цепи для выявления выхода двигателя из синхронизма

Если маркер сработал с некоторой задержкой (что допустимо), во время изменения состояния SRRF значение на графике 4 (рис. 5) все равно будет равно логической единице. Затем логические блоки (график 3, рис. 5) и (график 4, рис. 5) перекрываются, что приводит к появлению логического нуля на выходе схемы (график 5, рис.5), который, в свою очередь, устанавливает (график 6, рис. 5) в логическое состояние 1, что свидетельствует о нестабильной работе синхронного двигателя.

Из описания принципов работы схемы можно заметить - схема выполнена таким образом, чтобы импульс был в пределах ($120^\circ - \delta_{\max}$).

Заключение

В статье рассмотрена возможность реализации системы возбуждения синхронного двигателя мощностью 3,5 МВт на основе устройства ПЛК. Основной контур управления, регулирующий ток возбуждения замыкается через ПЛК. Также на базе контроллера реализованы вспомогательные функции, такие как последовательный запуск и остановка двигателя, функция форсирования тока возбуждения, защита от асинхронной работы и защита от чрезмерного тока возбуждения. Преимущества использования ПЛК отражаются в скорости принятия конкретного решения, гибкости настройки функций защиты и управления, выгодной цене, высокой надежности, возможности связи с регулятором группового возбуждения, а также легкой интеграции в заводскую систему мониторинга и управления заводом.

Список используемой литературы:

- 1) Усольцев А.А. Общая электротехника 2011г.
- 2) В. А. Анищенко В. Б. Козловская Методы и средства управления электроснабжением и потреблением электроэнергии 2013г
- 3) Т.А. Пьявченко Проектирование АСУТП в SCADA системе 2007г
- 4) А.Н.Ожегов Системы АСКУЭ 2006г.
- 5) Кислицин А.Л Синхронные машины

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКЛОУЗЕРОВ – КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

А.Г. Дунец, К.В. Штепа, Е.Г. Малюк

В статье рассмотрены проблемы повышения качества электроснабжения в свете внедрения цифровых технологий. Рассмотрены методы повышения надёжности воздушных распределительных сетей путём внедрения реклоузеров.

Введение

Жизнь современного человека невозможно представить без электричества. Промышленность, сельское хозяйство, наука, медицина, радио и телевидение, интернет, многочисленные виды связи, бытовые приборы и устройства, системы отопления и кондиционирования воздуха, освещение городских улиц и автодорог – это лишь незначительная доля применения электричества в современном мире. И естественно, что прекращение энергообеспечения даже на незначительный период времени приводит к полному параличу жизнедеятельности человека, что происходит не так уж и редко.

Вследствие того, что значение электричества во всех сферах жизнедеятельности современного общества просто колоссально, то проблемы стабильного и качественного энергоснабжения; надёжной и устойчивой передачи электроэнергии от электрических станций к потребителям; проблемы бесперебойного функционирования разнообразного электротехнического оборудования являются чрезвычайно важными и актуальными на сегодняшний момент времени.

Постановка задачи

Состояние электроэнергетической системы в любой момент времени или на некотором интервале времени называется режимом работы системы. Режим работы определяется показателями, которые называются параметрами. К ним относятся:

- 1) Частота;
- 2) Активная и реактивная мощность в элементах системы;
- 3) Величины токов;
- 4) Напряжение в различных точках сети и у потребителей;
- 5) Величины углов расхождения ЭДС и напряжения.

Система электроснабжения города охватывает всех потребителей, включая промышленные предприятия, объекты коммунального хозяйства, электрифицированный транспорт и т.п.

Промышленные предприятия как крупные потребители электроэнергии в зависимости от объема, вида выпускаемой продукции, размер территории и других факторов, могут иметь сложную и разветвленную систему электроснабжения.

Наиболее опасными для системы электроснабжения являются аварийные режимы, вызванные короткими замыканиями и разрывами цепи передачи электроэнергии, в

частности, вследствие, повреждений самонесущих конструкций (опор) транспортными средствами, ложных срабатываний защит и автоматики, а также ошибок эксплуатационного персонала. Длительное существование аварийного режима недопустимо, так как при этом не обеспечивается нормальное электроснабжение потребителей и существует опасность дальнейшего развития аварии и распространения ее на соседние районы. Для предотвращения возникновения аварии и прекращения ее развития применяются средства автоматического и оперативного управления, которыми оснащаются диспетчерские центры, электростанции и подстанции. После ликвидации аварии системы электроснабжения переходит в послеаварийный установившийся режим, который не удовлетворяет требованиям экономичности и не полностью соответствует требованиям надежности и качества электроснабжения. Он допускается только как кратковременный для последующего перехода к нормальному режиму.

В практике эксплуатации распределительных электрических сетей значительная доля сил, времени и затрат уходит на отыскание мест повреждений и возникающих неполадок в работе электроустановок. Оперативный и оперативно-ремонтный персонал, основывая свои знания и опыт на сложившихся стереотипах профессионального мышления, как правило, легко и быстро ориентируется в возникшей ситуации, находит из множества имеющихся свой вариант поиска повреждений с учетом условий погоды, особенностей местности, конфигурации схемы, полученной информации от потребителей и так далее.

Однако не всегда и не везде поиск повреждений занимает сравнительно мало времени. Зачастую простые, казалось бы, ситуации ставят в тупик, как молодых работников, так и опытных специалистов. Здесь видимо причина в том, что имеющиеся методики, рекомендации, инструкции и правила составлены не совсем полно, понятно и доходчиво для широкого круга электротехнического персонала.

Классическим методом отыскания повреждений в электроустановках всегда является внешний осмотр. Однако на ВЛ, имеющих как правило, большую протяженность, осмотр занимает продолжительное время и применяется только в тех случаях, когда уже определен конкретный поврежденный участок.

В тех случаях, когда при тщательном, в том числе и верховом осмотре не обнаружено явных признаков повреждения, оперативный персонал вынужден пойти по пути поочередного отсоединения участков линии и фаз проводов, начиная с головного участка, и включения автоматического выключателя. Этот способ занимает достаточно много времени, но в практике эксплуатации является наиболее распространенным.

Распределительные электрические сети являются последним этапом на пути электрической энергии к потребителю и вместе с тем наиболее слабым звеном в системе электроснабжения, поскольку в них происходит более 50% всех нарушений электроснабжения. Это обусловлено их значительной протяженностью и большим износом самих сетей и присоединенного к ним оборудования. В связи с этим, необходимо повышать надежность вышеуказанной системы в целом.

Существует ряд способов повышения надежности электроснабжения в распределительных электрических сетях:

1. *Рациональное резервирование*, за счет отдельной или параллельной работы линий, трансформаторов в зависимости от условий и требований;
2. *Использование перегрузочной способности элементов системы электроснабжения*, что обеспечивает надежное питание потребителей при эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий. Режимы

перегрузки особенно важны при повреждениях или отключениях линий, трансформаторов, секций шин, отдельных аппаратов;

3. *Совершенствование технического обслуживания:* оптимизация периодичности и глубины капитальных ремонтов, снижение продолжительности аварийных ремонтов;

4. *Повышение качества ремонта оборудования,* что увеличивает межремонтные сроки, снижает затраты труда и материальных средств. Такой ремонт должен производиться квалифицированным персоналом, хорошо знающим конструкцию оборудования, современную технологию ремонта, а также обладающим высокой профессиональной подготовкой и практическими навыками;

5. *Применение, правильный выбор и компоновка современного оборудования.* Выбранное оборудование должно быть устойчиво к действиям токов КЗ. Что касается компоновки, то при особенно высоких требованиях к надежности ЭСН, секции РУ располагают в разных помещениях;

6. *Внедрение ремонтов под напряжением;*

7. *Внедрение автоматизации и телемеханизации.*

Одним из наиболее эффективных способов повышения надёжности электроснабжения в воздушных распределительных сетях является реализация автоматического подхода к управлению аварийными режимами, при котором обеспечивается полная независимость работы пунктов секционирования от внешнего управления. Этот подход также получил название - децентрализованного.

Каждый отдельный аппарат, являясь интеллектуальным устройством, анализирует режимы работы электрической сети и автоматически производит её реконфигурацию в аварийных режимах, т.е. локализацию места повреждения и восстановление электроснабжения потребителей неповрежденных участков сети.

Аппаратом, отвечающим всем требованиям децентрализованного подхода, является вакуумный реклоузер (рис.1), представляющий собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики.

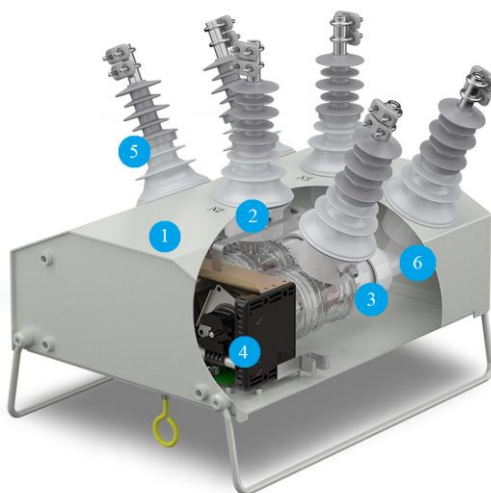


Рис.1 Внешний и внутренний вид реклоузера)

1 – корпус, 2 - комбинированный датчик тока и напряжения,
3 – вакуумная дугогасительная камера, 4 - электромагнитный привод с «магнитной защелкой» и общим синхронизирующим валом, 5 - гидрофобная полимерная изоляция вводов, 6 - твёрдая изоляция токоведущих частей.

Реклоузер – автоматический пункт секционирования сети, в состав которого входит шкаф высоковольтной аппаратуры с вакуумным выключателем, шкаф управления (рис.2) с микропроцессорной релейной защитой и автоматикой.



Рис.2 Шкаф управления

Установка реклоузера при отклонении параметров линии электропередач от заданных позволяет обеспечить автоматическое отключение и повторное включение цепей переменного тока в соответствии с предварительно заданной последовательностью циклов. После срабатывания функция автоматического повторного включения (АПВ) возвращается в исходное состояние, которым могло быть включенное положение или блокировка в отключенном положении. Реклоузер, в соответствии с предустановленной программой, без вмешательства персонала, выполняет следующие функции по обеспечению качества и надёжности электроснабжения:

- Оперативные переключения в распределительной сети.
- Автоматическое отключение поврежденного участка.
- Автоматическое повторное включение линии.
- Автоматическое выделение поврежденного участка.
- Автоматическое восстановление питания на неповрежденных участках сети.
- Автоматический сбор информации о параметрах режимов работы сети.

На рисунке 3 сравниваются аварийные режимы в сетях без реклоузеров и с реклоузерами. Из рисунка видно, что восстановление электроснабжения потребителей неповреждённой части распределительной сети без реклоузеров может занять значительное время (до нескольких часов) и зависит от многих факторов, как то: рельефа местности, погоды, квалификации персонала, транспортной доступности и т.д.

В то же время, переключения в распределительной сети с реклоузерами, позволяющие восстановить электроснабжение потребителей запитанных от неповреждённой части сети, выполняются автоматически в соответствии с программой интеллектуальной части реклоузеров, путём изменения конфигурации сети с учётом текущей нагрузки, при этом обеспечивается оптимальное качество электроэнергии, доступное при данной аварийной ситуации и режиме работы распределительной сети.

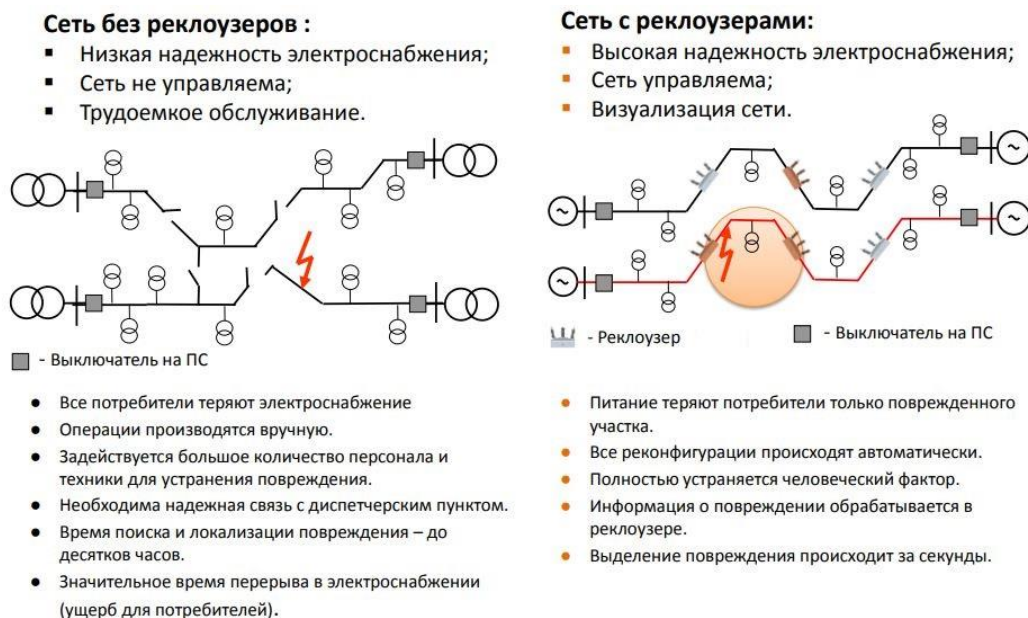


Рис.3 Сравнение аварийного режима работы:
а- сеть без реклоузеров, б- сеть с реклоузерами.

Основными производителями реклоузеров являются такие известные компании, как:

- российская «Таврида Электрик»
- американская «Cooper Power Systems»
- английская «Wipp&Bourn»
- австралийская «NuLec Industries»

В ценовом отношении исходя из принципа «цена-качество», наиболее приемлемыми являются российские реклоузеры «Таврида Электрик» и приборы китайского производства.



Рис.4. Эффект от внедрения реклоузеров

В целом внедрение реклоузеров требует определённых финансовых затрат, связанных не только с покупкой собственно оборудования, но и с проектированием распределительной сети, с оптимальным размещением и программированием реклоузеров, что сказывается на стоимости цифровизации распределительных сетей. Однако полученный технический и экономический эффекты (см. рисунок 4) позволяет окупить затраты на модернизацию в относительно короткое время.

Заключение

Внедрение реклоузеров в распределительные сети является перспективным, технологически оправданным мероприятием и отвечает Концепции технического перевооружения электрических сетей РАО «ЕЭС России».

Области применения реклоузеров для различных схем электроснабжения, стоимостных характеристик удельных ущербов групп потребителей, требуют более глубокого изучения и экономического анализа. Однако уже сегодня можно с полной уверенностью сказать, что проектирование и строительство электрических сетей с применением реклоузеров позволит в недалёком будущем вывести отечественные электрические сети среднего напряжения на новый уровень автоматизации и управления.

Литература

1. Хасанзянов, Б. Ф. О реклоузерах / Б. Ф. Хасанзянов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 7 (66). — С. 188-190. — URL: <https://moluch.ru/archive/66/10970/> ;
2. Жуков В. В., Максимов Б. К., Никодиму В., Боннер А. Децентрализованная система релейной защиты и автоматики в протяженных распределительных сетях с рассредоточенной нагрузкой потребителей// Информационные материалы IV международного семинара по вопросам использования современных компьютерных технологий для АСУ электрических сетей. — М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2000;
3. Владислав Воротницкий. Будущее сетей в американском контексте // Новости электротехники. — 2012. — № 3 (75).

ГОСТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ

Симонов И.В.

В современном мире спрос на экологически чистый транспорт увеличивается по мере развития технологий в транспортостроении. В следствии этого возникает потребность в наличии зарядных станций которые могут эффективно и быстро заряжать электротранспорт.

Введение

Электродвигатели начали замещать традиционные двигатели внутреннего сгорания в ряде Европейских стран. Так в Амстердаме к 2030 году планируют запретить въезд бензиновых и дизельных автомобилей. В ряде других стран существует запрет на въезд в центры городов автомобили не соответствующие экологическим нормам. Все это дает большой толчок к распространению электротранспорта. Однако на сегодняшний день нет единых требований к зарядным станциям. Поэтому необходимо рассмотреть

Постановка проблемы

Имеется несколько стандартов для зарядных станций принятых в Европе и США. Однако нет определенных стандартов и требований по созданию зарядных станций. Поэтому необходимо проанализировать уже существующие параметры зарядных станций, требования к подводимой электроэнергии, а так же их электромагнитную совместимость с окружающими их объектами.

Требования по обеспечению электроэнергии

Качество электроэнергии должно соответствовать определенным нормам, эти нормы определяют по следующим показателям [1]:

- установившееся отклонение напряжения δU_y ($\pm 10\%$ от U_n);
- размах изменения напряжения δU_t (Предельно допускаемые размахи изменения напряжения зависят от частоты повторения изменений напряжения и составляет $\pm 10\%$ от U_n);
- доза фликера P_t ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U (при $U=0.38$ кВ нормально допустимое значение $K_U=8\%$);
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_U(n)$ (допустимые значения определяются по рисунку 1);

В процентах

Нечетные гармоники, не кратные 3, при $U_{ном}$, кВ					Нечетные гармоники, кратные 3**, при $U_{ном}$, кВ					Четные гармоники при $U_{ном}$, кВ				
n^*	0,38	6-20	35	110-330	n^*	0,38	6-20	35	110-330	n^*	0,38	6-20	35	110-330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,0	1,0	0,4										
>25	0,2+	0,2+	0,2+	0,2+										
	+1,3x	+0,8x	+0,6x	+0,2x										
	x25/n	x25/n	x25/n	x25/n										

Рис.1. Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения.

- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K2U (нормально допустимое значение составляет 2%);
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K0U (нормально допустимое значение составляет 2%);
- отклонение частоты Δf (нормально допустимое значение составляет $\pm 0.2\%$);
- длительность провала напряжения $\Delta t_{п}$ (при $U < 20$ кВ $\Delta t_{п} = 30$ с);
- импульсное напряжение $U_{имп}$ (определяют по рисунку 2.);

Номинальное напряжение сети, кВ	0,38	3	6	10	20	35	110	220
Коммутационное импульсное напряжение, кВ	4,5	15,5	27	43	85,5	148	363	705

Рис.2.

- коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$ (определяют по рисунку 3.);

Длительность временного перенапряжения $\Delta t_{перU}$, с	До 1	До 20	До 60
Коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$, о. е	1,47	1,31	1,15

Рис.3.

Нормы, установленные настоящим стандартом (ГОСТ 13109-97), являются обязательными во всех режимах работы

систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных:

- исключительными погодными условиями и стихийными бедствиями (ураган, наводнение, землетрясение и т. п.);
- непредвиденными ситуациями, вызванными действиями стороны, не являющейся

энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии (пожар, взрыв, военные действия и т. п.);

- условиями, регламентированными государственными органами управления, а также связанных с ликвидацией последствий, вызванных исключительными погодными условиями и непредвиденными обстоятельствами.

Вероятные причины изменений качества электроэнергии (КЭ) отображены в рисунке 4.

Свойства электрической энергии	Показатель КЭ	Наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ
Отклонение напряжения (рисунок А.1)	Установившееся отклонение напряжения δU_v	Энергоснабжающая организация
Колебания напряжения (рисунок А.1)	Размах изменения напряжения δU_t Доза фликера P_t	Потребитель с переменной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения (рисунок А.2)	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$	Потребитель с нелинейной нагрузкой
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}	Потребитель с несимметричной нагрузкой
Отклонение частоты	Отклонение частоты Δf	Энергоснабжающая организация
Провал напряжения (рисунок А.1)	Длительность провала напряжения Δt_n	Энергоснабжающая организация
Импульс напряжения (рисунок А.3)	Импульсное напряжение $U_{имп}$	Энергоснабжающая организация
Временное перенапряжение (рисунок А.1)	Коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$	Энергоснабжающая организация

Рис.4.

Следовательно, зарядная станция для электротранспорта должна обеспечивать параметры электроэнергии, описанные выше.

Совместимость зарядных станций с окружающими объектами

Способность технических средств функционировать с заданными параметрами в заданной электромагнитной обстановке, не создавая при этом электромагнитных помех очень важна. Так как в современных электромобилях имеется большое количество электронной аппаратуры, при этом электромагнитные помехи, создаваемые зарядными станциями, не должны наносить вред данным устройствам [2].

При подсоединении индуктивных или емкостных потребителей к сетям низкого напряжения могут возникнуть перенапряжения [3]. Так же при наложении дополнительных отрицательных факторов, таких как срабатывание выключателей защиты, атмосферных разрядов, может возникнуть значительное количество энергии в помехах. Эта энергия определяется по формуле (1)

$$W = \int \frac{u_{\Pi}^2}{R} dt \quad (1)$$

Типы зарядных станций

Существуют два типа зарядных станций в зависимости от типа тока: зарядные станции переменного тока и постоянного тока. Каждая из этих двух типов станций делиться еще на три типа, отличающиеся номинальной мощностью.

Стандарт, принятый в Северной Америке SAE J1772 разделяет зарядные станции на 3 категории:

- 1- Зарядка от обычных бытовых розеток 120 В с максимальным током 12 или 15 А, которые обеспечивают максимальную мощность 1,44 кВт или 1,92 кВт. Здесь активный зарядный элемент находится внутри автомобиля (бортовое зарядное устройство EV).
- 2- Питание может быть от розетки 240 В или от специальной точки зарядки EV (EVSE); Напряжение переменного тока при 240 В с максимальным током 80 А и максимальной мощностью 19,2 кВт. Для 2 категории также используется встроенное зарядное устройство EV.
- 3- Здесь зарядное устройство находится вне платы (это означает, что встроенное зарядное устройство электромобиля обойдено, а зарядная станция подает напряжение постоянного тока непосредственно на батарею через разъем постоянного тока с максимальной мощностью 400 кВт).

Основополагающими параметрами для выбора типа зарядной станции служит допустимое время заряда, для уменьшения этого времени увеличивают мощность станций, что влечет увеличение электромагнитного воздействия. Влияние электромагнитных полей, создаваемое зарядными станциями высокой мощности, частично нивелируются с помощью экранирования этих полей. Однако на данный момент нет способов полностью исключить вредное влияние магнитных полей, при этом максимальное воздействие оказываемой электромобилями достигает 140 мкТл [6]. Магнитные поля, создаваемые электротранспортом, значительно превышают поля создаваемые линиями электропередач.

В Японии существует другой стандарт быстрой зарядки CHAdeMO, он был принят автоконcernами «Nissan», «Mitsubishi», «Subaru», «Toyota» мощность зарядной станций достигает 100 кВт [4],[5].

Были выдвинуты следующие требования к зарядным станциям:

- соответствие всем необходимым стандартам (IEC 61851-1, IEC 62196-2);
- многофункциональность
- наличие нескольких режимов зарядки и подтвержденная совместимость с электромобилями различных производителей;
- защита от воздействия климатических условий и антивандальное исполнение;
- наличие активных систем защиты от перегрузки;
- совместимость с внешними информационными системами и средствами идентификации пользователя;
- долговечность, легко моющаяся конструкция;
- удобство, информативность и простота использования.

Заключение

Для всеобщего распространения электротранспорта необходимо создать сеть зарядных станций, удовлетворяющих не только электрическим нормам, но и обеспечивающие необходимые технико-эксплуатационные параметры. Так же для защиты людей находящихся в машине необходимо применять многослойные экраны, которые уменьшают низкочастотные магнитные поля.

Список используемых источников

1. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. ГОСТ 28279-89 Совместимость электромагнитная электрооборудования автомобиля и автомобильной бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Нормы и методы измерений
3. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
4. Панура А.В. Развитие инфраструктуры электрических заправочных станций / А.В.Панура // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура – 2015 г - №2(4) с23-30.
5. Das H.S. Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review / H.S. Das // Renewable and Sustainable Energy Reviews V 120, 2020
6. Птицына Н.Г. Электромагнитная безопасность электротранспортных систем: основные источники и параметры магнитных полей / Н.Г.Птицына // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2013 г - №2(84) – с 65-71.

МОНИТОРИНГ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОНИЖЕННЫМ ИНДЕКСОМ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Г.С. Русанов, Е.Г. Малюк

Приводится анализ методов мониторинга силовых трансформаторов, имеющих низкий индекс технического состояния. Рассматриваются основные требования к системам мониторинга, их программному обеспечению и общим принципам построения.

Введение

Для новых трансформаторов и трансформаторов, находящихся в нормальном состоянии, основной целью системы мониторинга является выявление дефектных состояний на ранних стадиях, что позволяет минимизировать затраты на эксплуатацию за счет того, что все ремонтные и сервисные воздействия на трансформатор будут осуществляться вовремя и в минимальном объеме. Технические и программные средства таких систем мониторинга должны быть ориентированы на глубокую и чувствительную диагностику дефектных и преддефектных состояний трансформатора [2].

Для трансформаторов, имеющих низкий индекс технического состояния, обычно уже находящихся в критическом состоянии, вопрос о выявлении дефектных состояний не стоит – проблемы явно присутствуют и развиваются. Чаще всего основным вопросом, который должна помочь решить установка системы мониторинга, является вопрос прогнозирования – сможет ли контролируемый трансформатор безаварийно доработать определенный период времени, например год. Этот интервал времени зависит от того, когда появится реальная возможность модернизировать трансформатор, а в большинстве случаев просто заменить его.

Технические, а особенно программные средства таких систем мониторинга, должны быть ориентированы на анализ возможных сценариев развития технического состояния трансформатора, чтобы в нужный момент сформировать обоснованные рекомендации о возможности или невозможности дальнейшей эксплуатации трансформатора.

Постановка проблемы

Выбор технических средств, позволяющих создать систему мониторинга критических силовых трансформаторов, отличается от выбора технических средств для новых трансформаторов и имеет отличительные особенности.

Во-первых, поскольку система мониторинга критических трансформаторов не требует проведения надежной диагностики дефектов на самых ранних этапах возникновения, требования к техническим средствам упрощаются. Основной их задачей является контроль уже существующих дефектных состояний и выявление новых, но только существенных дефектов. Поэтому объем и стоимость технических средств такой системы могут быть минимальными.

Технические средства системы мониторинга трансформаторов с низким индексом технического состояния должны обеспечивать контроль только критических параметров, непосредственно влияющих на возможность их дальнейшей эксплуатации.

Например, в такой системе мониторинга нет никакой необходимости контролировать восемь растворенных в масле газов. Для корректной оценки технического состояния трансформатора вполне достаточно контроля содержания водорода и суммы горючих газов. При этом нужно учитывать, что критический трансформатор уже находится на учащенном периодическом контроле растворенных газов при помощи хроматографов. И тем более, что в большинстве случаев диагностические возможности метода контроля растворенных в масле газов в режиме «on-line» перекрываются возможностями другого, более дешевого метода контроля частичных разрядов в изоляции.

В то же время контроль влагосодержания в масле трансформатора является обязательным, поскольку это критический параметр, однозначно характеризующий стойкость масла к электрическому пробое [3]. Эта функция должна входить в состав современных приборов контроля растворенных газов в масле трансформатора.

При выборе технических средств для системы диагностического мониторинга критических трансформаторов необходимо таким же образом анализировать и оптимизировать технические средства каждого диагностического метода.

Во-вторых, для систем мониторинга критических трансформаторов иначе стоит вопрос о сроке службы технических и программных средств самой системы мониторинга.

Если система мониторинга устанавливается на новом трансформаторе, то автоматически предполагается, что она будет работать в течение всего срока эксплуатации трансформатора. Обычно это время исчисляется десятками лет.

Если система мониторинга устанавливается на критическом трансформаторе, то она тоже должна служить весь срок эксплуатации трансформатора, но в этом случае этот срок будет на порядок меньше, не более одного – нескольких лет.

Возможны два варианта оптимизации этой ситуации – или создание для критических трансформаторов «одноразовых и дешевых» систем мониторинга, или создание условно «мобильных» систем мониторинга, которые можно было бы достаточно оперативно монтировать и демонтировать на критических трансформаторах.

Для силовых трансформаторов, этих дорогих и ответственных элементов энергетического транзита, лучшим вариантом является создание условно мобильных систем мониторинга, так как термин «дешевая одноразовая система» обычно практически однозначно соответствует термину «система уменьшенного срока службы и пониженной надежности».

Программные средства системы мониторинга

Программные средства системы мониторинга критических трансформаторов должны обладать иерархической структурой и включают в себя несколько уровней регистрации, обработки информации, мониторинга и диагностики технического состояния трансформатора, выработки и принятия решений.

Стандартная поставка технических и программных средств такой системы включает в себя 4 (максимум до 5) уровня регистрации, обработки информации и принятия решения о техническом состоянии контролируемого трансформатора.

Уровень I (уровень первичных датчиков)

Технический уровень сбора исходной информации для мониторинга. Он включает в себя все первичные датчики системы мониторинга, а также все установленные на трансформаторе дополнительные датчики и приборы, контролирующие состояние трансформатора.

Уровень II (уровень модулей и приборов системы мониторинга)

Технический и программный уровень первичной обработки данных от датчиков, уровень осуществления параметрической диагностики работы трансформатора. Этот уровень диагностики реализован на основе программных возможностей модулей и приборов.

Уровень III (диагностический уровень подстанции)

Программный уровень комплексной экспертной оценки технического состояния трансформаторов. Представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ). Уровень III технически реализован в виде отдельного шкафа АРМ с компьютером и средствами связи, устанавливаемого в щитовом помещении подстанции.

Уровень IV (диагностический уровень энергопредприятия)

Технический и программный уровень визуализации информации о состоянии оборудования всех подстанций энергопредприятия. Представляет собой шкаф - автоматизированное рабочее место (АРМ). При необходимости на этом уровне диагностики производится оценка рисков возникновения дефектов в наиболее ответственном оборудовании. На этом уровне возможно проведение интегральной диагностики влияния состояния трансформатора (трансформаторов) на состояние транзита электроэнергии.

Уровень V (уровень контроля транзита энергии)

Самый высокий уровень интеграции информации от систем мониторинга. Это даже может быть САЦ РОССЕТИ в г. Москва. На этом уровне собирается информация от всех систем мониторинга, установленных в энергосистемах России.

Программное обеспечение, поставляемое с системами мониторинга трансформаторов, должно включать в себя базовые математические и диагностические модели.

Для решения всех задач, связанных с мониторингом критических трансформаторов, получаемая диагностическая информация должна оперативно пересылаться на более высокие уровни АСУ-ТП. Программное обеспечение должно обеспечивать подготовку и интеграцию информации в систему АСУ ТП с использованием протокола МЭК 60870-5-104. Это позволяет оперативно и безопасно использовать существующие информационные сети заказчика.

Средства передачи результатов работы системы мониторинга на уровень АСУ-ТП

Основными задачами, решаемыми при интеграции системы мониторинга в АСУ ТП, являются:

- Получение в АСУ ТП оперативной информации о состоянии трансформатора в объеме, необходимом для оценки оперативным персоналом текущей ситуации и принятия решений.
- Возможность получения первичной информации о состоянии трансформатора от других подсистем АСУ ТП без использования в системе мониторинга дополнительных датчиков.
- Локальный доступ удаленным пользователям к «разрешенным» первичным данным и результатам работы системы мониторинга с использованием ресурсов АСУ ТП, в том числе WEB-доступ.
- Удаленный контроль правильности функционирования и исправности технических и программных средств системы мониторинга.
- Всем этим требованиям соответствует программное обеспечение мониторинга критических трансформаторов iNVA, работающее с приборами и модулями серии TDM фирмы ДИМРУС.

Выбор системы мониторинга трансформаторов с низким индексом технического состояния

При выборе оптимального состава технических средств для организации мониторинга трансформаторов с низким индексом технического состояния необходимо ориентироваться на следующие критерии:

Конфигурация технических средств должна обеспечивать необходимые диагностические свойства при минимуме экономических затрат.

Выбранные технические средства системы мониторинга должны оперативно устанавливаться (переустанавливаться) на контролируемом трансформаторе «без изменения его конструкции», т. е. не требовать разработки технического проекта и быть легко и безопасно монтируемыми.

Результаты работы экспертной части системы мониторинга должны быть представлены на верхний уровень АСУ-ТП в виде минимального объема информации, отражающего текущее техническое состояние трансформатора, а также имеющиеся тенденции в изменении состояния трансформатора с элементами прогнозирования будущих изменений.

Одним из вариантов технических средств и программного обеспечения системы мониторинга технического состояния трансформаторов является система мониторинга, разработанная и производимая отечественной фирмой ДИМРУС. Она отвечает общим требованиям, предъявляемым к системам мониторинга трансформаторов с низким индексом технического состояния, и имеет на данный момент оптимальное соотношение «цена – качество».



Рисунок 1

Система мониторинга трансформатора создается на основе одного компактного измерительного прибора марки TDM-Oil [1] производства фирмы ДИМУС (рис 1). Этот прибор вставляется в бак трансформатора через переходный фланец, монтируемый на сливном кране бака трансформатора.

Прибор TDM-Oil имеет четыре датчика, которые располагаются непосредственно внутри бака:

1. Датчик влагосодержания в масле бака трансформатора. При помощи этого датчика контролируется очень важный параметр - электрическая прочность масла.

2. Датчик частичных разрядов СВЧ диапазона частот. Этот встроенный в бак датчик позволяет регистрировать частичные разряды в изоляции с высокой степенью достоверности, так как он экранирован от внешних помех баком трансформатора. При помощи датчика контролируется наличие разрядов в трансформаторе, что практически полностью заменяет диагностику на основе анализа растворенных газов, в некоторых случаях даже с большей достоверностью.

3. Датчик температуры бака трансформатора. При помощи этого датчика производится контроль тепловых режимов работы и оценка эффективности работы системы охлаждения.

4. Датчик вибрации в баке трансформатора. При помощи этого датчика контролируется общее техническое состояние конструкции трансформатора и качество прессовки обмоток и сердечника.

К достоинствам данной системы мониторинга следует отнести:

- Минимальный объем первичной информации, достаточный для проведения комплексной оценки состояния трансформатора.
- Относительно невысокая стоимость технических средств системы мониторинга.

- Простота монтажа и демонтажа, позволяющая при необходимости перемонтировать систему с одного трансформатора на другой.

Выводы

Внедрение системы мониторинга состояния силовых трансформаторов с низким уровнем технического состояния позволяет оптимизировать техническую эксплуатацию силовых трансформаторов в пределах их жизненного цикла, при этом решаются следующие проблемы:

- Повышение надёжности электроснабжения и качества электрической энергии.
- Обеспечивается безаварийная эксплуатация дорогостоящего оборудования подстанций.
- Обеспечивается своевременный вывод из эксплуатации силовых трансформаторов, позволяющий осуществить восстановление их технических характеристик с возможностью дальнейшей эксплуатации.
- При эксплуатации силовых трансформаторов по техническому состоянию появляется возможность планирования очередности вывода из эксплуатации силовых трансформаторов в зависимости от степени их старения.

Список использованных источников

1. Русов В.А. Диагностический мониторинг высоковольтных силовых трансформаторов/ В.А. Русов – Екатеринбург: Издательство УрГУПС, 2015г.- 159с.
2. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования/ В.А. Русов – Екатеринбург: Издательство УрГУПС, 2011г. – 367с.
3. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностике высоковольтного оборудования/ В.П. Вдовико – Новосибирск: Наука, 2007. – 155с.

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЯХ

Е.А. Петрушина, А.В. Горпинченко

Когда аналитика данных применяют различные статистические модели к данным, которые они исследуют, они могут принимать и интерпретировать информацию стратегически. Вместо того, чтобы просеивать необработанные данные, эта практика позволяет им выявлять взаимосвязи между переменными, делать прогнозы относительно будущих наборов данных и визуализировать эти данные.

Имитационное моделирование может оказывать поддержку электроэнергетическим компаниям, которые осуществляют производство и распределение электроэнергии, так как электроэнергетика сталкивается с растущими требованиями, включая устаревшую инфраструктуру, надежность и регулирование.

Введение

Целью и задачами данной статьи являются: обеспечение безопасного способа тестирования и изучения различных сценариев; визуальные эксперименты с имитационными моделями; анимировать в 2D/3D, что позволяет легче проверять, передавать и понимать концепции и идеи; наблюдение за поведением системы во времени на любом уровне детализации; захватывание гораздо больше количество деталей, чем аналитическая модель, обеспечивая повышенную точность и более точное прогнозирование; количественная оценка риск и более надежные решения.

Статистическое моделирование – это процесс применения статистического анализа к набору данных. Статистическая модель представляет собой математическую модель наблюдаемых данных [1].

Математическая модель представляет собой описание системы, используя математические понятия и язык. Процесс разработки математической модели называется математическим моделированием.[2]

Одним из видов математической модели, является имитационное моделирование. Это процесс создания и анализа цифрового прототипа математической модели для прогнозирования ее характеристик в реальном мире.

Имитационное моделирование может оказывать поддержку электроэнергетическим компаниям, которые осуществляют производство и распределение электроэнергии, так как электроэнергетика сталкивается с растущими требованиями, включая устаревшую инфраструктуру, надежность и регулирование.[3]

Имитационное моделирование включает в себя одну из ветвей, моделирование дискретных событий. Оно моделирует эксплуатацию системы как последовательность событий. Каждое событие происходит в определенный момент времени и отмечает изменение состояния в системе. [4]

Имитационное моделирование дискретных событий для производства и распределения электрической энергии

Рассмотрим две основные модели данных: для системы производства электрической энергии и для системы распределения электрической энергии.

Рассмотрим модели данных для производства электрической энергии, какая из них может хранить сведения об объектах производства электроэнергии, владельцах, произведенной энергии и связанных с этим расходах.

Для начала ответим на три основных вопроса.

1. Где и как вырабатывается электрическая энергия?

Электрическая энергия производится на электростанциях. Они различаются во многих отношениях, но наиболее важным является используемое топливо. Гидроэлектростанции используют проточную воду для питания ротора; ветровые турбины используют энергию ветра. Большинство других типов электростанций используют тепловую энергию (от сжигания различных видов топлива) для производства и управления мощностью пара.

2. Как это влияет на затраты и убытки?

Нет реальной разницы между производством электрической энергии и производством любого другого предмета. Нам понадобится рабочая сила, затраты на топливо и затраты на обслуживание или модернизацию.

3. Эта модель ограничена только производством электроэнергии?

Нет. Эту модель можно использовать для других объектов производства энергии, таких как нефте- и газоперерабатывающие заводы, теплоцентрали и т.д.

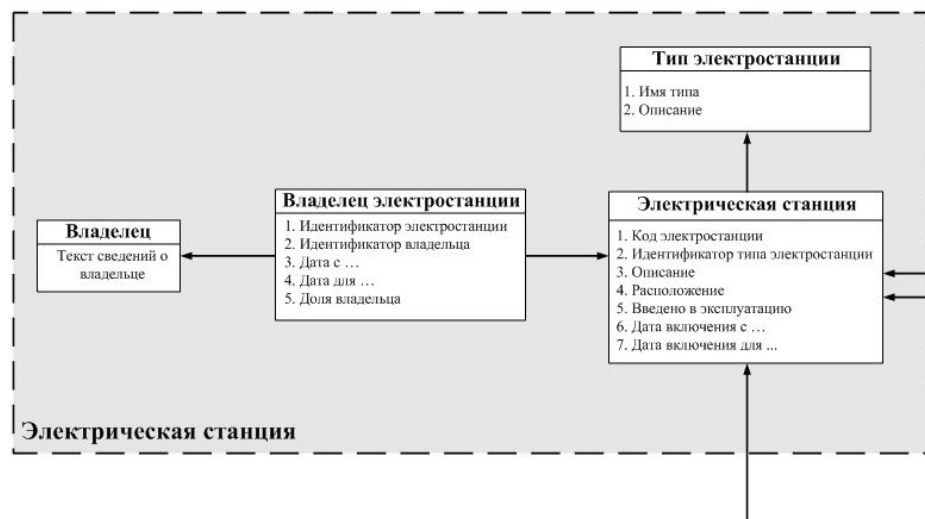


Рисунок 1. Первая секция модели данных «Электрическая станция»

Предметная область содержит четыре таблицы, описывающие все объекты, используемые в производстве электрической энергии. Мы предлагаем хранить общую информацию для каждой электростанции, используемой электрической компанией.

- «Код электрической станции» - используем для обозначения завода.
- «Идентификатор типа электрической станции» - обозначает тип установки.
- «Описание» - вся информация, связанная с этой электростанцией.
- «Расположение» - расположение электростанции.
- «Введено в эксплуатацию».
- «Дата включения с ...» - дата ввода в эксплуатацию.

- «Дата включения для ...» - дата, когда этот план питания перестал быть активным в нашей системе.

Таблица «Тип электрической станции» - это словарь, содержащий различные типы электростанций. Атрибут «Имя типа» является обязательным и может содержать только уникальные значения. Можно ожидать хранения таких типов, как «гидроэлектростанция», «тепловая электростанция», «атомная электростанция», «солнечная электростанция» и «ветровая электростанция». Обязательный атрибут «Описание» хранит более подробное описание каждого типа установки.

Остальные две таблицы относятся в этой предметной области к владельцам установки. Может быть, компания владеет одними заводами или же имеет долю в других сферах. Или, может быть, компания хочет отслеживать заводы, которыми ранее владели, или бывших владельцев вновь приобретенных заводов. Эти таблицы позволят управлять всей информацией.

«Владелец» таблица содержит список всех хозяйствующих субъектов, которые могли бы владеть любым заводом.

В таблице «Владелец электростанции» перечислены все совместные владения, связанные с заводами компании. Атрибуты в таблице:

- «Идентификатор электростанции».
- «Идентификатор владельца» - кому принадлежит завод или доля.
- «Дата с ...» - дата начала владения.
- «Дата для ...» - дата окончания владения, если есть.
- «Доля владельца» - определяет долю владения для этого завода и владельца.

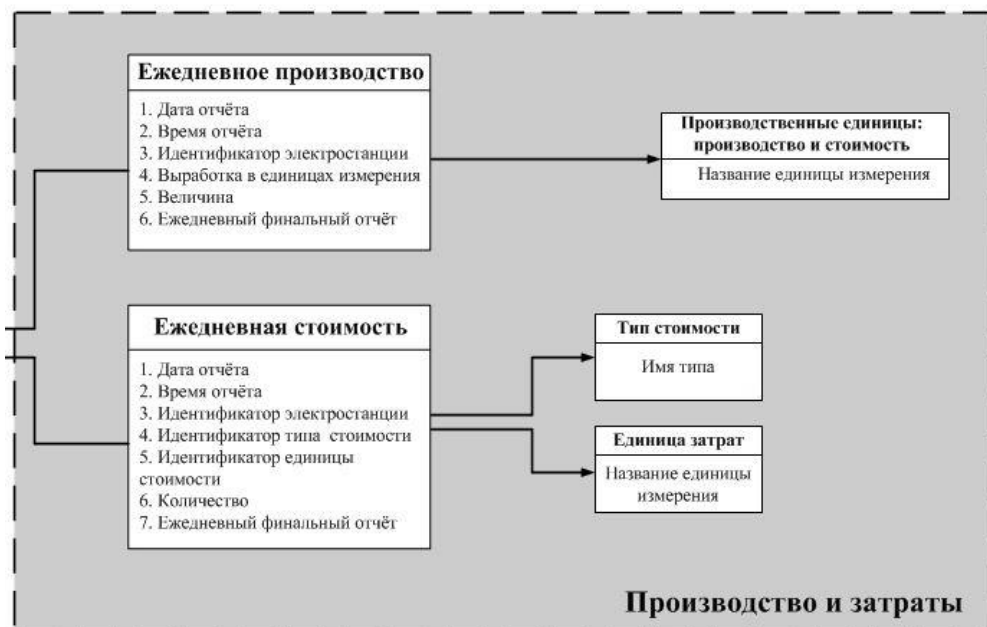


Рисунок 2. Вторая секция модели данных «Производство и затраты»

В «Производство и затраты» предметной области хранится информация о материале (например, топливе) и финансовых затратах, и результатах.

Начнем с производственной отрасли. Она состоит из двух таблиц: «Ежедневное производство» и «Производственная единица». В то время как в «Ежедневное

производство» хранится фактическая мощность электростанции, таблица «Производственная единица» определяет используемые единицы. Ввод данных может быть ручным или автоматическим. Идея состоит в том, что мы будем сохранять данные несколько раз в течение дня, помечая последние данные как окончательные для этой даты и той электростанции. Если мы храним ежечасные данные, мы можем легко сообщить о таких вещах, как «Это был ежедневный статус производства на прошлой неделе до 12.00».

Атрибуты в этой таблице:

- «Дата отчёта» и «Время отчёта».
- «Идентификатор электрической станции».
- «Выработка в единицах измерения» - ссылка на единицу, используемую для измерения количества произведенной электроэнергии.
- «Величина» - фактическое количество, произведенное в течении «Дата отчёта» до «Время отчета» (например, выработка электроэнергии 25 июня с 9.00 до 15.00).
- «Ежедневный финальный отчёт» -обозначает итоговую запись на отчётную дату записи электростанции и все другие записи на эту дату и электростанции представляют собой только ежечасные снимки.

«Производственная единица» - эта таблица представляет собой простой словарь, который содержит только уникальные значения для единственного атрибута «Название единицы измерения». Ожидаемо, что единица, используемая для измерения выработки энергии, обычно будет в ГВт/ч или ТВт/ч – оба эти показателя измеряют энергию, произведенную с течением времени.

Таблица «Производственная единица» представляет собой словарь, который содержит только уникальные значения для единственного атрибута «название единицы измерения».

Теперь кратко о затратах. В таблице «Ежедневная стоимость» будем хранить все возможные расходы, как связанные с обычной деятельностью, так и «специальные» расходы. Атрибуты данной таблицы, представлены на рисунке 2.

Имитационная модель дискретных событий энергопотребления состоит из двух основных предметных областей:

- распределительная сеть;
- локальная сеть.

Третья секция модели энергопотребления – распределительная сеть. Предметная область состоит из восьми таблиц. В ней будут храниться все данные, необходимые для описания транспортировки энергии от электростанции к локальной сети.

Сеть состоит из подстанций и линий, которые их соединяют. Подстанции служат разным целям и имеют разные типы. Система сети также имеет устройства, такие как трансформатора или переключатели, которые бывают различных видов.

Подстанции в распределительной сети соединены с электрическими станциями, друг с другом и локальной сетью. В этой предметной области рассмотрены подключения к электростанциям и другим подстанциям: узел электростанции; распределяющая подстанция; узел подстанции; линия: распределительная сеть; линейный блок; тип подстанции; ежедневная передача; производственная передача.

Список подстанций хранится в таблице «Распределительная подстанция». Ее атрибутами являются: уникальный код, обозначающий конкретную подстанцию; ссылка на словарь, который обозначает тип и подтип подстанции; дата, когда

подстанция стала частью сети, то есть дата ввода ее в эксплуатацию и дата, когда подстанция была удалена из сети.

В таблице «Узел электрической станции» хранятся все соединения между электростанцией и распределительной сетью. Эти соединения, являются отправными точками для питания, выходящего из распределительной сети. Для каждого этапа, хранятся следующие данные: электростанция (как точка начала линии); тип линии, используемой для этого соединения; детали соединения; подстанция, которая является отправной точкой и которая является конечной точкой линии.

Все соединения между подстанциями, которые являются частью сети передачи, хранятся в «Узел подстанции», за исключением: «Предыдущая питающая подстанция» и «Следующая питающая подстанция».

Далее следует таблица «Линия», в которой определены все типы линий, которые мы будем использовать для подключения электростанций и устройств в сетях передачи и локальных сетях. Атрибуты используемые для описания этих строк: тип линии – это уникальное имя типа линии; детали линии; идентификатор линии – единица, используемая для хранения номинальной емкости линии; диапазоны максимальный и минимальный – рабочий диапазон для этой линии.

Список всех единиц хранится в словаре «Линейный блок». Здесь мы будем хранить единицы измерения, такие как вольт и киловольт.

Фактические данные хранятся в «Ежедневная передача». Значения в этой таблице собираются в predetermined время и вставляются автоматически.

На рисунке 3 изображена третья секция модели данных.



Рисунок 3 Третья секция модели данных «Распределительная сеть».

Предметная область является сложной. Она содержит все таблицы, необходимые для хранения всех соединений от сети передачи до клиента. Она также будет хранить детали клиентов и энергопотребление: местный узел сети; локальная подстанция; тип подстанции; линия: локальная сеть; ежедневная локальная передача; единица производства; потребляемая энергия; узел электросчётчика; электросчётчик; клиентский контракт; клиент; тип клиента.

В таблице «Локальная подстанция» хранятся все локальные сетевые подстанции, которые напрямую связаны с клиентами (потребителями). Она хранит в себе: уникальный код, обозначающий конкретную подстанцию; идентификатор типа подстанции; дата ввода в эксплуатацию и вывода.

Нам необходимо подключить распределительную сеть к локальной сети таким же образом, как мы подключили электростанции к распределительной сети. Именно это

будет делать таблица «Местный узел сети». Мы будем хранить ссылки на начальную точку линии, конечную точку линии и используемый тип линии. Оставшиеся три атрибута обозначают, если подстанция в настоящее время активна (рис.4).

Счётчик электроэнергии измеряет энергию, потребляемую в наименьшей возможной сети: дома и другие здания. Для каждого клиента счётчик обычно предоставляется электроэнергетической компанией, мы будем хранить это в таблице и для каждого определим: уникальный код, который обозначает это устройства; активность; дата ввода в эксплуатацию и вывода.

Количество энергии, передаваемой через подстанции к локальной сети, хранится в «Ежедневной локальной передаче». Тут будет использоваться структура, для измерения потребления энергии каждого счётчика; хранить ежедневные и ежечасные отчёты.

Последние три таблицы в этой предметной области связаны с клиентами. Они классифицируются по типу, определяемому компанией.

Словарь «Тип клиента» имеет только один атрибут «Тип имени». Значения, хранящиеся в этом словаре, используются для классификации клиентов по типу, определенному компанией.

В таблице «Клиент» хранится список всех клиентов, как юридических, так и частных лиц. Последняя таблица в этой предметной области «Клиентский контракт» будет хранить детали контракта. На рисунке 4 изображена четвертая секция модели данных.

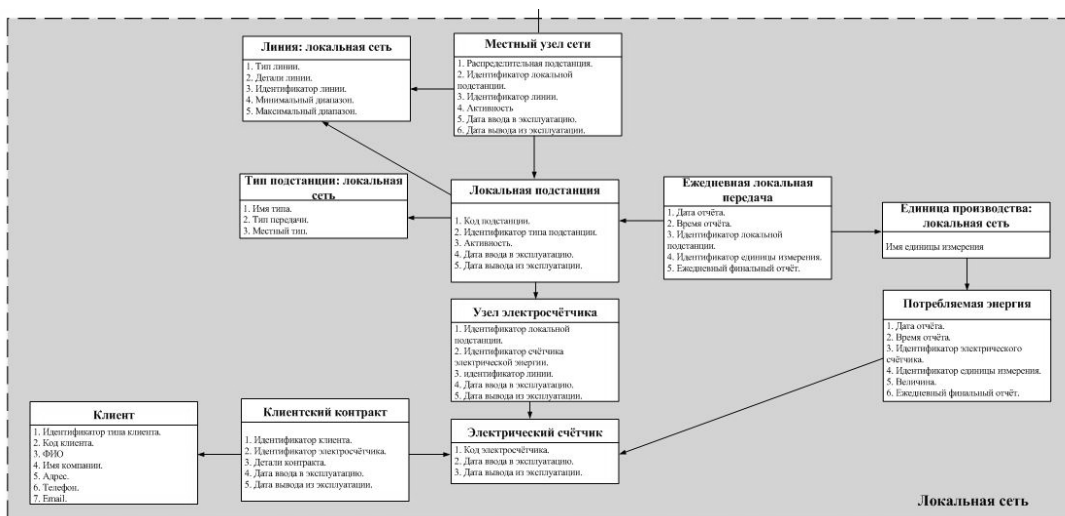


Рисунок 4 Четвертая секция модели данных «Локальная сеть».

Выводы

Энергетика работает во всех сегментах промышленного энергетического рынка, от выработки и поставки энергии - как ископаемой, так и возобновляемой – до доставки. Наш опыт в последнем случае варьируется от альтернатив интеллектуальных энергосистем до оптимизированной эффективности конечного использования. Мы знаем рынки; каждый день наши инженеры и аналитики создают новые исследовательские и аналитические продукты, которые вызывают дискуссии о возможностях и улучшениях. Мы понимаем запутанность и понимаем последствия; Мы пережили взлеты и падения, связанные с промышленной энергией, с

правительственными, ассоциативными и отраслевыми клиентами на протяжении более трех десятилетий. Мы на практике с деталями; наша политическая, нормативная и статистическая информация, полученная из опубликованных и сетевых источников, позволяет принимать разумные решения.

Проведение сеансов стратегического планирования и практических упражнений, чтобы помочь правительству и предприятиям решать предаварийные проблемы, распознавать потенциально опасные ситуации и инициировать быстрые ответные действия.

Растущая зависимость общества от информационных технологий привела к развертыванию огромных вычислительных ресурсов. Затраты на электроэнергию при эксплуатации этих ресурсов в сочетании с экологическими проблемами сделали энергосберегающие вычисления одной из основных задач. Чтобы сделать энергоэффективные вычисления правилом, а не исключением, необходимо, чтобы исследователи и разработчики систем использовали правильный набор методов и инструментов. Они включают измерение, анализ и контроль энергопотребления с различной степенью детализации.

Список использованных источников

1. Статистическое моделирование [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энцикл. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Статистическое_моделирование
2. Математическое моделирование [Электронный ресурс] // Профессор А.Н. Боголюбов «Основы математического моделирования»– URL: <http://math.phys.msu.ru/data/27/OMM1.pdf>
3. Имитационное моделирование [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энцикл. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Имитационное_моделирование
4. Дискретно-событийное моделирование [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энцикл.– URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дискретно-событийное_моделирование

АНАЛИЗ РЕСУРСА МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ЕГО РАБОТЫ

Пантюхов С.В.

Работа посвящается применению методики определения остаточного ресурса вновь вводимых в эксплуатацию масляных трансформаторов напряжением 10/0,4кВ, которая предназначена для применения при расчетах и прогнозировании режима работы участка сети. Основой расчета является применение математической модели расчета срока службы целлюлозной изоляции силового трансформатора, зависящей от тепловых процессов в трансформаторе, а также процессов окисления трансформаторного масла и влагосодержания целлюлозной изоляции.

ВВЕДЕНИЕ

Существующие методики оценки ресурса трансформатора, расчета его характеристик, тепловых моделей и моделей его старения требуют наличие большого количества исходных данных мониторинга параметров трансформаторного оборудования и применимы только для трансформаторов большой мощности от 60МВА и напряжения от 110кВ. Иные методические материалы рассматривают только процессы для установившегося теплового и нагрузочного режима трансформатора. В данной работе рассмотрим расчет ресурса для масляного трансформатора 10/0,4 кВ с учетом динамически меняющихся внешних факторов эксплуатации.

Постановка задачи

В ходе эксплуатации нередко встречается практика, когда для двухтрансформаторной подстанции, в целях сохранения оборудования и продления ресурса трансформаторов используют режим работы при котором один трансформатор Т1 полностью отключают (снимают напряжение с первичной обмотки), а второй Т2 работает на всю нагрузку подстанции, после определенного промежутка времени (от нескольких дней до нескольких недель), производят зеркальные переключения – Т1 под нагрузкой, Т2 отключен. Проанализируем подобный режим эксплуатации. В качестве объекта анализа используется двухтрансформаторная подстанция 2БКТП-10кВ с двумя трансформаторами по 630 кВА. Период переключений примем равным одной неделе. Общее время моделирования при

Таблица 1 – Характеристики трансформатора ТМ-630 10/0,4 кВ

$P_{\text{хх'}}$ кВт	$P_{\text{кном'}}$ кВт	$M_{\text{серд'}}$ кг	$M_{\text{обм'}}$ кг	$M_{\text{масл'}}$ кг	$R_1,$ °С/кВт	$R_2,$ °С/кВт	$R_3,$ °С/кВт	$C_{\text{серд'}}$ кВт·ч/°С	$C_{\text{обм'}}$ кВт·ч/°С	$C_{\text{масл'}}$ кВт·ч/°С	$U_{\text{ВН}}$ кВ	$U_{\text{НН}}$ кВ
1,56	7,6	900	226	770	16,03	3,03	6,0	0,1155	0,0581	0,428	10	0,4

Где $P_{\text{хх'}}$, $P_{\text{кном'}}$ – потери холостого хода и потери КЗ соответственно, из паспорта трансформатора; $M_{\text{серд'}}$, $M_{\text{обм'}}$, $M_{\text{масл'}}$ – масса магнитопровода, обмотки, масла

соответственно; R_1, R_2, R_3 - тепловые сопротивления магнитопровода, обмотки, масла соответственно; $C_{серд}, C_{обм}, C_{масл}$ - теплоемкость магнитопровода, обмотки, масла соответственно ($C = C_{уд} \cdot M$); $U_{ВН}, U_{НН}$ - номинальное напряжение первичной обмотки, вторичной соответственно;

Модель графика температуры охлаждающей среды

В качестве графика изменения температуры окружающей среды применяется выражение, состоящее из двух синусоид, которое можно дополнить составляющей отвечающей за среднегодовой рост средней температуры воздуха. Компонента многолетних климатических изменений учитывает вероятность изменения среднегодовой температуры окружающей среды вследствие влияния климатических изменений, таких как потепление климата

$$\theta_a = \left(\theta_{ay} + A \cdot \cos \frac{2\pi}{365} (N_{dc} - N_{max.g}) + B(N_{dc}) \cdot \cos \frac{2\pi}{24} (N_{\text{ч}} - N_{max.c}) \right) + \theta_g \quad (1)$$

где θ_{ay} - среднегодовая температура воздуха (10°C); A - амплитуда годового изменения среднесуточной температуры окружающей среды (18°C); B - амплитуда суточного изменения температуры окружающей среды (6°C); $N_{max.g}$ - номер самого теплого дня в году (200); $N_{max.c}$ - номер самого теплого часа в сутках (12); N_{dc} - номер дня в году; $N_{\text{ч}}$ - номер часа в сутках; θ_g - компонента многолетних климатических изменений ($2/100, ^\circ\text{C}/\text{год}$);

Табличные значения величин предполагается получать из соответствующих СНИП [1].

Модель графика нагрузки

В качестве модели токовой нагрузки воспользуемся суммой синусоиды годового изменения тока и данных суточного мониторинга, определяющих форму суточного графика нагрузки (Рисунок 1).

$$I_{nag} = \left(I_{mid} + A \cdot \cos \frac{2\pi}{365} (N_{i.d} - N_{i.d.max}) + I(t)_{сут} \right) \quad (2)$$

где I_{mid} - среднегодовое значение тока нагрузки; A - амплитуда годового изменения среднесуточного значения тока нагрузки; $N_{i.d.max}$ - номер дня в году, соответствующего максимуму нагрузки (30); $N_{i.h.max}$ - номер часа в сутках, соответствующего максимуму нагрузки (20); $N_{i.d}$ - номер дня в году;

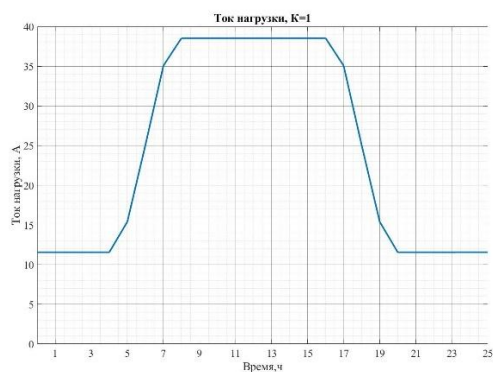


Рисунок 1 – График суточной нагрузки на трансформатор

Данный график суточной нагрузки характерен для потребления небольшого предприятия не имеющего непрерывного цикла производства.

График тока нагрузки и температуры охлаждающей среды представлены на Рисунок 2

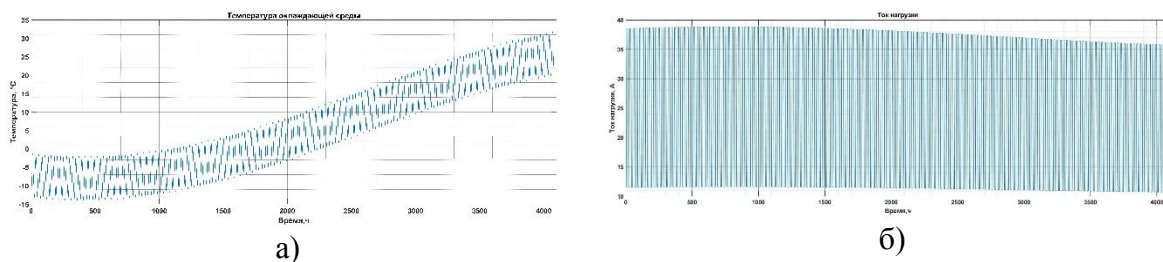


Рисунок 2 – а) График температуры охлаждающей среды для 170 дней (0 соответствует 1 января), б) График тока нагрузки трансформатора для 170 дней (режим 1) коэффициент загрузки равен 1.

Для режима работы 2 график токовой нагрузки будет иметь точно такой же вид как и для режима один только вдвое большую амплитуду и прерывистый характер тока нагрузки 7 дней в работе, 7 дней отключен (Рисунок 3).

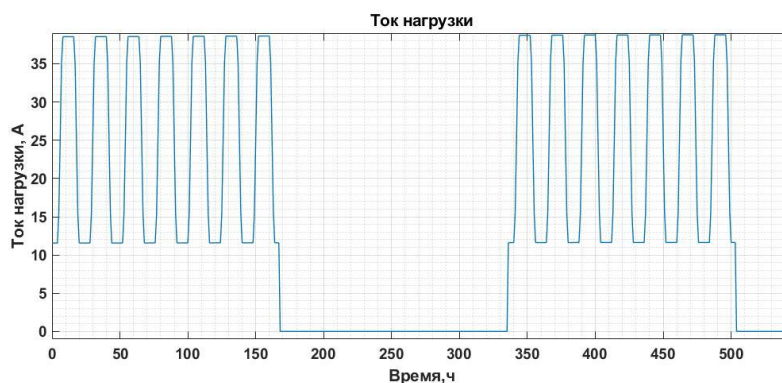


Рисунок 3 – График токовой нагрузки (режим 2).

Для первого режима считаем, что нагрузка на каждую секцию сборных шин подстанции одинаковая. Так нормальному режиму работы подстанции, при котором полная мощность нагрузки будет равняться, например, 504 кВА на каждый трансформатор будет приходиться по 252 кВА ($K_{max}=0.4$), при попеременном режиме работы трансформаторов на каждый трансформатор будет приходиться полная нагрузка в 504 кВА ($K_{max}=0.8$). Для рассмотрение нет необходимости рассчитывать сразу два трансформатора, достаточно будет сравнить один в двух режимах работы. В Таблица 2 отражён список соответствий режимов нагрузки, для которых производится сравнение.

Таблица 2 – Таблица соответствий режимов работы

Нагрузка на Т1	Нагрузка на Т1
Режим 1 - Нормальный режим работы.	Режим 2 - Попеременный режим работы
$K_{max}=0.4$	$K_{max}=0.8$
$K_{max}=0.45$	$K_{max}=0.9$
$K_{max}=0.50$	$K_{max}=1$
$K_{max}=0.55$	$K_{max}=1.1$
$K_{max}=0.6$	$K_{max}=1.2$

Модель тепловых процессов в трансформаторе

В общем виде процесс теплообмена в трансформаторе можно описать следующим образом: в процессе охлаждения обмотка и магнитопровод отдают тепло маслу, масло путем конвекции и теплопроводности отдает тепло стенкам бака, который охлаждается путем излучения и теплопроводности, отдавая тепло охлаждающей (окружающему воздуху) среде. Прямого теплообмена между обмоткой и магнитопроводом нет. Такой процесс описывается системой дифференциальных уравнений [2], с нулевыми начальными условиями.

$$\begin{cases} C_1 \cdot \left(\frac{d\theta_c(t)}{dt} - \frac{d\theta_a(t)}{dt} \right) + \frac{\theta_c(t) - \theta_m(t)}{R_1} = \Delta P_{\text{хх}} \\ C_2 \cdot \left(\frac{d\theta_{\text{ннт}}(t)}{dt} - \frac{d\theta_a(t)}{dt} \right) + \frac{\theta_{\text{ннт}}(t) - \theta_m(t)}{R_2} = \Delta P_{\text{к.ном}} \cdot \frac{S}{S_{\text{ном}}} \\ C_3 \cdot \left(\frac{d\theta_m(t)}{dt} - \frac{d\theta_a(t)}{dt} \right) + \frac{\theta_m(t) - \theta_a(t)}{R_3} - \frac{\theta_c(t) - \theta_m(t)}{R_1} - \frac{\theta_{\text{ннт}}(t) - \theta_m(t)}{R_2} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

где $\theta_c, \theta_{\text{ннт}}, \theta_m$ - температура магнитопровода, обмотки (в наиболее нагретом месте), верхних слоев трансформаторного масла, соответственно, °С; $S, S_{\text{ном}}$ – текущая и номинальная мощность трансформатора, соответственно; тепловые сопротивления определяются выражениями (4)

$$\begin{cases} R_1 = \frac{\vartheta_{\text{с.м}}}{\Delta P_{\text{хх}}}; \\ R_2 = \frac{\vartheta_{\text{ннт.м}}}{\Delta P_{\text{к.ном}}}; \\ R_1 = \frac{\vartheta_{\text{м}}}{\Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{к.ном}}} \end{cases} \quad (4)$$

Модель влияния влагосодержания изоляции

Выражение, определяющее относительную скорость старения вызванную повышение влагосодержания в целлюлозной изоляции - V_W приводится в [3] и [4], оно строится на основании приведенного в [5] графика зависимости скорости старения от влагосодержания изоляции. Где при $W = 0.3\%$ скорость старения равняется $V_W = 1$, а при $W = 1$ скорость старения увеличивается в 6- 16 раз. $V_W = 6-16$ раз (среднее 11), $W=4\%$ для которой $V_W = 12-45$ раз (средне 28,5). Аппроксимация степенной функцией для данных значений имеет вид.

$$V_W = 31.14 \cdot W(t)^{0.3216} - 20.14 \quad (5)$$

В [5] указывается, что влагосодержание в бумажной изоляции W растет линейно от 0,3% до 4% в течении 2,5 лет, выражение для W будет иметь вид

$$W(t) = 1,48t + 0.3 \quad (6)$$

Модель влияния кислотности масла

В явном виде данных о влиянии кислотности трансформаторного масла на скорость старения изоляции в доступной литературе нет. В основном влияние кислотности описывается косвенно и совместно с данными о влиянии влагосодержания изоляции. В работе [4] приводится качественная оценка, показывающая, что по мере окисления скорость старения возрастает примерно в четыре раза. Базовое значение кислотности $K_{\text{баз}}$ равняется 0,01мг/г [Ошибка! Источник ссылки не найден.], что соответствует новому маслу. Предельно допустимое значение кислотного числа равняется 0,02мг/г. В соответствии с [4] должно выполняться равенство

$$V_K = \left(\frac{K(t)}{K_{\text{баз}}} \right)^{2.06} \quad (7)$$

В [5] указывается, что кислотное число K возрастает линейно от 0,1 мг КОН/г до 0,245 мг КОН/г за 2.5 года

$$K(t) = 0.058t + 0.1 \quad (8)$$

Модель старения изоляции

В работах [7], [3] предложена формула интеграла старения с учетом влияния на скорость старения эксплуатационных факторов – температурной деградации изоляции, степени увлажнения целлюлозной изоляции и степени окисления трансформаторного масла.

$$L(t_0, t_0 + T) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V(\theta_h, W, K) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V_K \cdot V_W \cdot \exp \left[\ln 2 \cdot \frac{(\theta_h - 98)}{\Delta} \right] dt \quad (9)$$

где V – относительная скорость сокращения срока службы изоляции трансформатора; T – временной интервал, на котором производится оценка.

С учетом (5) и (7) интеграл принимает вид.

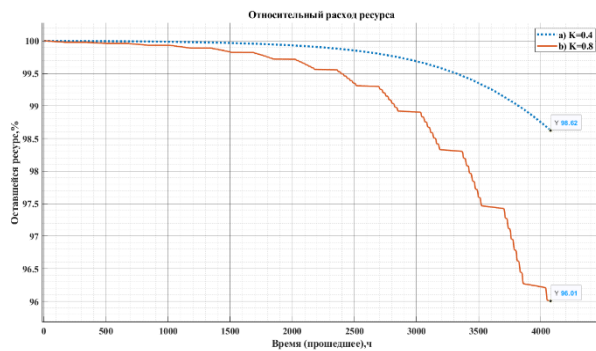
$$L(t_0, t_0 + T) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \left(\frac{K(t)}{K_{\text{баз}}} \right)^{2.06} \cdot (31.14 \cdot W(t)^{0.3216} - 20.14) \cdot \exp \left[\ln 2 \cdot \frac{(\theta_h - 98)}{\Delta} \right] dt \quad (10)$$

Расчет режимов работы

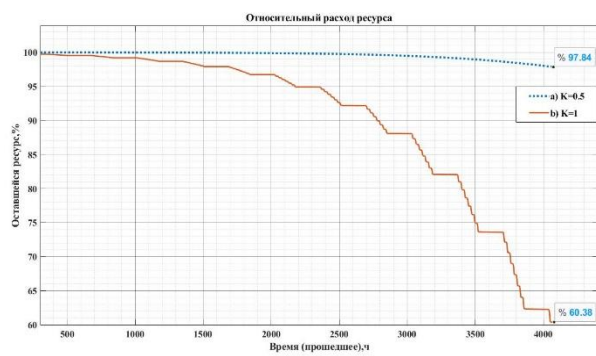
На графиках, приведенных на, отражены сравнительные кривые расхода ресурса трансформатора для режима 1 и режим 2. Точка пересечения графика относительного расхода ресурса с кривой абсцисс отражает время, за которое трансформатор исчерпает относительный ресурс (длина времени моделирования равна 100% ресурса). Для графика в Рисунок 4 (5) пересечение происходит в точке 2148, это означает что трансформатор за 2148 часов потратил ресурс в 4080 часов. Если перейти от процентного отображения к часам, то к концу времени моделирования (4080 ч.) потраченный ресурс составил 31330ч. Это означает, что процесс старения в данном режиме протекает в 7,7 раз быстрее.

Результаты данного исследования приведены в Таблица 3. Как видно из Таблица 3 применение методики расчета ресурса трансформатора показало, что для всех уровней нагрузки применение попеременного режима работы приводит к ускоренной выработке ресурса трансформатора относительно его работы в нормальном режиме.

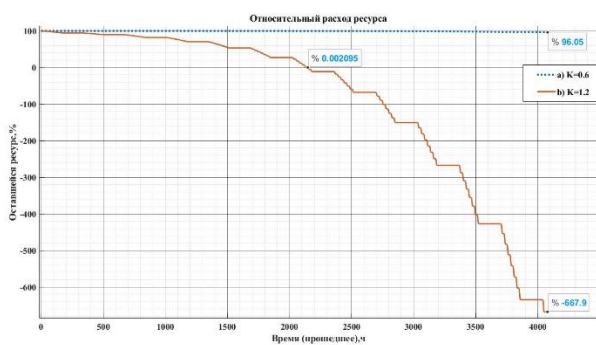
Таблица
3



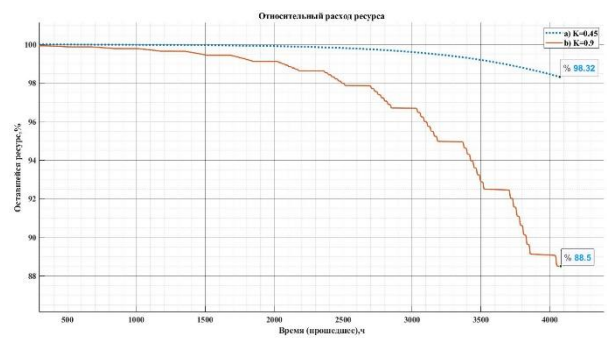
1



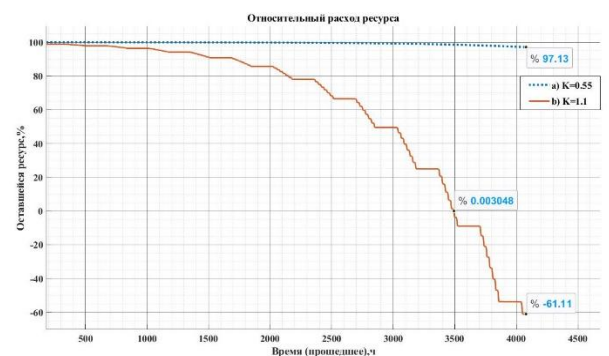
3



5



2



4

Рисунок 4 – Сравнение графиков
относительного расхода ресурса.

а) режим 1; б) режим 2

Таблица 3 – Результаты сравнения расхода ресурса трансформатора

Режим 1		Режим 2		Относительная скорость старения
Нагрузка K_{max} ,	Потраченный ресурс L_1	Нагрузка K_{max} ,	Потраченный ресурс L_2	L_2/L_1
0.4	1,38%	0.8	3.99 %	2,89
0.45	1.68 %	0.9	11.5 %	6,84
0.50	2.16 %	1.0	39.62%	18,34
0.55	2.87 %	1.1	161.11 %	56,13
0.6	3.95 %	1.2	767.9 %	194,40

Выводы

Представлен пример использования метода расчета остаточного ресурса трансформатора (ТМ-630 10/0,4 кВА) для анализа режима его работы в зависимости от характера его загрузки. В качестве примера для решения инженерных задач определения и выбора режима работы трансформаторной подстанции 2БКТП-10кВ 630кВА, проведен сравнительный анализ работы трансформаторов. Анализ показал, что использование попеременного графика работы трансформаторов существенно ускоряет расход их ресурса. Как итог можно заявить, что предложенный метод оценки расхода ресурса трансформатора может иметь широкое применение в инженерных расчетах и расчетах надёжности участков сети. Для получения более точных результатов, значения влагосодержания изоляции и кислотности масла необходимо определять экспериментальным путем.

Список использованных источников

1. СНиП 230199 Строительная климатология. Актуализированная редакция
2. Боднар В.В. Нагрузочная способность силовых масляных трансформаторов/ В. В. Боднар // – М., Энергоатомиздат, – 1983
3. Васин В.П. Ресурс изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов / В.П. Васин, А.П. Долин // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность – 2008. – №3. – С. 12–17.
4. Васин В.П. К задаче оценки остаточного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов / В. П. Васин, А. П. Долин // Новое в российской электроэнергетике. – 2008. – №3. – С. 42-55
5. Лизунова С.Д. Силовые трансформаторы. Справочная книга / под. ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина //-М: Энергоиздат, 2004. – 616 с.

6. РД 34.4551.300–97 Объем и нормы испытаний электрооборудования
7. Васин В.Г. Оценки выработанного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов / В.Г. Васин, А.П. Долин // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. — 2009. — № 2. — С.37-41.

МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ

Нечипоренко Я.А.

В статье рассмотрены основные методы передачи электроэнергии на дальние расстояния, определены их преимущества и недостатки, а также исследованы альтернативные решения проблемы. В качестве исследовательской задачи автором была определена попытка оценить возможность применения методов передачи электрической энергии на дальние расстояния в современных технических и экономических условиях. В заключение раскрывается актуальность и необходимость потребления электрической энергии для материальной жизни человечества.

Введение

Электричество являет собой один из важнейших ресурсов в современности. Его использование значительно упрощает жизнь человека. Электроэнергия применяется в промышленности, транспортной отрасли, быту, сельском и лесном хозяйстве, медицине и др. Преимущества использования данного ресурса – возможность передачи на большие расстояния и способность преобразования в другие виды энергии [1].

Почти все механизмы в промышленности приводятся в движение с помощью электрических двигателей, а применение электричества в каждом доме заключается в освещении, работе бытовых приборов и обеспечении связи с окружающим миром через разнообразные гаджеты.

Такой необходимый ресурс должен быть доступен для каждого. В связи с тем люди стали задумываться о способах передачи электроэнергии на дальние расстояния. Однако столкнулись с проблемами при решении данного вопроса, и основной стал рост потерь с увеличением протяжённости линий электропередач (ЛЭП): около 20% выработанной энергии теряется при передачах.

Цель статьи

Данная статья имеет целью исследовать наиболее успешные методы передачи электрической энергии на дальние расстояния, а также выявить их преимущества и недостатки, найти альтернативные решения проблемы в современных экономических и технических реалиях.

Методы передачи электроэнергии на дальние расстояния

Электроэнергия передаётся на расстояние прямой передачей по проводникам – проводам или токопроводящим средам, что применимо для воздушных и кабельных линий электропередач (ЛЭП), или с помощью преобразования в другой вид энергии, что открывает перспективы беспроводного снабжения потребителей. Такой метод избавляет от ЛЭП и от расходов на их монтаж и обслуживание [2].

С помощью электромагнитной индукции энергию успешно передавали ещё в середине XIX века, а сегодня зарядки мобильных телефонов с этим методом, лежащим в основе принципа работы, по эффективности превосходят обычные проводные. Недостатки метода – низкие мощность и коэффициент полезного действия (КПД) и что

для возникновения взаимной индукции приёмник и передатчик сигнала должны находиться как можно ближе друг к другу. Невозможно передать большой объём энергии и подключить мощностное электрооборудование, иначе поплаваются электрообмотки.

Радиочастотное и микроволновое излучение передаёт электроэнергию на несколько метров, однако сильно рассеивается и зависит от препятствий на пути передачи. Для их исправления используют сфокусированный пучок энергии и корректирующие датчики, что не всегда экономически и технически выгодно.

На основе радио- и микроволн – прозрачных для атмосферы линий длиной 12 см и частотой 2,45 ГГц – попытки реализации имели место во второй половине XX века и предназначались для передачи, например, из космоса. При любой погоде для микроволн потеря энергии 5%. Сначала магнетрон преобразует ток в микроволны, затем ректенна или специальная антенна их обнаруживает и возвращает в исходное состояние. Однако необходимы передающие и принимающие антенны, диаметром 1 и 10 км соответственно, что существенно затрудняет практическое применение.

Давно известный лазерный метод самый перспективный и успешный сегодня. Новейшие диодные лазеры снижают потери передачи вполнину. Существуют пробные модели самолетов и бытовых приборов, работающих на энергии, передающейся лазером. И этот метод зависит от препятствий, а электроэнергия в атмосфере сильно рассеивается. Не реализован широко из-за множества технических сложностей и дороговизны. С помощью ЛЭП передать энергию можно на приличное расстояние, но из-за наличия хорошо потребляющей лазерную энергию атмосферы лазерное оборудование нужно устанавливать в космосе [3] [4].

В зависимости от метода передачи используют воздушные и кабельные линии, учитывая дальность и среду расположения проводника. Воздушные линии – медные или алюминиевые проводники, подвешенные через изоляторы на металлические или железобетонные опоры – передают электричество на большие расстояния и между разными государствами по проводам, проложенным на открытом воздухе. Основные их элементы – токонесущие провода, несущие опоры и изоляторы.

Кабельные линии подразумевает прокладку проводов под землёй и используются в основном в пределах города или предприятия. Отдельные токоведущие жилы расположены обычно в резиновой или ПВХ-изоляции (поливинилхлоридной). Провода различных фаз изолированы и объединены в единый кабель. Если напряжение высокое, то имеется и броня из металлической ленты, что также служит защитным экраном от помех.

Альтернативные решения проблемы

Уменьшить ненужные потери, а значит и траты при производстве электроэнергии позволяет применение высокотемпературных сверхпроводников – метод будущего, сегодня технически неосуществимый. А от увеличения сечения кабелей и проводов ЛЭП отказались на первых порах развития электроэнергетики: это экономически нецелесообразно из-за лишних расходов на утолщение проводников. Повышение напряжения в линиях передачи наиболее удачно, поэтому используется по всему миру уже ста лет [5].

Использование постоянного тока иногда более эффективно: не нужна синхронизация генераторов, работающих в разных энергосистемах; сводятся к нулю потери на ёмкостное и индуктивное сопротивления кабеля; снижается стоимость линии, т.к. для передачи постоянного тока достаточно всего 2 проводников; возможно использование на уже построенных ЛЭП переменного тока, т.е. не нужно возводить

новые магистрали; снижается уровень электромагнитного излучения, возникающего при смене направления тока [5].

Реактивные параметры и реактивная мощность в ЛЭП и у потребителей компенсируются с помощью специальных устройств, устанавливаемых на промежуточных и конечных подстанциях – компенсирующих устройств. Эти приборы увеличивают пропускную способность линий или улучшают общие показатели их работы. Например, реактивная мощность компенсируется электрическими батареями конденсаторов, включаемых поперечным способом. Синхронные двигатели и компенсаторы, работающие в перевозбуждённом режиме, обеспечивают реактивную мощность потребителей с сохранением желаемого значения напряжения; одновременно и снижаются потери активной мощности на отдельных участках электрических сетей. С помощью компенсирующих устройств напряжение в электрических системах может регулироваться автоматически. Их места установки и мощность определяются расчётным путём на основании технико-экономических показателей [6].

Выводы

Вещество и энергия представляют собой основные начала материальной жизни человечества. Поэтому техническое творчество учёных заключалось всегда в поиске, получении, хранении, распределении, использовании, накоплении, передаче, обработке и преобразовании этих элементов.

В рамках энергетической науки – энергетики – рассматривается электроэнергетический раздел, являющийся сложным техническим образованием, которое тесно взаимодействует с основными отраслями добывающей и перерабатывающей промышленности, топливным и сельским хозяйством, транспортом и т.п.

Этот раздел ведущий в энергетике. Использование электроэнергии изучалось с давних пор, а в XIX веке за счёт многих усилий людей применение электричества стало величайшим достижением за всю историю его использования на благо человечества.

Электрическая энергия вторичная и не заменяет, например, солнечную, ветровую, гидравлическую, тепловую, приливную, ядерную и термоядерную, т.е. первичные виды энергии, однако стимулирует их развитие.

Электроэнергию необходимо сразу потреблять из-за отдалённости её потребителей друг от друга и поскольку она является ненакапливаемым ресурсом.

Учёным придётся успешно преодолеть сложности имеющихся методов передачи электроэнергии на дальние расстояния или найти другие альтернативные способы её передачи, иначе человечество столкнётся с энергетическим кризисом уже в ближайшем обозримом будущем.

На настоящий момент самым многообещающим, перспективным методом передачи электроэнергии на расстояние является лазерная беспроводная передача.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Применение электроэнергии [Электронный ресурс] // Studwood.ru: сайт. – URL: https://studwood.ru/1095741/matematika_himiya_fizika/primenenie_elektroenergii (дата обращения: 14.05.2020).

2. Передача электроэнергии – распространённые способы и альтернативные варианты [Электронный ресурс] // ASUTPP: сайт. – URL: <https://asutpp.ru.turbopages.org/s/asutpp.ru/peredacha-jelektrojenergii.html> (дата обращения: 14.05.2020).
3. Методы передачи электроэнергии [Электронный ресурс] // RUSENERGETICS.RU: сайт. – URL: <https://rusenergetics.ru/polezno-znat/peredacha-elektroenergii-na-rasstoyanie> (дата обращения: 14.05.2020).
4. Проблемы передачи электроэнергии на дальние расстояния [Электронный ресурс] // Боровское исследовательское учреждение, Bourabai Research Institution: сайт. – URL: http://bourabai.kz/toe/dist_problems.htm#5 (дата обращения: 14.05.2020).
5. Передача электроэнергии на расстояние [Электронный ресурс] // Ампероф: сайт. – URL: <https://amperof.ru/eлектроenergia/peredacha-elektroenergii-na-rasstoyanie.html> (дата обращения: 14.05.2020).
6. Передача электроэнергии на расстоянии [Электронный ресурс] // Electric-220.ru: сайт. – URL: https://electric-220.ru/news/peredacha_ehlektroehnergii_na_rasstojanii/2014-07-31-665 (дата обращения: 14.05.2020).

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТЕОДАНЫХ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ГРОВОЙ АКТИВНОСТИ РЕГИОНА И ОТКАЗОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

С.Ю. Еремин

В статье рассматривается влияние грозовой активности различных регионов Крыма на аварийность силовых кабельных линий, проведён анализ и обработка статистических данных (журналы диспетчеров РЭС и архивы метеоданных) с целью установления корреляционной зависимости грозовой активности и аварий на силовых кабельных линиях среднего класса напряжений, с привязкой к Республике Крым.

Ключевые слова: силовой кабель, БПИ, средний класс напряжений, молния, корреляционная зависимость, климатические факторы, грозовая активность.

Введение

Климатические факторы не оказывают существенного влияния на работоспособность силовой кабельной линии, в отличие от воздушной ЛЭП, так как подземный способ прокладки кабельных линий электропередачи является наиболее защищённым от внешних воздействий. Однако некоторые источники подчеркивают данное влияние.

Цель работы

Заключается в установлении корреляционной зависимости аварийности в силовых кабельных линиях среднего класса напряжений и грозовой активности по Республике Крым и городу Федерального значения Севастополю. В связи со спецификой рассматриваемого региона изучается бумажно-пропитанная изоляция (БПИ).

Задача

Определение степени влияния такого климатического фактора как гроза на аварийность в силовой кабельной линии среднего класса напряжений, определение коэффициента корреляции.

Основная часть

Передача электрической энергии производится по воздушным и кабельным силовым линиям, наиболее защищённым видом передачи электроэнергии, но при этом относительно дорогим, является кабельная электропередача. При эксплуатации силовых кабельных линий происходит старение электрической изоляции, и по некоторым статистическим данным в 37% случаях всех отказов они вызваны тепловым

и электрическим старением изоляции. Как результат данного факта – нарушение электрической прочности изоляции, приводящее к пробоям. Из существующего многообразия причин старения (пробоя) изоляции одной из основных являются перенапряжения, периодически возникающие в силовых кабельных линиях. Они имеют различную природу: коммутационную, феррорезонансную, климатическую, а также могут возникать в результате аварий в энергосистеме. Для того, чтобы установить уровень влияния именно климатических (грозовых) перенапряжений на аварийность в силовых кабельных линиях, необходимо разобраться в механизмах этих перенапряжений, а также понять, где они встречаются чаще всего.

Молнии как источник грозовых перенапряжений

Молния – это тип газового разряда с очень большой длиной разряда, температурой и напряжением в канале. Общая длина канала молнии в среднем достигает нескольких километров, и значительная часть этого канала находится внутри грозового облака. При этом, самый длинный зарегистрированный канал молнии составляет на текущий момент 321 километр. В связи с тем, что несколько зарядов изолированы друг от друга в облаке (в основном заряды с отрицательной полярностью накапливаются в нижней части облака), молния обычно бывает многократной и состоит из нескольких отдельных разрядов, которые развиваются по одному и тому же пути. Каждый разряд молнии начинается со стримерного канала (условие его возникновения: напряжённость электрического поля внутреннего объёмного заряда становится соизмеримой с величинами внешнего электрического поля) и заканчивается основным лидерным разрядом. Скорости первого одиночного разряда по порядку величины составляют 100 000 км/с, а скорости лидеров последующих разрядов достигают по порядку величины 10 000 км/с, т.е. являются соразмерными со скоростями распространения электромагнитного поля в вакууме. Канал лидера, как и канал стримера, заполнен плазмой (горячей, в отличие от стримерного канала), поэтому он обладает существенной проводимостью. Верхняя часть канала лидера соединена с одной из заряженных областей в облаке, поэтому часть зарядов этой области перетекает в канал лидера.

Максимальные величины тока молнии можно измерить простейшими измерительными приборами – магнит-регистраторами, прикреплёнными поблизости объекта (молниеотводы, опоры линий электропередачи) и расположенными вдоль силовых линий магнитного поля от молнии.

Средняя длительность нарастания тока молнии составляет около 50 мкс, а максимальная зарегистрированная полная её длительность на текущий момент составляет 7.74 секунды. Заряд, утекающий в Землю во время многократных ударов молнии, изменяется в пределах от долей кулона до 100 Кл и более. Среднее значение этого заряда близко к 20 Кл. Заряд, спускаемый во время гроз, играет существенную роль в поддержании отрицательного заряда Земли.

Поскольку разряд молнии сопровождается движением значительных электрических зарядов в пространстве, он является источником сильного электромагнитного поля. Электрическое поле, вызываемое молнией у Земли, в частности магнитной составляющей, содержит высокочастотные составляющие и является источником хорошо известных помех при радиоприёме. На малых расстояниях от места удара молнии электрическое поле может достигать очень больших значений, и по этой причине на линиях электропередачи наводятся ощутимые перенапряжения. При ударе молнии в линию электропередачи на проводах создаётся высокое напряжение относительно земли, под действием которого в обе стороны от места удара вдоль линии распространяются электромагнитные волны. Так как при этом

прямой ток каждой волны проходит по проводам, а обратный – по земле, то распространение волн по линии при ударе молнии определяется параметрами нулевой последовательности, которые отличаются от параметров нулевой последовательности в случае токов промышленной частоты, так как при однополярных импульсах ток в земле под влиянием поверхностного эффекта (или скин-эффекта) проникает на небольшую глубину. Дойдя до подстанции, набегаящие с линии волны создают повышенное напряжение на изоляции электрооборудования.

Интенсивность грозовой активности в разных климатических регионах может существенно различаться. Как правило, количество гроз в течение одного года минимально в северных регионах и постепенно увеличивается на юге, где повышенная влажность воздуха и высокая температура способствуют образованию грозовых облаков. Однако эта тенденция наблюдается не всегда. На рисунке 1 выделены имеющиеся центры грозовой активности в средних широтах (например, в центральной части Украины), где создаются благоприятные условия для формирования локальных гроз.

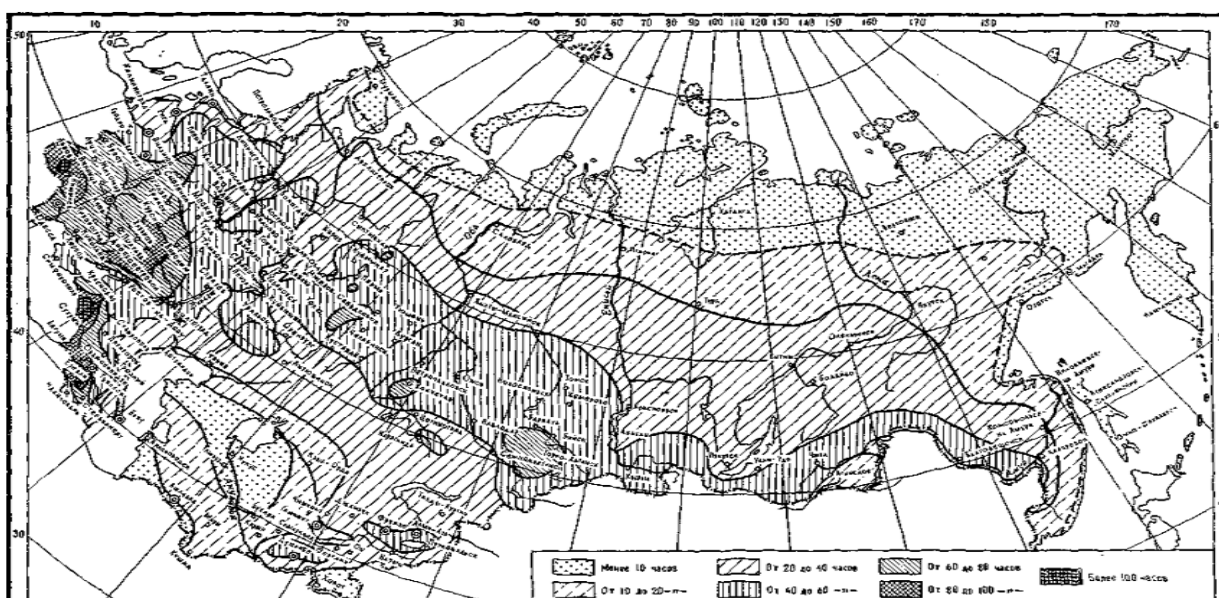


Рисунок 1. Карта грозовой активности стран СНГ

Интенсивность грозовой активности обычно характеризуется количеством грозовых дней в году или общей годовой продолжительностью гроз в часах. Последняя характеристика является более корректной, поскольку число ударов молнии в Землю зависит не от количества гроз, а от их общей продолжительности. Количество грозовых дней или часов в году определяется на основе многолетних наблюдений метеостанций, обобщение которых позволяет создавать карты грозовой активности, на которых нанесены линии равной продолжительности гроз. Согласно этим данным в районах с количеством грозовых часов в год $n = 30$ на 1 км^2 земной поверхности среднее число ударов молнии на 1 км^2 земной поверхности составляет 0,067.

**Анализ статистических данных аварийности в КЛ от ГУП РК Крымэнерго
(за июнь 2019 года)**

Для выявления корреляционной зависимости аварийности на силовых кабельных линиях и грозовой активности в конкретном регионе, а именно Республике Крым и городе Федерального значения Севастополе, были обработаны журналы диспетчеров РЭС ГУП РК Крымэнерго за июнь 2019 года, а также за один год от ООО Севастопольэнерго. В данных журналах необходимо было выделить аварии, произошедшие именно на кабельных линиях, и, воспользовавшись архивами метеоданных таких источников как «Gismetio» и «tr5.ru», установить климатические условия в день случившейся аварии из журналов аварий, для конкретного населённого пункта Крыма, и таким образом накопить информацию для вычисления коэффициента корреляции аварийности силовых кабельных линий и грозовой активности.

Ниже в таблице 1 приведены выдержки, взятые из журналов аварий диспетчеров, в которых приведена информация о случившейся аварии: географическое расположение, название подстанции со сработавшей защитной автоматикой, отключённая мощность, время отключения, принадлежность силовой кабельной линии, а также информация о резервировании и возобновлении нормальной схемы питания.

Таблица 1 Аварии на Евпаторийском РЭС 13.06.2019 года, с повреждением головного участка кабельной линии 10 кВ

13.06.2019								
Евпаторийский РЭС	ПС 110 кВ Мойнаки	МВ 10 Л-2	10:15 (Сооб. в ЦУС в 10:30)	–	МТЗ	АПВ выв.	РП и КЛ 10 кВ на балансе абонента. Абонентусообщено.	1 РП, 1С 10 кВ РП-17 2 кат., 5 юр.лиц, котельная, есть второе питание. г. Евпатория(ч). В 10:15 потребители перезапитаны от 2С 10 кВ РП-17. 0,05/0,001
Евпаторийский РЭС	ПС 110 кВ Мойнаки Л-14 РП-4	МВ 10 вст ор. ТП-198.	11:55 (Сооб. в ЦУС в 12:39)	–	МТЗ	АПВ выв.	Погода норм. ТП и КЛ 10 кВ на балансе абонента.	1 ТП, 3 кат, г. Евпатория(ч), 0ф.л./2ю.л. детский лагерь «Юность», кафе. 0,08/
Евпаторийский РЭС	ПС 110 кВ Мойнаки Л-8 РП-19	МВ 10 ТП-381	13.06 13:20 (Сооб. в ЦУС в 13:30)	14.06 22:06	МТЗ	АПВ выв.	Дождь, гроза. Повреждение абонентского КЛ 10 кВ, РП-19—ТП-381. Устранено.	1 ТП 3 кат, г. Евпатория(ч), 1ю.л. ТЦ Пассаж. 0,08/0,21

Проанализировав имеющиеся статистические данные по аварийности ГУП РК Крымэнерго за июнь 2019 года, было найдено 107 аварий, произошедших на кабельных линиях.

Следующим шагом было необходимо определить климатические условия в населённом пункте Крыма в день возникновения аварии на кабельной линии при помощи архивов метеоданных с баз «Gismetio» и «gr5.ru».

И последним шагом было сопоставление обработанных данных для определения коэффициента корреляции грозовой активности и аварийности на кабельных линиях в регионе Крыма, результаты которого представлены на рисунке 2.

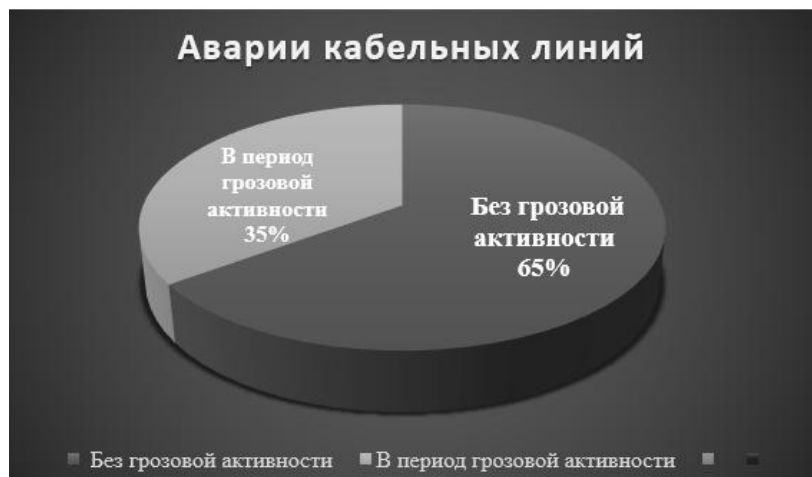


Рисунок 2. Аварийность кабельных линий Крыма

Всего аварий на кабельных линиях за период с 01.06.19 по 31.06.2019 по Крыму было найдено – 107. Из них произошло во время грозовой активности – 36.

Исходя из полученных результатов видно, что от общего количества аварий на кабельных линиях по Республике Крым в период грозовой активности приходится 35%, а именно 36 аварий из 107.

С помощью коэффициента корреляции Пирсона определим степень зависимости между величинами по формуле 1:

$$R_{X,Y} = \frac{M[XY] - M[X]M[Y]}{\sqrt{(M[X^2] - (M[X])^2)}\sqrt{(M[Y^2] - (M[Y])^2)}}, \quad (1)$$

где X – это общее количество аварий, Y – это количество аварий, произошедших в период грозовой активности в регионе, M – это математическое ожидание.

Выводы

В результате получен коэффициент корреляции, равный 0.832, что весьма близко к единице и означает определённую (функциональную) линейную положительную взаимосвязь. Данный факт позволяет говорить о непосредственном влиянии грозовой активности региона на аварийность в силовых кабельных линиях.

Так же проанализировав метеосводки по региону, можно сделать вывод о том, что аварии не всегда происходят в день самой грозовой активности - зачастую аварии фиксируются на следующий день после грозы, а в день самой аварии в журнале диспетчера погода характеризуется как «хорошая». Вероятно, это связано с состоянием изоляции в силовых кабельных линиях в целом, и позволяет сделать вывод о том, что грозовая активность приводит не к критическим повреждениям в кабельной линии, а

имеет больше накопительный характер, с каждым разом снижая электропрочность изоляции. В совокупности с другими деградационными процессами, протекающими в силовых кабельных линиях, а именно пиролиз и гидролиз изоляционной бумаги, окисление различных компонентов БПИ, произрастание частичных разрядов в фазной и поясной изоляции, коррозия защитной металлической оболочки, механические повреждения изоляционной бумаги вследствие воздействия электромагнитных сил и интенсивного газообразования в пропиточном составе, атмосферные перенапряжения вносят вклад в суммарный износ, что в конечном счёте и приводит к аварии в силовой кабельной линии среднего класса напряжений.

Список используемых источников

1. Коржов А.В. Комплексный анализ состояния и повышения эксплуатационной надёжности кабельных линий 6(10) кВ с бумажной пропитанной изоляцией в условиях городских электрических сетей. Диссертация на соискание учёной степени д.т.н. Специальность «Электротехнические материалы и изделия», ЮУГУ. 2016
2. Куделина Д.В., МЕТОД, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, диссертация на соискание степени к.т.н., ЮЗГУ, 2017.
3. Таджибаев А.И., Канискин В.А., Коцур С.А., Неразрушающие методы испытаний и диагностики кабельных линий с бумажно-пропитанной изоляцией // Перенапряжения и надёжность эксплуатации электрооборудования. Вып. 4. – СПб.: ПЭИПК, 2005. – С. 201–215.
4. Таджибаев А.И., Канискин В.А., Пугачёв А.А., Оценка технического состояния кабелей и кабельных сетей. – СПб.: ПЭИПК, 2007. – 173 с.
5. Канискин В.А., Коцур С.А., Привалов И.Н., Кабели 10 кВ с бумажно-пропитанной изоляцией. Неразрушающий метод диагностики // Новости электротехники. – 2005. – №5 (35). – С.25–34.
6. Разевиг Д.В., Техника высоких напряжений, учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов, под общей ред. Д. В. Разевига, Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1976, 488 с.
7. Дубяго М. Н., РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, Диссертация на соискание учёной степени к. т. н.

АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Васина А.Ю., Парицкая Ю.П., Александрин Я.Н.

Теоретические положения о методах оценки частоты электрических сигналов.

Основным параметром, определяющим состояние электрической сети, является частота. Изменение частоты в энергосистеме несет большую опасность и способно привести к сильному нарушению её работы. Следовательно, оценка частоты должна осуществляться с должным уровнем точности и быстродействия в различных режимах работы сети.

Алгоритмы оценки частоты служат для определения частоты в стационарных и переходных режимах работы электросети с целью дальнейшей регулировки ее параметров, предупреждения и устранения аварийных режимов ее работы. Основная идея данных алгоритмов заключается в преобразовании входной величины в цифровой сигнал, настройки адаптивного фильтра на подавление этого сигнала, затем определении собственных частот адаптивного фильтра и выбора из них частоты сети.

Существует способ оценки частот сигналов электрической сети, который основан на **спектральном анализе переходного процесса**, например, тока короткого замыкания, он достаточно сложен, так как необходимо определять все гармоники установившейся слагаемой переходного процесса наравне с компонентами свободной слагаемой путем подавления и тех, и других. Этот способ заключается в преобразовании входной величины $i(t)$ в цифровую форму $i(l)$, (дискретное время: $l = \text{ent}(tf_d)$, f_d – заданная частота дискретизации) и настройке цифрового адаптивного нерекурсивного фильтра на подавление входной величины.

Процедура настройки адаптивного фильтра сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений, вычислительная сложность которых пропорциональна квадрату числа m настраиваемых коэффициентов a_s .

$$s = \overline{1, m}$$

$$m = 2d + c,$$

где $d = d_{св} + r$ - число гармоник (в общем случае затухающих) с заранее неизвестными частотами $d_{св}$;

c - число гармоник и экспонент в составе свободной слагаемой переходного процесса;

r - число гармоник в составе установившейся слагаемой переходного процесса.

За счёт того, что настройка адаптивного фильтра сводится к решению СЛАУ, вычислительная сложность которой равна квадрату числа m настраиваемых коэффициентов, - увеличивается порядок фильтра и, как следствие, усложняется его настройка.

К достоинствам данного способа можно отнести способность адаптивного нерекурсивного фильтра настраиваться на полное подавление экспоненциально-гармонических сигналов, что позволяет распознавать их состав.

Для упрощения способа оценки частоты цифровой сигнал пропускают через адаптивный фильтр измеряемой частоты с заданными коэффициентами децимаций n , настраивают последний на подавление своего входного сигнала, определяют частоты собственных колебаний адаптивного фильтра, выделяют измеряемую частоту, определяют расхождение измеряемой и установленной частот при превышении уставки, задают устанавливаемую частоту равной измеренной частоте. Данную процедуру повторяют с такой же последовательностью прямо до понижения уровня расхождения измеренной и установленной частот относительно уставки и принимают частоту сети, равной последнему значению измеренной частоты.

Адаптивный фильтр может быть выполнен в следующей форме $\varepsilon(1) - i'(1) + \sum_{s=1}^m a_s i'(1 - ns), 1 \geq mn$,

где a_s - настраиваемые по условию малости выходного сигнала $\varepsilon(1)$ коэффициенты.

В ходе осуществления операций понижается уровень неинформационных компонентов (высших гармоник установившейся слагаемой) входной величины $i(1)$. Общими свойствами цифровых систем являются периодичность частотной характеристики $H(f) = H(f + f_d)$ и четность ее модуля, которые позволяют за счет уменьшения

частоты дискретизации (децимации) $f_d = \frac{f_s}{n}$ дополнительно подавлять высшие гармонические составляющие во входной величине. За счет этого повышается отношение полезного сигнала к шуму и снижается в итоге необходимый порядок адаптивного фильтра. В результате чего повышается и точность конечного результата.

Изобретение относится к электротехнике, а именно к релейной защите и противоаварийной автоматике электроэнергетических систем, и может быть использовано для анализа аварийных и аномальных режимов.

Однако на практике можно применять и другие способы оценки частот электрических сигналов. В качестве альтернативного практического примера рассмотрим метод оценки частоты сети с помощью ортогональных составляющих.

Использование: в области электротехники.

Технический результат - повышение быстродействия определения синусоидальной составляющей с возможностью контроля достоверности результата. Изобретение относится к электроэнергетике, а именно к релейной защите и автоматике электрических систем, выполняемой на микропроцессорной технике.

В общем случае для определения ортогональных составляющих сигнала, формируется комплексный сигнал

$$x(t) = 2x(t)e^{-j\omega_0 t} \quad (1)$$

Здесь $e^{-j\omega_0 t}$ - опорный (моделирующий) сигнал, его ортогональный базис

Для того чтобы получить оценки частоты по ортогональным составляющим, нужно подавить составляющие боковой частоты. Способы решения этой задачи, связаны с использованием фильтров.

Классический фильтр Фурье с полным окном. Этот фильтр способен подавлять, кратные гармоники и прост в исполнении.

Он имеет методическую погрешность, из-за недостаточного подавления составляющих боковой частоты ω_{Σ} . Так же, очевидным недостатком является то, что первые оценки ортогональных составляющих появляются лишь по прошествии периода опорного сигнала.

Классический фильтр Фурье с полным окном подавляет все гармоники сигнала, кроме оцениваемой. Поэтому резонно полагать, что он не нуждается в использовании

дополнительного оператора заграждения гармоник. Однако при любом другом окне, не кратном полному, система теряет способность подавлять «лишние» гармоники. Потому для исключения искажения оценок ортосоставляющих приходится прибегать к помощи линейного оператора заграждения

Заграждающие фильтры и фильтры Фурье с коротким (неполным) окном.

Оператор заграждения n -ой гармоники представляет собой фильтр второго порядка

$$e(k) = B_2\{x(k)\} = x(k) + \alpha x(k-1) + (k-2), \alpha = -2\cos(n\omega_s T_s) \quad (2)$$

его использование в классическом фильтре, значительно повышает точность оценки частоты.

В случае зашумленности сигнала $x(k)$ высшими гармониками приходится дополнять фильтр Фурье с коротким окном заграждающим оператором. Порядок заграждающего оператора q выбирается исходя из порядка подавляемой части сигнала $x(k)$:

Вместо удаления аperiodической составляющей из сигнала $x(k)$ предлагается

$$x(k) = 2B_q\{x(k)\}e^{-jk\omega_0 T_s} \quad (3)$$

использовать заграждающий фильтр опорного сигнала (2), но уже после преобразования сигнала $x(k)$. Естественно, что для сохранения точности оценки частоты нужно изменять частоту опорного сигнала ω_0 в зависимости от степени расстройки $n\omega$ частоты сети, подгоняя ее ближе к ω . Только в этом случае будет обеспечена высокая степень подавления высших гармонических и составляющей боковой частоты ω_Σ . Для этого фильтр нужно снабдить системой автоподстройки частоты опорного сигнала.

В результате метод ортогональных составляющих обеспечивает минимально возможное по физическим соображениям время выделения синусоидальной составляющей тока короткого замыкания. Погрешность определения синусоидальной составляющей может быть оценена и затем понижена благодаря разнообразию вспомогательных опорных сигналов, каждый из которых действует на ограниченном числе текущих интервалов времени.

Попробуем спрогнозировать, как в будущем мы сможем применить рассмотренные выше методы оценки электрических сигналов. Прогноз лучше всего моделировать с использованием закона ускоряющейся отдачи.

В 1999 году Рэй Курцвейл сформулировал закон ускоряющейся отдачи, утверждающий, что, когда технология приближается к какому-то барьеру, будет изобретена новая технология, которая позволит нам преодолеть этот барьер. Учитывая, что в данный момент большинство сложных процессов автоматизации производства базируются на применении методов оценки частот электрических сигналов, попробуем применить закон ускоряющийся отдачи, и, анализируя области применения данных методов сегодня, спрогнозировать возможное будущее отрасли мировой электроэнергетики.

В данный момент наблюдается очень высокий рост вычислительных мощностей микропроцессорной техники, это позволяет использовать более сложные вычислительные алгоритмы в процессе частотного анализа режима работы системы, а это, в свою очередь, позволяет нам использовать ранее недоступные нам методы оценки частоты.

Сейчас все разрабатываемые и модернизируемые системы автоматического управления, принцип действия которых основан на базе алгоритмов оценки

электрических импульсов строятся с применением новых, более мощных вычислительных платформ. В конце 2000-х годов был создан и разработан принцип работы с большими объемами информации, суть его в том, что используя принципы машинного обучения и работая по методике распределительных вычислительных систем, обрабатывая огромные количества данных, мощная интеллектуальная система учиться работать с большими данными. В будущем, используя подобные методы обработки информации мы сможем увеличивать зону контроля за технологическими процессами на производстве.

Так-же алгоритмы оценки частоты электрических импульсов активно используются в робототехнике. В будущем, последствием увеличения точности измерения, и компенсируя сложность выполняемого процесса мощностью и компактностью современного оборудования человечество сможет создавать все более совершенных роботов, и использовать их на производстве.

Так, методы и алгоритмы оценки частот электрических сигналов в данный момент применяется в таких развивающихся отраслях, как роботизация, и автоматические системы управления. Сейчас эти две отрасли разрознены, но применяя закон ускоряющейся отдачи можно спрогнозировать практически полную автоматизацию контроля процесса выработки электроэнергии.

Список использованных источников

- 1) Устройства для измерения частоты Лямец Ю.Я., Арсентьев А.П., Салимон А.А. Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова; электронный адрес: <http://www.freepatent.ru/patents/2107302>
- 2) Оценка частоты электрической сети: теоретические основы и практические алгоритмы Антонов В.И., Шевцов В.М., Наумов В.А. электронный адрес: <https://eenergy.media/2017/02/21/otsenka-chastoty-elektricheskoy-seti-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskie-algoritmy/>
- 3) Цифровая электроника: проблемы и достижения. Сборник научных статей. Выпуск I – Чебоксары: РИЦ «СРЗАУ», 2012. – 29 с.
- 4) Эпоха духовных машин, 1999, Рэймонд Курцвейл.

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ СРЕДНЕГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ

Сластихин В.В.

В данной статье рассмотрена проблема надежности энергетических систем среднего класса. Электрические сети среднего класса напряжения (мощность 6 – 35 кВ) наиболее изношенны, оборудование и линии электропередач находятся в эксплуатации более 1 своего нормативного срока службы, что приводит к увеличению числа поломок, простою сети без питания, а значит к необратимым финансовым потерям. Сетевые компании преследуют абсолютно логичные экономические цели: предоставить удовлетворительное качество энергоснабжения при минимально возможных затратах. Предложено несколько общеизвестных подходов к решению проблемы: финансовый (увеличение вложений в хозяйственную базу энергоснабжения), концептуальный (пересмотр существующей концепции по поиску /локализации/устранению аварий в сетях), современный (использование новейшего коммутационного оборудования). Приведены доводы относительно применения того, или иного подхода. Также, были описаны эффекты после внедрения коммутационной аппаратуры.

Введение

Эпоха бурного научно-технического прогресса закономерно сопровождается появлением сложных, многоэтапных технологических цепочек производства различных материальных благ, в т.ч. сложных технических устройств. К ним предъявляются абсолютно логичные экономические требования: удовлетворительное качество продукции при минимально возможных затратах.

Практически любая сфера человеческой деятельности прямо или косвенно завязана на электрическую энергию. При этом конечный потребитель неизбежно сталкивается с перебоями электроснабжения, терпя убытки и издержки. По этой причине нормируется такая величина как недоотпуск электрической энергии. Вследствие чего, при организации любых технологических процессов неминуемо возникает задача обеспечения надежности. Этот термин имеет как понятное общебытовое, так и инженерное значение. Теория надёжности — это раздел науки, изучающий закономерности распределения отказов технических устройств и конструкций, а также причины и модели их возникновения.

Электроэнергетика играет определяющую, ключевую роль во всех без исключения современных технологических циклах, как с малым, так и с большим количеством операционных циклов. Соответственно, надежность в электроэнергетике – крайне важный объект для изучения, в первую очередь с точки зрения основных целевых качеств электрической энергии: доступность, высокое качество, непрерывность.

О надежности, как о разделе науки, впервые заговорили в конце 40-х годов прошлого столетия по причине массового выхода из строя оборудования, бурно развивающейся в то время радиоэлектроники. Далее теория надежности «добралась» до электроэнергетики и развивалась всю вторую половину XX века. На момент начала развития теории надежности в электроэнергетике решались задачи совсем другого порядка.

Описание проблемы

Электрические сети среднего класса напряжения (мощность 6 – 35 кВ) наиболее изношены, оборудование и линии электропередач находятся в эксплуатации более 1 своего нормативного срока службы, а некоторые более 2 нормативных сроков, что приводит состояние электросетей в катастрофически плохое состояние. В таблице ниже приведены нормативные сроки службы одних из самых часто встречаемых элементов сети.

Таблица 1 – Нормативные сроки службы типовых элементов сети.

Элемент ЛЭП	Нормативный срок службы
Провода, грозозащитные тросы, оттяжки опор, линейная арматура, изоляторы, системы плавки гололеда	25 лет
ОПН	25 или 30 лет
Деревянные опоры	30 лет
Фундаменты и железобетонные опоры	35 лет
Стальных опор	50 лет

В таких условиях значительно возрастает число аварий ЛЭП, обусловленных влиянием неблагоприятных факторов окружающей среды. Наиболее часто встречающиеся причины аварий на воздушных линиях электропередач:

- Понижение температуры воздуха увеличивает допустимую по нагреву температуру и ток провода. Одновременно с этим при понижении температуры уменьшается длина провода, что при фиксированных точках закрепления повышает механические напряжения.

- Повышение температуры проводов приводит к их отжигу и снижению механической прочности. Кроме того, при повышении температуры провода удлиняются и увеличиваются стрелы провеса. В результате могут быть нарушены габариты воздушной линии и изоляционные расстояния, т. е. снижены надежность и безопасность работы воздушной линии электропередачи.

- Действие ветра приводит к появлению дополнительной горизонтальной силы, следовательно, к дополнительной механической нагрузке на провода, тросы и опоры. При этом увеличиваются тяжения проводов и тросов и механические напряжения их материала. Появляются также дополнительные изгибающие усилия на опоры. При сильных ветрах возможны случаи одновременной поломки ряда опор линии.

- Гололедные образования на проводах возникают в результате попадания капель дождя и тумана, а также снега, изморози и других переохлажденных частиц. Гололедные образования приводят к появлению значительной механической нагрузки

на провода, тросы и опоры в виде дополнительных вертикальных сил. Это снижает запас прочности проводов, тросов и опор линий.

- «Пляска» проводов — это их колебания с малой частотой (0,2—0,4 Гц), большой длиной волны (порядка одного-двух пролетов) и значительной амплитудой (0,5—5 м и более). Длительность этих колебаний, как правило, невелика, но иногда достигает нескольких суток. Пляска проводов обычно наблюдается при сравнительно сильном ветре и гололеде, чаще на проводах больших сечений.

Таблица 2 – Статистические данные по авариям в электросетях.

Компания	Количество аварий		Разница
	2018 год	2019 год	
ПАО «Россети», в т.ч.:	10872	9600	-12
- ПАО «ФСК ЕЭС»	1289	1147	-11
- МРСК и отдельные РСК	9583	8453	-12
ПАО «МРСК Центра»	1052	808	-23
ПАО «МРСК Северо-Запада»	769	712	-7
ОАО «МРСК Урала»	935	799	-15
ПАО «МРСК Сибири»	1442	1240	-14
ПАО «МРСК Центра и Приволжья»	832	746	-10
ПАО «МРСК Волги»	958	809	-16
ПАО «МРСК Юга»,	834	703	-16
ПАО «Кубаньэнерго»	411	349	-15
ПАО «МРСК Северного Кавказа»	922	926	0
АО «Тюменьэнерго»	347	322	-7
ПАО «СУЭНКО» (АО «Курганэнерго»)	122	87	-29
АО «Сетевая компания»	244	210	-14
ООО «Башкирэнерго»	330	317	-4
ГУП РК «Крымэнерго»	142	139	-2
Иные собственники объектов электрических сетей напряжением 110 кВ и выше	1134	1203	+6
Всего в электрических сетях ЕЭС России	14349	13331	-7

Основная проблема в энергетике - низкий уровень надежности сети, связанный с большим временем простоя сети без питания в связи с неполноценностью существующей системы решения задач по устранению аварий в электросетях, потребность в поиске оптимальной концепции минимизации времени ремонта.

Предлагаемый способ решения

В ходе изучения вопроса были определены три возможных варианта решения сложившейся проблемы:

1) Путем огромного финансового вложения

Данный метод заключается в многократном увеличении финансовых вливаний на ремонт и переоборудование энергосистемы среднего класса напряжения по всей стране. Задача заменить все оборудование, отработавшее 1 или более нормативный срок в максимально короткий промежуток времени. После капитального ремонта и замены ВЛ, будет введена в эксплуатации абсолютно новая линия с высоким показателем надежности. У данного подхода всего один существенный недостаток, и он перекрывает все преимущества – в современных реалиях найти источник такого большого финансирования – невозможно. Поэтому стоит развиваться в направлении следующих двух подходов.

2) Путем улучшения существующей концепции поиска / локализации / устранения аварий.

Надежность линии, и простой ее без питания напрямую зависит от продолжительности времени проведения работ по поиску и устранению аварий. Путем изучения существующей концепции проведения работ из ГОСТов, технологических карт, диспетчерских журналов можно будет найти уязвимые места, и оценить их влияние на простой линии без питания. Вследствие чего, создать усовершенствованную модель проведения операций по ремонту линий.

Недостаток данного подхода – неявное улучшение линии, т.к. данный метод не затрагивает линию в прямом смысле; а также очень сильно зависит от человеческого фактора.

3) Путем усовершенствования линии новейшим коммутационным оборудованием.

За счет установки реклоузеров на ЛЭП можно увеличить надежность ВЛ без огромных финансовых вливаний путем секционирования. Реклоузер — устройство автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора. Помимо защитных и противоаварийных функций защиты воздушных линий передач дополнительно могут выполнять функции мониторинга и учёта характеристик и параметров электросетей. Секционирование электрической сети заключается в делении ЛЭП с помощью коммутационных аппаратов на несколько участков. Автоматическое секционирование выполняется коммутационными аппаратами, оборудованными приводами и устройствами автоматики, а в ряде случаев и релейной защитой, действующими на изменение положения аппаратов под напряжением. Аппараты, предназначенные для автоматического срабатывания, делят ЛЭП на части. При возникновении повреждения на участке между местом установки и нормальным разрезом такие аппараты обеспечивают отключение не всей ЛЭП, а лишь поврежденного участка, сохраняя питание потребителей на начальном участке.

Прогресс компаний по производству реклоузеров невозможно оценить, коммутационное оборудование производится в больших масштабах, усовершенствуется каждый год.

Из преимуществ можно выделить сравнительно не высокую стоимость установки коммутационного оборудования по сравнению с ценой на переоборудования всей системы.

Главным недостатком, или именно проблемой данного подхода можно назвать - неготовность «покупателя» перейти на новейшее оборудование, сделать шаг к ЛЭП будущего.

Оценка эффекта

Более выгодным подходом для решения задач надежности энергосистемы является использование коммутационной аппаратуры.

Основные преимущества использования реклоузеров:

- минимальное обслуживание;
- возможность оперативной оптимизации работы электросети;
- простота монтажа, эксплуатации;
- низкие затраты на обслуживание;
- возможность передачи данных оператору посредством современных методов (например, при помощи GSM-связи);
- повышение надёжности энергоснабжения, высокая скорость реагирования на нештатные режимы работы сети.

Недостатки же реклоузера присущи любому новейшему оборудованию – не качественное и не своевременное обслуживание может привести к отказу устройства.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что линии электропередач находятся в удручающем состоянии, многие элементы ЛЭП выработали свой ресурс несколько десятков лет назад, редкие - на пороге завершения нормативного срока эксплуатации. Такой уровень хозяйственной базы энергетики ведет к значительным убыткам за счет простоя линий без питания.

Были предложены два подхода к решению этой проблемы. Ключевым считаю метод, связанный с установкой коммутационного оборудования. Как уже было замечено, главным недостатком, или именно проблемой данного подхода можно назвать - неготовность «покупателя» перейти на новейшее оборудование, сделать шаг к ЛЭП будущего.

Основная цель дальнейших исследований – показать доступность, отобразить преимущества и экономическую выгоду от установки коммутационного оборудования на конкретном участке ЛЭП, что приведет к дальнейшему развитию вопросов по увеличению надежности ЛЭП.

Список использованных источников

1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ. Система определения места повреждения воздушных линий электропередачи 6-10 Кв/Брагин А.А. Издательство: Кабель (Москва), 2019 – 82-88с.

2. Арцишевский Я. Л., Серегина Т. А. Состояние и перспективы развития средств определения мест повреждения на ВЛ 110-750 кВ // Энергоэксперт. № 4, 2008. С. 74-77.
3. IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines, IEEE Std C37.144-2004.
4. Беклемешев И.С. Автоматизация распределительных сетей Гурьевского РЭС среднего класса напряжения в рамках реализации проекта «Интеллектуальные сети». Выпускная квалификационная работа (Магистерская диссертация) – Калининград, 2017 – 135с.
5. А.И. Карпов. Оптимизация количества и мест установки автоматических пунктов секционирования для повышения надёжности электроснабжения. Выпускная квалификационная работа (Магистерская диссертация) – СПб, 2018 – 80с.

ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ «УМНЫХ СЕТЕЙ» В РОССИИ

В.В. Смирнов, И.А. Муртазаев

В статье рассмотрены перспективы полномасштабного использования инновационных цифровых технологий на территории РФ. Рассмотрены достоинства и недостатки внедрения и полного перехода сети на цифровые технологии. Анализируются пилотные проекты активно-адаптивной сети

Введение

История термина «Smart Grid» или интеллектуальные берет истоки в качестве рекламного трюка для компаний, разрабатывающих контроллеры синхронизации ветрогенераторов и счетчиков электроэнергии. Цифровые технологии производства систем управления не стояли на месте, разработки шаблонов обмена данных и их кодировка перешли в стадию использования в практике. Вскоре простой маркетинговый ход преобразовался в идеологию. Цифровые технологии более экономичны при проектировании, монтаже, наладке и в эксплуатации. Вследствие обновления международных стандартов и развития современных информационных технологий открывается возможность инновационных подходов к решению задач автоматизации и управления энергообъектами, позволяя создать электроэнергетическую сеть нового типа — «Smart Grid». [2]

Что представляет собой технология «Smart Grid»?

В западном энергоснабжении понятие Smart Grid связывают с интеграцией возобновляемых источников энергии с электроэнергетическими системами и формированием, в теории, самодиагностики и самовосстановления сети. Кроме того, акцент делается на устройствах учета, соединенных в единую информационную сеть и позволяющих увеличить возможности «Зеленой энергии» позволяя организовать автоматический контроль расхода энергии при изменении погоды или смене времени суток. Также внедрение системы «Smart home» позволит потребителю участвовать в рынке электроэнергетики. В концепте, через мобильное приложение пользователь сможет следить за расходом электроэнергии через «Smart meter» - это приборы способные автоматически передавать данные о расходе коммунальных ресурсов на сервер для последующей обработки. Для обмена информацией прибор использует беспроводную связь (LPWAN) и интернет. Кроме того, смарт-счетчик предусматривает обратный канал связи. [2] То есть имеется возможность дистанционно управлять им: настраивать его параметры, вносить изменения в тарифы, также планировать возможность продажи электроэнергии. Допустим у вас на территории располагаются какой-либо источник электроэнергии и ваше собственное потребление компенсируется вырабатываемой энергией, то излишек можно продавать компании поставляющей электроэнергию, если, конечно, же это выгодно компании.

Россия, в отличие от Америки, Японии и ряда европейских стран, взяла из полного толкования понятия «умная сеть» только сеть. Это, объясняется тем, что по России

уровень изношенности объектов электросети превышает установленные ПУЭ нормативы. По данным Федеральной сетевой компании (ОАО «ФСК ЕЭС»), 25% подстанций 6-10/0,4 кВ находится в неважном состоянии, более 35% воздушных и масляных выключателей должны быть заменены более обновленной версией, в частности, из-за долгосрочной службы. Стоит заметить, что изношенность электросети повышает потери электроэнергии, которые могут быть в диапазоне 20-30%, когда обычным для стран Европы является 6-8%. Около 60% электросетей нуждаются в замене уже в ближайшее время.[3]

Из вышеуказанного можно понять, что для России «Smart Grid» - это беспрецедентное преобразование электросети и электроэнергетики, создание комплекса электроустановок: воздушных линий электропередачи, трансформаторных подстанций, выключателей и т.д., подключенных к источникам электроэнергии и потребителям. При этом должны быть использованы новые принципы электроснабжения, технологии транспортировки электроэнергии и управления процессами. Такая технология называется активно-адаптивной. Активно-адаптивной сети свойственно обладать интересными свойствами - самовосстановлением и самодиагностикой. Например, в случае обледенения проводов – сеть круглосуточно диагностирует саму себя с помощью посылы импульса. В зависимости от характера, времени и качества вернувшегося пучка энергии «умная сеть» выявит самые «слабые» участки сети и внесет изменения в ее работу для устранения возможности перебоев и даже блекаута сети. [1] «Умные» электрические сети предоставляют возможность накапливать мощности на случай всевозможных эксцессов в энергосистеме, а также накапливать избыток электроэнергии, используя его в часы пиковых нагрузок.

Перспективы «EnergyNet»

В 2017 году на Петербургском международном экономическом форуме президент Владимир Владимирович Путин призвал сформировать принципиально новую, гибкую нормативную базу для внедрения цифровых технологий во все сферы жизни. Указание касается и сферы электроэнергетики. На сегодняшний день команда национальной энергетической инициативы «EnergyNet» уже имеет дорожную карту и несколько пилотных проектов:

- 1) Реализация проекта Smart Grid в АО «Янтарьэнерго»;
- 2) Введение Smart Grid в г. Севастополь Республике Крым (создание полигона цифрового РЭС на территории Сакского района).

Проект Smart Grid в АО «Янтарьэнерго», был в направлении цифровизации одним из первых в России, и его результаты доказывают теоретические расчеты, но с экономической стороны оказался довольно дорогим. В Калининграде стояли нестандартные немецкие сети 0.23 кВ, которые нужно было заменить отечественными 0.4 кВ, также необходим Smart-ретрофит ячеек ЗРУ центров питания (замена несовременных коммутационных устройств на соответствующие нормам сегодняшнего дня вакуумные выключатели), установка реклоузеров и создание SCADA (система уровня района электрических сетей с интеграцией автоматических коммутационных аппаратов). Всё вышеуказанное и программы систем учёта и управления обошлись в ~400 млн. руб.). Вся эта сумма была затрачена только на Мамоновский и Багратионовский округ. Таким образом можно отметить, что на цифровизацию всей России уйдут гигантские средства, а даже, если это произойдёт, то период окупаемости будет в сотни лет, что в наше время при существующих технологиях абсолютно нерентабельно.

Идеи «EnergyNet» уже претворены в цифровых распределительных сетях на территории Калининградской области . А поскольку процесс совершенствования технологий идёт постоянно, севастопольский проект обещал стать ещё более «продвинутым». Однако в силу ряда причин, его реализация была сорвана. Россети, планировавшие вложить в проект 2 млрд рублей, от участия в нём отказались, и в декабре 2018 года правительство Севастополя исключило проект из числа приоритетных для Севастополя. Но на этом программа «EnergyNet» не остановилась. В 2019 году соседний регион (Республика Крым) стал новой площадкой для внедрения всех вышеперечисленных технологий в электроснабжение кабельными и воздушными линиями некоторых районов. У организации была задача: не повышая тарифа повысить качество электроснабжения для для местных сел и городов, а также – создать фундамент для будущего развития всей распределительной сети в Республике Крым. Сакский район стал перевалочным пунктом для «цифровизации» полуострова. Стартовым объектом стала «полуцифровая» подстанция в с. Штормовое. Проект «Крымэнерго» – это уже развитие с учётом глубокого анализа по результатам «Янтарьэнерго»

Указанная подстанция – лишь начало. Далее модернизируют весь Сакский РЭС. Распространить технологию «Умная сеть» на всю Республику Крым программа региона планирует на 2025 год.

Из вышеизложенного понятно, что отечественные проекты имеются. Это внушает оптимизм и даёт тенденцию к развитию системы «smart grid» в нашей стране, но только на определенных участках сети. Так как умные сети – это сети с добавлением цифровой составляющей, то необходимо заменить ныне изношенное оборудование и линии электропередач, аналоговые счётчики на цифровые, подготовить персонал для работы с новыми приборами. Подобная реорганизация всего электроэнергетического комплекса страны повлечет к гигантским затратам.

Помимо этого, необходимо понимать, что единый электроэнергетический комплекс должен будет управляться централизованно. В случае выхода из строя главного сервера, невозможным становится управление всем комплексом устройств. Это может привести не только к потере оборудования и затратам на его восстановление, но и к глобальной катастрофе. В случае распределенного управления умной сети по районам и регионам, несколько затрудняется их взаимосвязь и объединение их в единый электроэнергетический комплекс. Стоит помнить, что любое цифровое устройство имеет некоторую вероятность быть взломано злоумышленниками. Учитывая, что речь идёт о умных сетях целой страны, то необходимо серьёзно подойти к вопросу об обеспечении безопасности оборудования и предотвращению его взлома.

Из всего вышеизложенного нужно все-таки обозначить что же на самом деле обозначают определения :

- 1) Активно-адаптивная сеть (Умная сеть) – определение, заключающее в себе соображения отечественных сетевиков всего понятия «Smart Grid» . Это замена сети и установка новых выключателей для самодиагностики и самовосстановления сети. Для западных проектировщиков это же только первый этап.
- 2) Smart Grid – Концепт, носящий громкое название, но и заключающий в себе революционные цели. Кроме самодиагностики и самовосстановления включает в себя такие проекты как «Smart Home» и «Green Energy», то есть цифровизацию всей сети от источников питания до потребителя. Цифровые подстанции, цифровые счетчики, цифровые контроллеры синхронизации источников питания.

Вывод

Подводя итоги, необходимо указать, что пока Россия имеет только пилотные проекты по реализации smart grid. В целом страна пока не готова перейти на данный уровень модернизации сетей электроснабжения и всего электроэнергетического комплекса. Слишком большие затраты на её реализацию, технологические сложности организации процесса управления всем комплексом оборудования, организация кибербезопасности, отсутствие долгосрочной стратегии и рентабельности от внедрения умных сетей ставят под сомнение внедрение умных сетей в масштабах страны. Это отнюдь не означает, что умные сети не обладают никакой перспективой в России. Удачные реализованные проекты подтверждают обратное. И только на основе этого опыта спустя несколько лет использования этих систем и мониторинга их работы можно строить планы по улучшению работы системы, внедрению идей по реализации и оптимизации работы системы в масштабах страны.

Чтобы проект продвижения технологий «Smart grid» имел удачную реализацию, необходимо выполнить ряд следующих положений:

- 1) государственные инвестиции и контроль внедрения новых технологий на определенных основаниях;
- 2) переработка старой нормативно-правовой базы под новые функции сети;
- 3) объявление конечным потребителям их прав и возможностей;
- 4) предотвращение возможных спекуляций с возможностями новой сети.

Список использованных источников

1. *Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г.* Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. *Чичев С.И.* Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / *С.И. Чичев, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин.* М.: Издательский дом «Спектр», 2015. 128-134 с.
3. *Семёнов В.* Технология «Smart grid» и будущее мировой электроэнергетики // *Электрик. Международный электротехнический журнал.* 2013. № 12. С. 26–56

Научное издание

Коллектив авторов

**Современные проблемы энергетики
и экологии**

*Материалы докладов и сообщений
заочной студенческой научно-практической конференции
май-июнь 2020 года*

Технический редактор В.В. Чебоксаров

Статьи опубликованы в авторской редакции

Изд. № 303/2020. Объем 14,5 п.л. Усл. печ. л. 13,485. Уч.-изд. л. 14,21.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»