МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАБОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

METHODS FOR ANALYSIS OF POWER LINE OPERATION

УДК 621

Кретинин Кирилл Андреевич, Студент 4-го курса, Липецкий государственный технический университет, факультет автоматизации и информатики, кафедра электрооборудования. Россия, Липецк

Научный руководитель: Зацепина Виолетта Иосифовна, профессор кафедры электрооборудования, доктор технических наук, Липецкий государственный технический университет. Россия, Липецк

Kretinin Kirill Andreevich, 4th year student, Lipetsk State Technical University, Faculty of Automation and Informatics, Department of Electrical Equipment. Russia, Lipetsk

Scientific adviser: Zatsepina Violetta Iosifovna, Professor of the Department of Electrical Equipment, Doctor of Technical Sciences, Lipetsk State Technical University. Russia, Lipetsk

Аннотация. В статье анализируются существующие методы оценки технического состояния и физического износа линий электропередачи, методы оценки остаточного ресурса объекта и определения мест повреждения линий электропередачи. Рассматриваются методы диагностики и контроля опор линий электропередачи, приводятся преимущества и недостатки применяемых методик.

Annotation. The article analyzes the existing methods for assessing the technical condition and physical deterioration of power transmission lines, methods for assessing the residual resource of an object and determining the locations of

damage to power transmission lines. Methods of diagnostics and control of transmission line supports are considered, advantages and disadvantages of the applied methods are given.

Ключевые слова: методы анализа, неразрушающий контроль, техническое состояние, определение повреждений, линии электропередачи.

Key words: methods of analysis, non-destructive testing, technical condition, determination of damage, power lines.

Введение

Ключевой проблемой электроэнергетики является надёжность электроэнергетических систем, поскольку из-за происходящих в них аварий годовой недоотпуск электроэнергии достигает нескольких миллионов киловатт-часов [1]. В условиях высокой аварийности энергосистем первоочередной задачей становится всеобъемлющий анализ работы электроэнергетической системы в целом и электрических сетей в частности, поскольку надёжность всей системы напрямую зависит от надёжности линий электропередачи (ЛЭП).

Анализ работы линий электропередачи

Одна из основных задач оценки технического состояния ЛЭП заключается в выявлении факта неисправности или исправности оборудования [2]. Согласно общей классификации, все методы диагностирования ЛЭП разделяют на две группы: разрушающего (РК) и неразрушающего контроля (НК).

Для определения технического состояния отдельных конструкций проводится инструментальное обследование ЛЭП методами НК. Согласно исследованиям, приемлемыми для железобетонных конструкций являются следующие методы НК [1]:

- пластической деформации – замер параметров отпечатка, остающегося на бетонной поверхности после соударения с ней молотка Кашкарова;

- упругого отскока – фиксация величины обратного отскока склерометра Шмидта от поверхности бетона;
- ударного импульса – регистрация энергии удара, образующейся при соударении бойка и поверхности бетона;
- отрыва с одновременным скалыванием ребра конструкции – регистрация усилия, требуемого для местного разрушения бетона в ходе удаления из него анкерного устройства либо скалывания фрагмента бетона на ребре конструкции.

При простоте использования эти методы имеют существенный недостаток: с их помощью можно определить прочностные характеристики только поверхностного бетонного слоя конструкции в единственной точке.

Более универсальным является метод ультразвукового контроля, позволяющий измерять интегральные параметры прочности. Технически может осуществляться посредством сквозного ультразвукового прозвучивания, при котором датчики размещаются с разных сторон изучаемого образца, и поверхностного ультразвукового прозвучивания, при котором датчики располагаются с одной стороны. Посредством этого метода можно контролировать прочность как приповерхностных слоёв, так и всего объёма бетона конструкции.

Важным фактором, определяющим техническое состояние железобетонных конструкций, является коррозия арматуры. К методам НК коррозионного состояния арматуры относят [3]:

1. Метод состояния полуэлемента. Основан на измерении потенциала микрогальванической пары, появляющегося в ходе химической реакции между телом бетона и металлом арматуры. Результативен только при начале коррозии арматуры.

2. Метод удельного электрического сопротивления. Может проводиться посредством одного, двух либо четырёх электродов, с помощью которых определяется удельное электрическое сопротивление бетона. Метод позволяет определить вероятность образования коррозии на ранних стадиях.

Для определения прочности железобетонной опоры можно использовать механические испытания [1]. В этом случае контрольная нагрузка, при которой фиксируется разрушение, определяется по определённым формулам.

Прямое определение физического износа ЛЭП осуществляется с применением средств технического диагностирования при участии обслуживающего персонала. Собранные данные сопоставляются с нормативными значениями, после чего на основе оценки физического состояния высчитывается процент физического износа объекта. Косвенные методы оценки физического износа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Косвенные методы оценки физического износа [4]

Метод	Базовая формула	Достоинства	Недостатки
Метод хронологического возраста	$F_T = \frac{T_ф}{T_н} \times 100\%$, где $T_ф$ – фактический возраст объекта, лет $T_н$ – нормативный срок службы, лет	Простота расчёта	Вероятность ремонта или замены отдельных элементов в процессе эксплуатации приводит к значительным погрешностям при расчёте
Метод начисленной амортизации	$F_S = \frac{S_a}{S_n} \times 100\%$, где S_a – начисленная амортизация за период эксплуатации объекта, у.е. S_n – изначальная стоимость объекта, у.е.	Простота расчёта	Недостаточная точность расчётов при постоянном изменении начисленной амортизации или изначальной стоимости после проведения переоценки объекта, необходимость регулярного проведения переоценки и снижение точности расчётов при невозможности проведения капитализации

Для оценки остаточного ресурса ЛЭП применяют следующие методы [1]:

1. Нечёткая логика. Для оценки устанавливаются весовые коэффициенты влияющих факторов, приводимые к наибольшему значению.

2. Замер циклов колебаний. Метод основан на предположении, согласно которому накопление повреждений осуществляется линейно, а на процесс накопления воздействует последовательность возникновения разноуровневых напряжений.

3. Магнитная дефектоскопия. Оценка проводится по остаточной прочности [5].

Для определения мест повреждения ЛЭП применяется множество методов, разделяемых на [6]:

1. Дистанционные, в которых задействованы физические принципы, основанные на вызванных повреждениями линии изменениях параметров физических величин. Их основной недостаток – необходимость отключения линии. Делятся на следующие методы:

- стоячих волн – измеряется полное входное сопротивление испорченной ЛЭП в широком диапазоне частот;
- локационный – замер времени между отправкой в ЛЭП электрического импульса и моментом прихода отражённого импульса к началу линии;
- волновые – определение моментов прихода образующихся в месте повреждения ЛЭП электромагнитных волн на подстанцию;
- петлевой – замер сопротивления отключённых жил кабеля постоянному току;
- ёмкостный – измерение ёмкости жил кабеля от точки обрыва до точки контроля.

2. Топографические, при использовании которых места повреждений устанавливаются визуально либо посредством электромагнитных устройств при перемещении персонала вдоль линии. Включают ряд методов:

- индукционный – измерение электромагнитного поля токов, протекающих в земле вдоль трассы и по проводам;
- электромеханический – фиксация механических усилий, формируемых посредством тока короткого замыкания;

• акустический – улавливание на трассе механических колебаний, появляющихся на поверхности грунта во время искрового разряда в изоляции ЛЭП;

• потенциальный – фиксация вдоль трассы создаваемых протекающим по оболочке ЛЭП током электрических потенциалов.

По моделям электрических цепей методы подразделяются на низко- и высокочастотные [7]. В первых применяются частоты от нуля до нескольких килогерц, а во вторых – в десятки килогерц.

Топографические методы отличаются большей точностью и сложностью, тогда как дистанционные более просты в эксплуатации и экономичны, но менее точны. Сильнее всего информационный сигнал искажается при применении волнового метода, а меньше всего – при методе стоячих волн, что делает потенциальную точность последнего выше сравнительно с другими методами.

Диагностика и контроль опор линий электропередачи

Важной задачей при анализе работы линий электропередачи является определение технического состояния опор ЛЭП. Для диагностики деревянных опор ЛЭП применяются следующие методы [8]:

1. Визуальные – визуальный осмотр опоры с фиксацией внешних признаков деградации или повреждения материала. Субъективны и неточны.

2. Акустический – оценка степени затухания звуковой волны при простукивании. Эффективный, но неточный из-за человеческого фактора.

3. Инвазивный – замер разности плотности дефектной и здоровой древесины. Не даёт полной картины из-за точечной оценки.

4. Механические – фиксация изменения угла наклона опоры относительно изначального положения под воздействием приложенного к основанию опоры механического усилия. Дают оценку конкретной области.

5. Ультразвуковые – измерение периода распространения ультразвуковой волны в разных средах. Позволяют оценить конкретную область или сечение.

6. Комбинированный – одновременное измерение плотности и влажности древесины. Даёт оценку конкретной области.

Значительным недостатком большей части этих методов является применение РК. Более перспективным и точным считается резонансный метод НК, основанный на фиксации частот собственных колебаний опор ЛЭП, возникающих при внесении в них энергетического импульса.

Заключение

Новые методы и технологии для анализа работы сложных электроэнергетических систем и иерархически связанных с ними линий электропередачи базируются на применении различных информационных систем поддержки. Развитие неразрушающих методов контроля и стратегий управления определяет особенности решения рассматриваемых технических задач посредством комплексных экспертных систем. Использование современных технологий и методов анализа позволит поддерживать необходимый уровень качества, надёжности и экономичности линий электропередачи.

Список литературы

1. Утеулиев Б.А. Разработка методов и средств оценки остаточного ресурса воздушных линий электропередачи: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Бауыржан Айдилдаевич Утеулиев; Новосиб. гос. тех. ун-т. – Новосибирск, 2018. – 201 с.
2. Александров Н.В. Методы и средства для определения повреждений электрооборудования сетевого комплекса АПК // Инновационная наука. – 2017. – № 2-1. – С. 15-19.
3. Пузанов А.В., Улыбин А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций // Инженерностроительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 18-24.
4. Утеулиев Б.А. Оценка физического износа воздушных линий электропередачи // Энергия единой сети. – 2018. – № 4 (40). – С. 80-89.

5. Волоховский В.Ю. Оценка технического состояния воздушных линий электропередач методами магнитной дефектоскопии / В.Ю. Волоховский, А.Н. Воронцов, В.В. Сухоруков, В.В. Цуканов, В.А. Шкапцов, М.С. Артемьев, В.В. Чернецов // Энергия единой сети. – 2016. – № 1 (24). – С. 42-51.
6. Киржацких Е.Р., Козлов В.К. Обзор методов определения места повреждения в сетях 6-35 кВ // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. Материалы XIII Всероссийской открытой молодёжной научно-практической конференции. – Казань, 2018. – С. 66-70.
7. Кузнецова Н.С. Рефлектометр с автоматической коррекцией методической погрешности для определения места повреждения линии электропередачи: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16 / Надежда Сергеевна Кузнецова; Волгоград. гос. тех. ун-т. – Волгоград, 2017. – 111 с.
8. Белалами С. Неразрушающий контроль опор линий электропередачи методом свободных колебаний: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / Салим Белалами; С.-Петерб. горн. ун-т. – Санкт-Петербург, 2017. – 200 с.

List of references

1. Uteuliev B.A. Development of methods and means for assessing the residual resource of overhead power transmission lines: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.14.02 / Bauirzhan Aydildaevich Uteuliev; Novosib. state those. un-t. - Novosibirsk, 2018 .-- 201 p.
2. Alexandrov N.V. Methods and means for determining the damage to electrical equipment of the network complex of the agro-industrial complex // Innovative Science. - 2017. - No. 2-1. - S. 15-19.
3. Puzanov A.V., Ulybin A.V. Methods of inspection of the corrosion state of reinforcement of reinforced concrete structures // Engineering journal. - 2011. - No. 7. - S. 18-24.

4. Uteuliev B.A. Assessment of physical deterioration of overhead power transmission lines // Energy of a single network. - 2018. - No. 4 (40). - S. 80-89.
5. Volokhovsky V.Yu. Assessment of the technical condition of overhead power lines using magnetic flaw detection methods / V.Yu. Volokhovsky, A.N. Vorontsov, V.V. Sukhorukov, V.V. Tsukanov, V.A. Shkaptsov, M.S. Artemiev, V.V. Chernetsov // Energy of a single network. - 2016. - No. 1 (24). - S. 42-51.
6. Kirzhatskikh E.R., Kozlov V.K. Review of methods for determining the location of damage in 6-35 kV networks // Dispatching and control in the electric power industry. Materials of the XIII All-Russian Open Youth Scientific and Practical Conference. - Kazan, 2018 .-- S. 66-70.
7. Kuznetsova NS Reflectometer with automatic correction of the methodical error for determining the location of damage to the power line: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.11.16 / Nadezhda Sergeevna Kuznetsova; Volgograd. state those. un-t. - Volgograd, 2017 .-- 111 p.
8. Belalami S. Nondestructive testing of power transmission line supports by the method of free oscillations: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.11.13 / Salim Belalami; St. Petersburg. forge. un-t. - St. Petersburg, 2017 .-- 200 p.