

МОНИТОРИНГ АВАРИЙНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

А.И. Гавриченко, В.А. Чернышов, Е.А. Печагин

ГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел; ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент В.Ф. Калинин

Ключевые слова и фразы: аварийность электрической сети; мониторинг; однофазные замыкания на землю; погодноклиматические факторы; техническое состояние; электропоражения.

Аннотация: Разработана методика прогнозирования однофазных замыканий на землю в линиях, имеющих разные длину и техническое состояние, для теплого и холодного периодов года, повышающая электробезопасность сельских электрических сетей с изолированной нейтралью.

В отрасли животноводства и растениеводства наблюдается негативная динамика распределения электропоражений от высоковольтных линий (ВЛ) 10 кВ – с 9 случаев в 1992 г. до 15 в 2002 г. при выполнении работ в животноводстве и соответственно с 7 до 18 в растениеводстве [1–3]. Данное обстоятельство связано с наращиванием темпов производства сельскохозяйственной продукции, то есть с активизацией производственных работ, в том числе и вблизи с трассами ВЛ 10 кВ, а также в связи с ухудшением технического состояния сельских сетей.

Существующий метод прогнозирования повреждений в распределительных сетях 10 кВ, основанный на влиянии погодноклиматических факторов, не учитывает технические параметры линий электропередачи. Кроме того, данный метод не учитывает то, что в течение года на возникновение повреждений влияют разные погодноклиматические факторы, например в теплое время года – грозовая деятельность, в холодное – гололедица и т.п. Прогнозирование по месяцам ограничивает возможности, в

Гавриченко А.И. – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» ОрГАУ; Чернышов В.А. – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение» ОрГАУ, г. Орел; Печагин Е.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматизация» ТамбГТУ, г. Тамбов.

случае необходимости получения данных за более короткий период времени, например за декаду.

На основании вышеизложенного разработан метод прогнозирования однофазных замыканий на землю, который позволит энергетическим предприятиям осуществлять подекадный мониторинг аварийности распределительной сети, и планировать целенаправленное распределение сил и средств для разных категорий линий, обеспечивая при этом их безопасную работу.

Для решения поставленной задачи на основании метода экспертных оценок, проведенного среди специалистов Орловских электрических сетей, ВЛ 10 кВ были классифицированы на следующие категории, по длине – до 25 км; от 25 до 50 км и более 50 км, по техническому состоянию – хорошее; удовлетворительное; неудовлетворительное.

Для каждой категории линий был осуществлен сбор информации о количестве однофазных замыканий на землю (ЗНЗ) по декадам в течение трех лет.

На рис. 1 в качестве примера представлена гистограмма распределения однофазных замыканий на землю на 100 км по декадам для 2004–2006 г. для линий 10 кВ Орловских электрических сетей, длиной до 25 км, находящихся в удовлетворительном техническом состоянии.

Гистограмме свойственны два ярко выраженных периода, характеризующихся плавным ростом числа замыканий и последующим их снижением, это период с апреля по вторую декаду октября включительно, а также период с третьей декады октября по март включительно. Данное обстоятельство объясняется действием разных погодно-климатических факторов, свойственных каждому периоду. Техническое состояние и длина также определяют количество замыканий, возникающих на линии, это объясня-

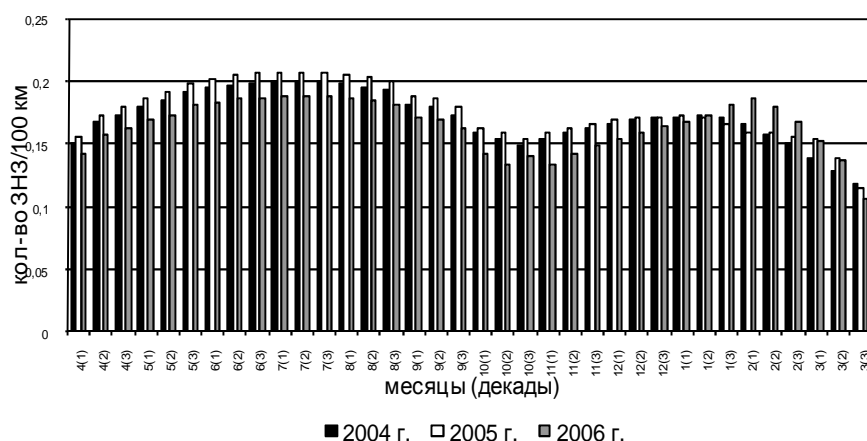


Рис. 1. Гистограмма распределения однофазных замыканий на землю на 100 км по декадам за 2004–2006 г. для линий длиной до 25 км, находящихся в удовлетворительном техническом состоянии

ется тем, что линии, находящиеся в плохом техническом состоянии более уязвимы в отношении возникновения однофазных замыканий на землю, а

протяженные линии имеют множество ответвлений, при этом сечение их провода, как правило, ниже рекомендованного по условию обеспечения механической прочности.

Таким образом следует, что количество замыканий на землю воздушных линий 10 кВ, имеющих разные длину и техническое состояние, находится в определенной зависимости от погодных-климатических факторов, что позволяет для каждой категории линий применить методы вероятного прогнозирования, основанные на применении элементов регрессионного анализа.

В качестве основных погодных-климатических факторов, влияющих на количество замыканий на землю, были выбраны следующие:

– теплый период (с апреля по вторую декаду октября включительно):

X_1 – средняя декадная температура поверхности, °С;

X_2 – средняя декадная скорость ветра, м/с;

X_3 – количество осадков за декаду, мм;

X_4 – количество часов грозовой деятельности за декаду, ч.

– холодный период (с третьей декады октября по март включительно):

X'_1 – средняя декадная температура воздуха, °С;

X'_2 – средняя декадная скорость ветра, м/с;

X'_3 – количество осадков за декаду, мм;

X'_4 – количество дней с гололедной нагрузкой за декаду, дн.

На основании данных метеостанции г. Курска, а также справочных данных [4] был произведен выбор уровней и интервалов варьирования выбранных факторов, натуральные значения уровней факторов переводили в кодовые безразмерные величины (кодировали) по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (1)$$

где X_i – кодовое значение i -го фактора; x_i – натуральное текущее значение i -го фактора; x_{i0} – основной уровень фактора; Δx_i – интервал (полуинтервал) варьирования i -го фактора.

Рассчитанные кодированные значения факторов для нижнего и верхнего уровней варьирования соответственно равны: $X_i^{\text{HY}} = -1$; $X_i^{\text{BY}} = 1$.

Для описания зависимости количества замыканий на землю Y от четырех влияющих факторов X_1, X_2, X_3, X_4 использовалось уравнение первого порядка:

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + \\ & + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + b_{123} X_1 X_2 X_3 + b_{124} X_1 X_2 X_4 + \\ & + b_{134} X_1 X_3 X_4 + b_{234} X_2 X_3 X_4 + b_{1234} X_1 X_2 X_3 X_4. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты уравнения регрессии определяются с использованием зависимостей:

$$\begin{aligned}
b_0 &= \frac{\sum_{U=1}^N X_0 y_{UC}}{N}; & b_i &= \frac{\sum_{U=1}^N X_i y_{UC}}{N}; & b_{ij} &= \frac{\sum_{U=1}^N X_i X_j y_{UC}}{N}; \\
b_{ijk} &= \frac{\sum_{U=1}^N X_i X_j X_k y_{UC}}{N}; & b_{ijkl} &= \frac{\sum_{U=1}^N X_i X_j X_k X_l y_{UC}}{N}, & & (3)
\end{aligned}$$

где y_{UC} – среднее за три года значение количества замыканий за декаду

После нахождения коэффициентов уравнения для разных категорий и периодов года и проверки их статической значимости с помощью критерия Стьюдента, уравнения принимают законченный вид.

В качестве примера представим полученные уравнения для ранее рассмотренной категории линий – длиной до 25 км, находящихся в хорошем техническом состоянии, для теплого и холодного периодов года.

Уравнение регрессии для линий длиной от 0 до 25 км, находящихся в хорошем техническом состоянии, для теплого периода года,

$$\begin{aligned}
Y &= 0,1017438 + 0,0042429X_1 + 0,0018000X_2 + 0,0042858X_4 - \\
&- 0,0018964X_1X_2 - 0,0023036X_1X_4 + 0,0017464X_1X_2X_3X_4. & (4)
\end{aligned}$$

Уравнение регрессии для линий длиной от 0 до 25 км, находящихся в хорошем техническом состоянии для холодного периода года,

$$\begin{aligned}
Y &= 0,0857563 + 0,0059305X'_1 + 0,0015076X'_2 + 0,0036476X'_4 - \\
&- 0,0020935X'_1X'_2 - 0,0018399X'_1X'_4 + 0,0020971X'_1X'_2X'_4 + \\
&+ 0,0017005X'_2X'_3X'_4. & (5)
\end{aligned}$$

Проверка адекватности полученных уравнений по F-критерию (критерию Фишера) доказывает то, что они достаточно точно характеризуют влияние рассматриваемых факторов на возникновение замыканий на землю.

На основании полученных результатов и анализа уравнения регрессии можно сделать следующие выводы.

Наибольшее влияние на возникновение замыканий на землю за декаду в теплый период оказывает средняя декадная температура поверхности, в холодный период – средняя декадная температура воздуха. Существенное воздействие на возникновение замыканий на землю оказывает количество часов грозовой деятельности за декаду, особенно сильное воздействие грозы сказывается при относительно низких летних температурах, примерно такое же воздействие оказывает количество дней с гололедной нагрузкой за декаду. Менее значительное влияние в течение теплого и холодного периодов года оказывает средняя декадная скорость ветра, причем влияние ветра усиливается при снижении средней декадной температуры. Отдельного влияния количества осадков за декаду в течение года практически не наблюдается, однако совместное влияние осадков с другими погодными факторами оказывает воздействие на возникновение замыканий на землю.

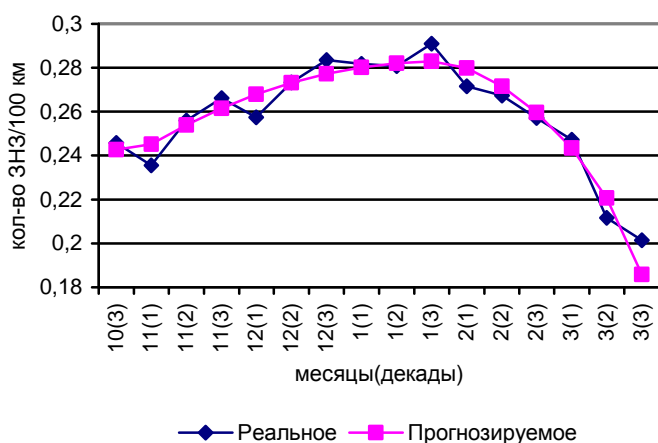


Рис. 2. Кривые распределения реальных и прогнозируемых замыканий на землю по декадам для холодного периода на линиях протяженностью до 25 км, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии:

Разработанный метод прогнозирования однофазных замыканий на землю для различных категорий линий, позволяет своевременно повышать их техническое состояние, что обеспечивает снижение вероятности возникновения данных повреждений, а следовательно повышает безопасность сети.

Рассмотрим кривые распределения реальных и прогнозируемых замыканий на землю для холодных периодов года на примере одной из самых распространенных категорий линий (рис. 2). Очевидно, что наиболее целесообразно было бы провести ремонтно-восстановительные работы в конце марта или же в конце октября. Также стоит отметить, что наибольшая аварийность будет происходить в период с конца декабря по начало февраля, поэтому службы должны быть к этому подготовлены.

Согласно проведенным исследованиям, поддержание всех элементов Орловской распределительной сети 10 кВ в течение года в хорошем техническом состоянии, способствует сокращению общего количества замыканий на землю более чем в два раза, что в среднем позволяет предотвратить возникновение до семи несчастных случаев разной степени тяжести за год.

Список литературы

1. Анализ состояния производственного травматизма с летальным исходом за 1997 год. – Орел : Изд-во ФГНУ ВНИИОТ Минсельхоза России, 1998. – 37 с.
2. Состояние условий и охраны труда в России в 2002 году и меры по их улучшению. Национальный доклад. – Москва, 2003. – 94 с.
3. Состояние производственного травматизма в АПК России в 2002 году. – Орел : 2003. – 77 с.
4. ГОСТ 16350–80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. – Введ. 1980. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 140 с.

Monitoring of Breakdown Rate of Electrical Equipment of Village Distribution Networks

A.I. Gavrichenko, V.A.Chernyshov, E.A. Pechagin

Orel State Agrarian University, Orel

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: electrical network breakdown rate; monitoring; monophasе ground return; weather impact; technical condition; electrical shock.

Abstract: Forecasting technique of monophasе ground return for hot and cold seasons is developed. The technique is valid for networks of different length and various technical condition. It improves the electrical safety of rural electrical network with insulated neutral.

© А.И. Гавриченко, В.А. Чернышов, Е.А. Печагин, 2008