

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ*

В. А. Чернышов¹, А. А. Чернышов¹, Е. А. Печагин², М. Г. Егоров²

*Кафедра «Электроснабжение»,
ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет» (1);
кафедра «Электроэнергетика», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (2);
pechagin_ea@mail.ru*

Ключевые слова: аварийность электрической сети; мониторинг; однофазные замыкания на землю; погодно-климатические факторы; техническое состояние; электропоражения.

Аннотация: Существующие в настоящее время методы оценки технического состояния линий электропередачи не предусматривают критерий, обобщающий параметры технического состояния ее элементов: опор, изоляторов, проводов, трассы линии. Разработан обобщенный критерий, позволяющий более объективно и дифференцированно, качественно и количественно оценить техническое состояние линии электропередачи распределительной сети с учетом состояния отдельных ее элементов и получить сведения для оценки безопасности.

Для оценки эксплуатационной безопасности электрической сети обоснован критерий эксплуатационной безопасности электрической сети, который выражается функцией $K(n, m)$, где n – общая протяженность линий, входящих в рассматриваемую электрическую распределительную сеть; m – протяженность линий, находящихся в хорошем техническом состоянии.

Структура функции $K(n, m)$ может быть записана в виде формулы

$$K = \alpha_1 t + \beta_1 t^2, \quad (1)$$

где α_1, β_1 – безразмерные параметры линейной модели критерия эксплуатационной безопасности электрической распределительной сети; t – отношение протяженности линий m , находящихся в хорошем техническом состоянии, к общей протяженности линий, входящей в электрическую распределительную сеть; изменяется в пределах $0 \leq t \leq 1$.

Безразмерные параметры линейной модели α_1, β_1 критерия эксплуатационной безопасности электрической распределительной сети, при вышеуказанных значениях t , определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} \alpha_1 + \beta_1 = 1 \\ 2\alpha_1 + \beta_1 = 2,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha_1 = 1,5; \\ \beta_1 = -0,5; \end{cases} \quad (2)$$

– при условии, что $t = 1 \rightarrow K = 1$, то есть $\alpha_1 + \beta_1 = 1$;

– при условии, что $t = 0,5 \rightarrow K = 5/8$, то есть $0,5\alpha_1 + 0,25\beta_1 = 0,625$.

* По материалам доклада на конференции «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах» (см. 2015. Т. 21, № 3).

Таким образом, критерий эксплуатационной безопасности электрической распределительной сети определяется уравнением

$$K = 1,5 \frac{m}{n} - 0,5 \frac{m^2}{n^2} = \frac{(3n - m)m}{2n^2}. \quad (3)$$

Задавая исходные данные общей протяженности линий, например $n = 120 \dots 200$ км, и протяженности рассматриваемых линий, находящихся в хорошем техническом состоянии, например $m = 40 \dots 120$ км, и вводя функцию для расчета критерия эксплуатационной безопасности электрической сети, построим графики зависимости критерия эксплуатационной безопасности сети от общей протяженности линий и протяженности линий, находящихся в хорошем техническом состоянии (рис. 1).

При увеличении протяженности линий, находящихся в хорошем техническом состоянии, критерий эксплуатационной безопасности K увеличивается. При увеличении общей протяженности линий, входящих в рассматриваемую электрическую сеть, критерий безопасности K снижается. Из графика (см. рис. 1, а) можно сделать вывод, что при равных общей протяженности и протяженности линий, находящихся в хорошем состоянии, критерий эксплуатационной безопасности $K = 1$, то есть эксплуатация электрической распределительной сети теоретически наиболее безопасна [1].

Приведем обоснование обобщенного критерия технического состояния линии электропередачи распределительной сети с изолированной нейтралью, в котором учтены:

- число оцениваемых элементов воздушной линии (ВЛ);
- вариация баллов при оценке: $\bar{t} \in [1; 10]$;
- нормируемый критерий технического состояния $0 \leq T \leq 1$.

Критерий технического состояния записывается формулой

$$T = AS_1 + BS_2 + CS_3, \quad (4)$$

где $S_1 = \sum_{i=1}^n t_i$ – сумма баллов при оценке элемента ВЛ; $S_2 = \sum_{i=1}^n t_i^2$ – сумма квадратов

баллов при оценке элемента ВЛ; $S_3 = \sum_{i=1}^n t_i^3$ – сумма кубов баллов при оценке элемента ВЛ; A, B, C – параметры.

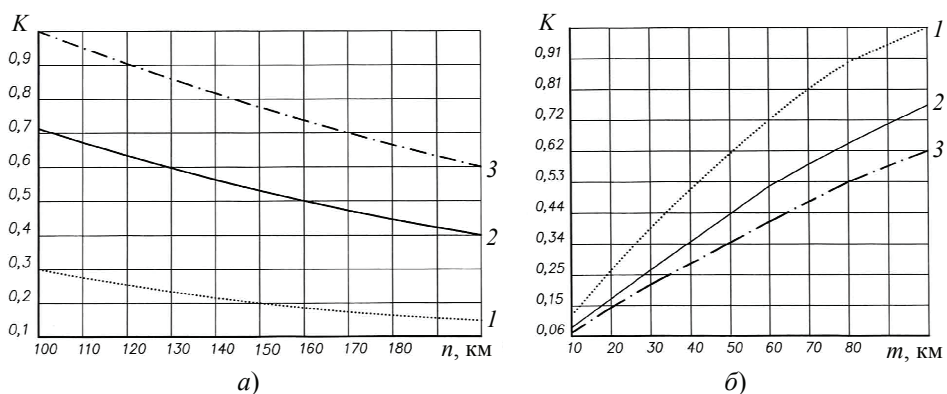


Рис. 1. Зависимость критерия эксплуатационной безопасности K :

a – от общей протяженности линий распределительной сети n при различных значениях m , км: 1 – 20; 2 – 60; 3 – 100

б – протяженности линий в хорошем техническом состоянии m при различных значениях n , км: 1 – 100; 2 – 150; 3 – 200

Эти суммы принимают наименьшее значение, если все показатели технического состояния линии оценены баллом 1, при:

$$S_1 = n, \quad S_2 = n, \quad S_3 = n \quad \text{и} \quad T = 0.$$

Среднее значение суммы принимают в случае, когда все показатели технического состояния элементов ВЛ имеют оценку 5 баллов:

$$S_1 = 5n, \quad S_2 = 25n, \quad S_3 = 125n \quad \text{и} \quad T = 0,5.$$

Максимальное значение суммы принимают в случае, когда все показатели технического состояния элементов ВЛ имеют оценку 10 баллов:

$$S_1 = 10n, \quad S_2 = 100n, \quad S_3 = 1000n \quad \text{и} \quad T = 1.$$

Для определения параметров A, B, C составим систему уравнений:

$$\begin{cases} An + Bn + Cn = 0; \\ A \cdot 5n + B \cdot 25n + C \cdot 125n = 0,5; \\ A \cdot 10n + B \cdot 100n + C \cdot 1000n = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Выполнив математические преобразования, получим:

$$Cn = -1/360; \quad Bn = 1/24; \quad An = -7/180; \quad (6)$$

Подставив найденные значения A, B, C в формулу (4) и сделав преобразования, получим формулу для оценки обобщенного критерия технического состояния линии электропередачи распределительной сети с изолированной нейтралью

$$T = \frac{15S_2 - 14S_1 - S_3}{360n}. \quad (7)$$

На основании экспертной оценки критерия технического состояния линий электропередачи, проведенного среди ведущих специалистов Орловских, Мценских, Ливенских электрических сетей Орловской области, было проведено его деление на три диапазона, определяющих техническое состояние линии электропередачи: $0 \leq T \leq 0,3$ – неудовлетворительное; $0,3 < T \leq 0,6$ – удовлетворительное; $0,6 < T \leq 1,0$ – хорошее.

Зависимости величины обобщенного критерия технического состояния линии электропередачи распределительной сети с изолированной нейтралью от суммы баллов при оценке параметров технического состояния отдельных ее элементов представлена на рис. 2.

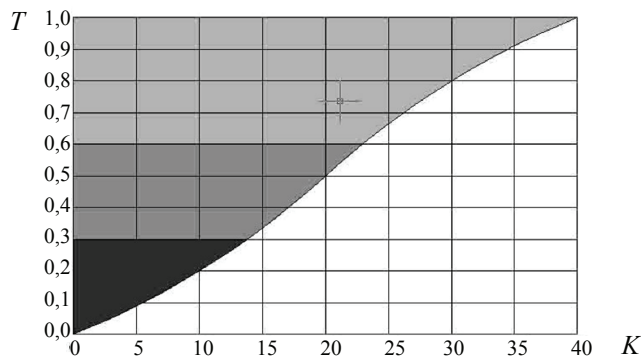


Рис. 2. Зависимость обобщенного критерия технического состояния линии от суммы баллов экспертной оценки параметров технического состояния отдельных элементов линии:

■ – неудовлетворительное; ▒ – удовлетворительное; □ – хорошее

Показатель аварийности ВЛ 10 кВ в расчете на 100 км линий составляет шесть-семь аварий в год для районов с умеренным климатом и 20 – 30 аварий в год для районов со сложными климатическими условиями.

При этом отметим, что любая распределительная сеть включает в себя линии электропередачи 10 кВ разной длины, отличающиеся друг от друга техническим состоянием, и соответственно числом повреждений. Также необходимо принять во внимание и тот факт, что распределение замыканий на землю в течение года неравномерно и определяется степенью влияния погодно-климатических факторов, зависящих от времени года, месяца и даже декады.

Таким образом, существующий показатель аварийности сети в расчете на 100 км линий в год не позволяет энергетическим предприятиям контролировать аварийность отдельных категорий линий и обеспечивать их надежную и безопасную работу в течение года.

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 [2].

Список литературы

1. Чернышов, В. А. Безопасная эксплуатация электрических сетей с изолированной нейтралью при возникновении замыканий на землю / В. А. Чернышов // Система управления экологической безопасностью : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. / Урал. гос. техн. ун-т. – Екатеринбург, 2007. – С. 298 – 302.

2. Водяников, В. Т. Экономическая оценка средств электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства и систем сельской энергетики : учеб. пособие / В. Т. Водяников ; Московский гос. агроинженер. ун-т. – М. : МГАУ, 1997. – 230 с.

A Generalized Criterion of Operational Safety of Distribution Network with Isolated Neutral

V. A. Chernyshov¹, A. A. Chernyshov¹, E. A. Pechagin², M. G. Egorov²

Department "Power Supply", Orel State Agrarian University (1);

Department "Electrical Engineering", TSTU (2);

pechagin_ea@mail.ru

Keywords: electrical network breakdown rate; electrical shock; monitoring; monophasе ground return; technical condition; weather and climatic factors.

Abstract: The current methods of assessing technical conditions of power lines do not include the criterion, which summarizes the parameters of technical conditions of its elements: supports, insulators, wires, line routes. We developed a generalized criterion, which allows for more objective and differentiated, qualitative and quantitative assessment of the technical condition of the power line distribution network given the state of its individual elements and getting information for safety assessment.

References

1. Chernyshov V.A. *Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu* (The system of environmental safety management), Proceedings of the International scientific and practical conference, Ekaterinburg, 2007, pp. 298-302.
2. Vodyanikov V.T. *Ekonomicheskaya otsenka sredstv elektrifikatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva i sistem sel'skoi energetiki* (Economic evaluation tools electrification and automation of agricultural production and rural energy systems), Moscow: MGAU, 1997, 230 p.

Zusammengefasstes Kriterium der Betriebssicherheit des Stromversorgungsnetzes mit dem isolierten Neutralleiter

Zusammenfassung: Die zur Zeit existierenden Methoden der Einschätzung des technischen Zustandes der Energieübertragungsleitungen berücksichtigen keine Kriterien, die die Parameter des technischen Zustandes ihrer Elementen – der Stützen, der Isolatoren, der Leitungen, der Strecken verallgemeinern. Es ist das zusammengefasste Kriterium erarbeitet, das erlaubt es, den technischen Zustand der Energieübertragungsleitungen des Stromversorgungsnetzes mit Rücksicht auf den Zustand seiner einzelnen Elementen objektiver und differenzierter, qualitativer und quantitativer einzuschätzen und die Angaben für die Einschätzung der Sicherheit zu erhalten.

Critère généralisé de la sûreté d'exploitation du réseau de distribution avec le neutre isolé

Résumé: Les méthodes actuelles d'évaluation de l'état technique des lignes de transmission ne prévoient pas de critère généralisant les paramètres de l'état technique de ses éléments: supports, isolateurs, câbles, itinéraire de la ligne. Est élaboré un critère généralisé permettant d'évaluer plus objectivement et de manière différenciée, à la fois qualitativement et quantitativement l'état technique de la ligne de transmission du réseau de distribution compte tenu de l'état de certaines éléments et d'obtenir des informations pour l'évaluation de la sécurité.

Авторы: *Чернышов Вадим Алексеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»; *Чернышов Алексей Алексеевич* – магистрант кафедры «Электроснабжение», ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»; *Печагин Евгений Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика»; *Егоров Максим Геннадьевич* – магистрант кафедры «Электроэнергетика», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Глинкин Евгений Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
