

А. В. Стрижиченко, В. Д. Лозовой

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

**Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»
(филиал), г. Волжский, Россия**

strizhichenko@vfmei.ru, vladim.lozovoi@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку:

Александр Васильевич Стрижиченко, Strizhichenko@vfmei.ru

В процессе эксплуатации воздушные линии электропередачи (далее ВЛЭП) подвержены различным воздействиям, результатом которых может стать изменение характеристик используемого провода. Контроль состояния ВЛ является неотъемлемой частью процесса эксплуатации, так как персоналу необходимо регулярно обслуживать воздушные линии электропередачи для их надежной и безопасной работы.

Целью исследования является разработка методики, использование которой поможет быстро и своевременно определять состояние воздушной линии в реальном времени.

По окончании исследований коэффициент состояния воздушной линии электропередачи предполагается использовать совместно с системой мониторинга гололедообразования и стрел провеса при телемеханизации воздушных линий.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, стрела провеса, ток, класс напряжения, количество цепей, тип опоры, состояние воздушной линии

A. V. Strizhichenko, V. D. Lozovoy

METHOD FOR ASSESSING THE CONDITION OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Volzhskiy, Russia

During operation, overhead power lines (hereinafter OPL) are subject to various influences, which can result in changes to the characteristics of the conductor used. Condition monitoring of overhead lines is an integral part of the operational process, as personnel need to regularly maintain overhead power lines to ensure their reliable and safe operation.

The objective of this research is to develop a coefficient, the use of which will help to quickly and timely determine the condition of an overhead line in real time.

Upon completion of the research, the overhead power line condition coefficient is intended to be used in conjunction with a system for monitoring ice formation and sag for the telemechanization of overhead lines.

Keywords: overhead power line, sag, current, voltage class, number of circuits, support type, overhead line condition

Для обеспечения безопасной эксплуатации воздушной линии методом отслеживания ее стрелы провеса необходимо учитывать состояние проводов. Для этого введем коэффициент состояния воздушной линии электропередачи.

$$K_{\text{СВЛ}} = (P_I \cdot k_I + P_H \cdot k_H + P_U \cdot k_U + P_O \cdot k_O + P_N \cdot k_N) \cdot k_{\text{авар}} \quad (1)$$

где P_U – весовой коэффициент по классу напряжения воздушной линии электропередачи; P_I – весовой коэффициент по превышению допустимого значения тока, P_H – весовой коэффициент по превышению проектной стрелы провеса; P_O – весовой коэффициент по типу опоры; P_N – весовой коэффициент по количеству цепей воздушной линии электропередачи; $k_{\text{авар}}$ – коэффициент аварийности.

Предлагаемый коэффициент состояния воздушной линии электропередачи зависит от класса напряжения линии, превышения допустимого тока выбранного сечения, отклонения

фактического значения стрелы провеса от проектной, типа опоры, а также количества цепей.

Для расчета коэффициента и получения итогового состояния линии для каждого коэффициента из зависимости (P_U, P_I, P_H, P_O, P_N) задается весовое значение, указанное в табл. 1, основанное на оценке степени важности рассматриваемых параметров. Значение коэффициента состояния воздушной линии варьируется от 0 до 1. Коэффициент аварийности принимается за 1 в случае отсутствия аварии или 0 при возникновении аварии.

Таблица 1

Весовые значения коэффициентов

Коэффициент	P_I	P_H	P_U	P_O	P_N
Значение коэффициента	0,5	0,395	0,12	0,07	0,02

Наиболее важную роль среди рассматриваемых параметров играют токовые нагрузки, а также превышение проектной стрелы провеса провода. Класс напряжения, тип опоры и количество цепей воздушной линии электропередачи также оказывают влияние на итоговое значение коэффициента, но в значительно меньшей степени. Такая оценка влияния токовых нагрузок может быть обусловлена тем, что при сильном превышении допустимых значений тока в проводе режим работы воздушной линии

электропередачи сильно ухудшается, так как длительное воздействие такого режима сильно снижает заводские характеристики и требует немедленного принятия решений по его устранению.

Помимо весовых значений указанных выше коэффициентов, для более точного расчета вводятся отдельные значения параметров, указанных в таблицах 2–6, величина которых зависит от степени влияния этого параметра на режим работы ВЛЭП.

Таблица 2

Параметр класса напряжения ВЛЭП

Класс напряжения	6(10) кВ	35 кВ	110 кВ	220 кВ	500 кВ
Значение параметра k_U	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2

Значение параметра k_U зависит от класса напряжения ВЛЭП, а точнее – чем выше класс

напряжения, тем ниже значение параметра.

Таблица 3

Параметр отклонения значения тока от допустимого

Отклонение	$1,05 I_{\text{доп}}$	$1,05 I_{\text{доп}} < I_{\phi} < 1,1 I_{\text{доп}}$	$1,1 I_{\text{доп}} < I_{\phi} < 1,15 I_{\text{доп}}$	$1,15 I_{\text{доп}} < I_{\phi} < 1,2 I_{\text{доп}}$
Значение параметра k_I	0,8	0,6	0,4	0,2

В табл. 3 представлена зависимость значения параметра от величины отклонения фактического значения тока в проводе от допустимого. Диапазон значения взят от 5 % от $I_{\text{доп}}$ до 20 % от $I_{\text{доп}}$.

Дальнейшее превышения допустимого значения тока не рассматривается в связи с тем, что превышение на 20 % уже является критическим и требует немедленного вмешательства обслуживающего персонала.

Таблица 4

Параметр отклонения стрелы провеса от проектной

Отклонение стрелы провеса провода	На 2 % больше номинального значения	На 5 % больше номинального значения	На 10 % больше номинального значения
Значение параметра k_H	0,6	0,3	0,01

Значения, приведенные в табл. 4 показывают зависимость величины параметра k_H от превышения стрелы провеса провода. Из представленной зависимости видно, что изменение данной величины имеет сильное влияние на итоговое значение коэффициента состояния

воздушной линии. Такие значения были присвоены на основе того, что стрела провеса играет важную роль в процессе эксплуатации ВЛЭП. Чрезмерное превышение проектной стрелы провеса может привести к аварийному режиму работы.

Таблица 5

Параметр типа опоры

Тип опоры	Деревянная	Железобетонная	Металлическая
Значение параметра k_O	0,1	0,3	0,5

В табл. 5 показана степень влияния типа опоры на $K_{СВЛ}$. Металлические опоры определены как самые надежные и часто применяемые на высоких классах напряжения. Железобетонные часто используются при строитель-

стве ВЛЭП в населенных пунктах и также обладают хорошей прочностью и надежностью. Деревянные опоры используются по сей день, но уже выходят из постоянного оборота, в силу устаревания технологии.

Таблица 6

Параметр типа исполнения ВЛЭП

Тип исполнения	Одноцепная	Двухцепная
Значение параметра k_N	0,2	0,5

В табл. 6 показана зависимость параметра k_N от количества цепей ВЛЭП. Двухцепная схема имеет большую надежность в сравнении с од-

ноцепным исполнением, так как, например, при обрыве одной цепи в двухцепной схеме перерыва в снабжении электроэнергией не будет.

Соответствие состояния линии значению $K_{СВЛ}$:

$0,9 < K_{СВЛ} < 1$ – Проектное состояние линии;

$0,8 < K_{СВЛ} < 0,9$ – Нормальное состояние;

$0,7 < K_{СВЛ} < 0,8$ – Требуется обслуживание;

$K_{СВЛ} < 0,65$ – Аварийное состояние линии.

Пример расчета $K_{СВЛ}$ для ВЛ 110 кВ при увеличении стрелы провеса.

$$K_{СВЛ} = (P_I \cdot k_I + P_H \cdot k_H + P_U \cdot k_U + P_O \cdot k_O + P_N \cdot k_N) \cdot k_{авар}$$

$$K_{СВЛ} = (0,5 \cdot 1 + 0,395 \cdot 1 + 0,12 \cdot 0,5 + 0,07 \cdot 0,5 + 0,02 \cdot 0,5) \cdot 1 = 1$$

Аналогичным образом проведен расчет еще для трех случаев, в которых провес линии по-

степенно увеличивается, и полученные данные сведены в табл. 7.

Таблица 7

Значения $K_{СВЛ}$ при постепенном увеличении стрелы провеса провода в течении 15 лет эксплуатации

Прошло лет	0	5	10	15
$K_{СВЛ}$	1	0,842	0,7235	0,60895

Для наглядности вынесем значения на график

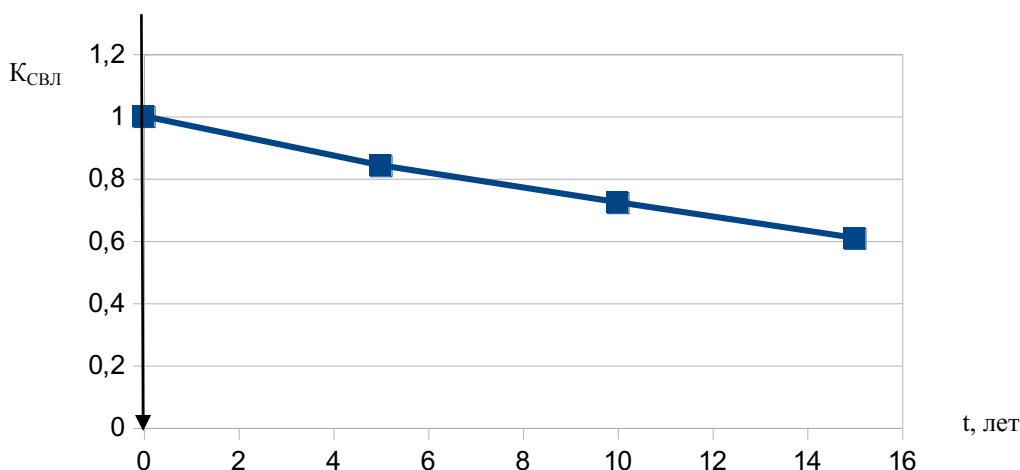


Рис. 1. График изменения $K_{свл}$ по мере увеличения стрелы провеса

На представленном графике видно, что по мере роста стрелы провеса провода ухудшалось общее состояние линии, что в итоге привело к ее аварийному состоянию, которое требует немедленного вмешательства обслуживающего персонала для предотвращения разви-

тия критических дефектов.

Аналогичным образом проведен расчет для ВЛ 110 кВ, на которую будут воздействовать повышенные токи в течении нескольких часов и полученные данные сведены в табл. 8 и вынесены на график.

Таблица 8

Значения $K_{свл}$ при постепенном увеличении значения тока сверх допустимого в течение нескольких часов

Время суток	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00
$K_{свл}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

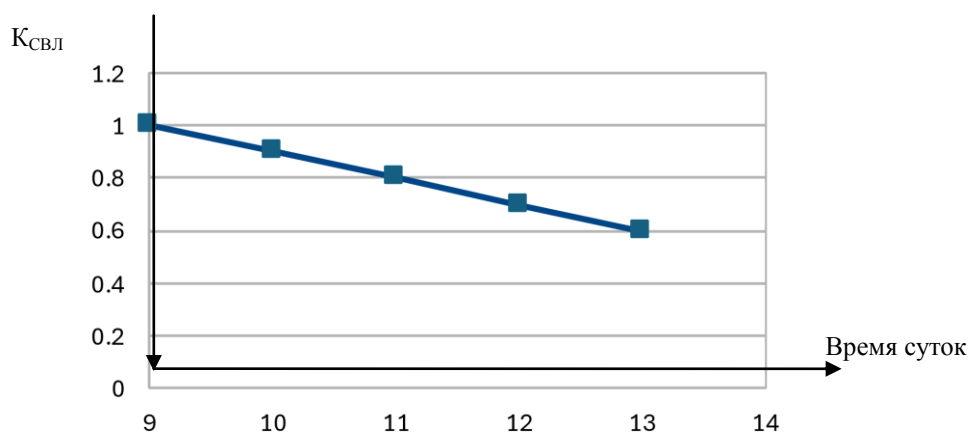


Рис. 2. График изменения $K_{свл}$ по мере увеличения значения тока сверх допустимого

Коэффициент состояния воздушной линии можно внедрить в мнемосхему на автоматизированном рабочем месте диспетчера в виде графического изображения, а также добавить сигнализацию, которая будет срабатывать по достиже-

нии критических значений коэффициента.

Пример графического изображения приведен на рис. 3–4. Графическое изображение было сделано в программном обеспечении *Designer* от компании АО «ЮГ-СИСТЕМА плюс».

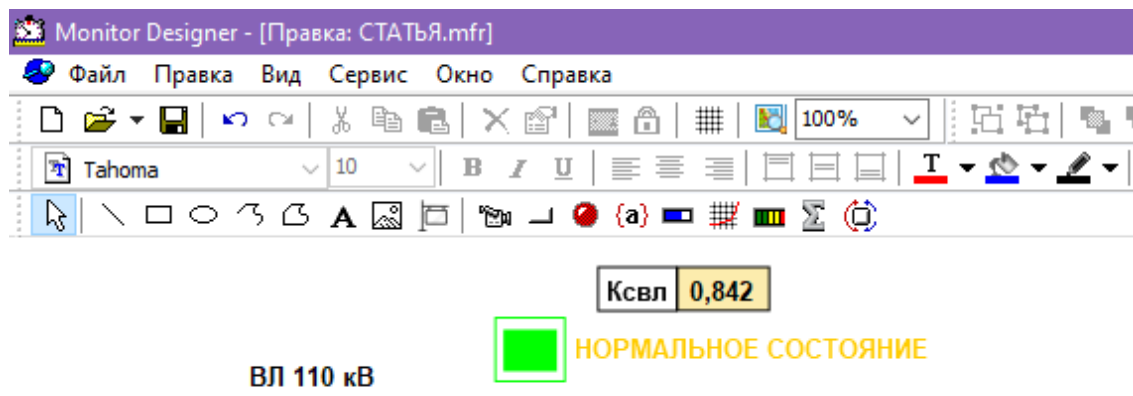


Рис. 3. Нормальное состояние линии

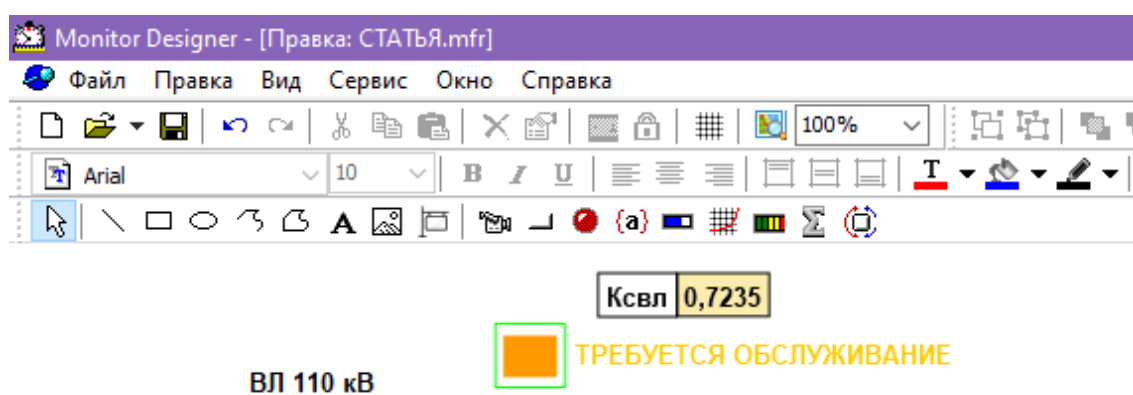


Рис. 4. Требуется обслуживание линии

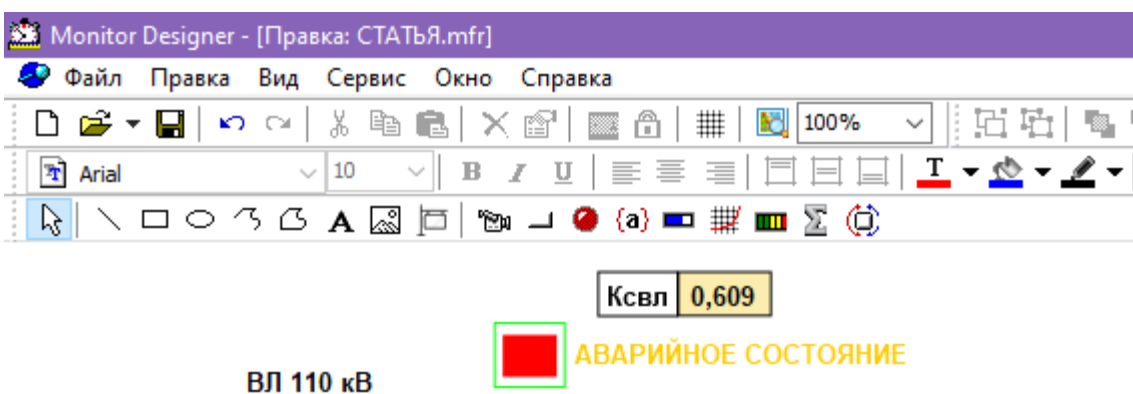


Рис. 5. Аварийное состояние линии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок: 6-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор Минэнерго СССР 05.10.1979. (ред. от 20.06.2003)
2. РД 34.20.504.94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ
3. Приказ Минэнерго России от 26.07.2017 N 676.
4. Приказ Минэнерго России от 04.10.2022 N 1070.