



ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS

2022, ТОМ 28, НОМЕР 4, 195–205

EDN: EOCYGC

УДК 621.315.1:624.014

(22)-0449-1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДУЦИРОВАННОГО ТЯЖЕНИЯ ПРИ ОБРЫВАХ ТОКОВЕДУЩИХ ПРОВОДОВ И ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–110 кВ

А. В. Танасогло¹, С. А. Фоменко², С. Н. Бакаев³, Л. В. Козлова⁴

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹ a.v.tanasoglo@donnasa.ru, ² s.a.fomenko@donnasa.ru, ³ s.n.bakaev@donnasa.ru,
⁴ l.v.kozlova@donnasa.ru

Получена 30 декабря 2022; принята 27 января 2023.

Аннотация. В данной статье целью ставится разработка численно-аналитического способа решения задачи об определении тяжения провода после его обрыва. Решение данной задачи реализуется в программном комплексе MS «Excel». В качестве модели принимается часть воздушной линии (ВЛ) электропередачи – анкерванный участок, состоящий из двух анкерных опор и расположенных между ними промежуточных опор, к которым подвешены токоведущие провода и грозозащитный трос. Опоры рассматриваются как составные части всей конструкционной системы электрической сети. Обрыв провода моделируется поочередно в каждом из одиннадцати пролетов. При расчете анализируется значение редуцированного тяжения провода, вычисляемое для того, чтобы знать нагрузку на промежуточную опору при аварийном режиме и величину стрелы провеса провода в пролете, смежном с аварийным. Уделено внимание гибкости опор ВЛ. Установлено, что гибкие опоры отклоняются в сторону уцелевшего провода под воздействием его тяжения и к перемещению точки подвеса вследствие отклонения гирлянды добавляется еще и прогиб опоры. На основании расчета и обобщения результатов выявлена зависимость величины редуцированного тяжения от количества последующих пролетов анкерванного участка с уцелевшим проводом и определено количество пролетов, необходимое для нахождения максимальной величины редуцированного тяжения.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, редуцированное тяжение, пространственная модель, опора ВЛ, система уравнений, расчетные нагрузки.

ВИЗНАЧЕННЯ РЕДУКОВАНОГО ТЯЖІННЯ ПРИ ОБРИВАХ СТРУМОВЕДУЩИХ ПРОВОДІВ ТА ГРОЗОЗАХИСНИХ ТРОСІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 35–110 кВ

А. В. Танасогло¹, С. О. Фоменко², С. М. Бакаєв³, Л. В. Козлова⁴

ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹ a.v.tanasoglo@donnasa.ru, ² s.a.fomenko@donnasa.ru, ³ s.n.bakaev@donnasa.ru,
⁴ l.v.kozlova@donnasa.ru

Отримана 30 грудня 2022; прийнята 27 січня 2023.

Анотація. У даній статті метою ставиться розробка чисельно-аналітичного способу вирішення задачі про визначення тяжіння проводу після його обриву. Рішення даної задачі реалізується в програмному



комплексі MS «Excel». Як модель приймається частина повітряної лінії (ПЛ) електропередавання – анкерована ділянка, що складається із двох анкерних опор і розташованих між ними проміжних опор, до яких підвішені струмоведучі проводи та грозозахисний трос. Опори розглядаються як складові частини всієї конструкційної системи електричної мережі. Обрив проводу моделюється по черзі в кожному з одинадцяти прольотів. При розрахунку аналізується значення редукованого тяжіння проводу, яке обчислюється для того, щоб знати навантаження на проміжну опору при аварійному режимі та величину стріли провису проводу в прольоті, суміжному з аварійним. Приділено увагу гнучкості опор ПЛ. Установлено, що гнучкі опори відхиляються вбік уцілілого проводу під впливом його тяжіння і до переміщення точки підвісу внаслідок відхилення гірлянди додається ще й прогин опори. На підставі розрахунку й узагальнення результатів виявлена залежність величини редукованого тяжіння від кількості наступних прольотів анкерованої ділянки з уцілілим проводом і визначена кількість прольотів, необхідна для знаходження максимальної величини редукованого тяжіння.

Ключові слова: повітряна лінія електропередавання, редуковане тяжіння, просторова модель, опора ПЛ, система рівнянь, розрахункові навантаження.

DETERMINATION OF REDUCED TENSION AT CONDUCTIVE WIRES AND LIGHTNING PROTECTION CABLES BREAKAGE OF OVERHEAD POWER LINES WITH A VOLTAGE OF 35–110 kV

Anton Tanasoglo ¹, Serafim Fomenko ², Sergii Bakayev ³, Lyudmila Kozlova ⁴

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

E-mail: ¹ a.v.tanasoglo@donnasa.ru, ² s.a.fomenko@donnasa.ru, ³ s.n.bakayev@donnasa.ru,

⁴ l.v.kozlova@donnasa.ru

Received 30 December 2022; accepted 27 January 2023.

Abstract. The article aims to develop a numerical-analytical method of solving the problem about determining the tension of wire after its breakage. Solution of this problem is realized in software package MS «Excel». As the model was taken the part of overhead power transmission line (OPTL) – anchored site, consisting of two anchor supports and intermediate supports located between them, to which are suspended conductive wires and lightning protection cable. Supports are considered as the components of all constructional system of the power grid. Wire breakage is modeled serially in each of eleven spans. At calculation the value of the reduced tension of wire calculated to know the load on an intermediate support in crash conditions and magnitude of sag wire in the span adjacent to the emergency span is analyzed. The attention to flexibility of supports of OPTL is paid. It is established that the flexible support deviate towards the survivor wire under the influence of its tension, and support deflection is also added to the displacement of the suspension point due to deviation the insulator string. Based on the calculation and generalization of the results dependence of the value of reduced tension from the number of follow-up spans of anchor site with the survivor wire is revealed and the number of spans required to find the maximum value of reduced tension is determined.

Keywords: overhead power transmission line, reduced tension, spatial model, overhead power transmission line support, set of equations, design loads.

Введение

В ПУЭ [1] установлены наименьшие расстояния по вертикали от проводов линии до пере-

секаемых сооружений, например до головки рельса железных дорог, до проводов линий связи,

трамвайных и троллейбусных линий и других объектов, которые должны быть выдержаны при обрыве провода в смежном пролете, если он подвешен в глухих зажимах на поддерживающих гирляндах.

Изменение тяжения провода в результате смещения его точки подвеса называется редуцицией, а установившееся новое тяжение – редуцированным [2, 3, 4].

Редуцированное тяжение провода необходимо вычислять для того, чтобы знать, во-первых, нагрузку на промежуточную опору при аварийном режиме и, во-вторых, как фактор, влияющий на величину стрелы провеса, на габарит от провода до земли или какого-либо пересекаемого линией объекта. Определение тяжения в уцелевшем проводе требуется также для расчета промежуточных опор больших переходов [5, 6].

Цель данной статьи

Является разработка численно-аналитического способа решения задачи об определении тяжения провода после его обрыва. Решение данной задачи реализовано в программном комплексе MS «Excel».

1. Аварийная нагрузка (редуцированное тяжение)

При эксплуатации линии электропередачи возможны нормальные (при нормальной эксплуатации) режимы работы и особые (при обрыве проводов и тросов, т. е. аварийные) [7, 8].

Особые (аварийные) нагрузки – это такие величины нагрузок, как редуцированное тяжение проводов или тросов при их обрыве, которые зависят от места обрыва и деформативности промежуточных опор в продольном направлении.

Расчет провода при аварийном состоянии линии электропередачи производится с целью установления величины тяжения и провеса провода в пролете, смежном с аварийным [9, 10].

В данной статье будут рассмотрены случаи обрыва провода в пролете, который ограничен с одной стороны анкерной опорой, а с другой – промежуточной опорой или ограничен с двух сторон промежуточными опорами.

При обрыве провода на промежуточную опору передается горизонтальная сила от тяжения уцелевшей части провода. Если провод подве-

шен на поддерживающей гирлянде изоляторов, то гирлянда отклоняется в направлении действия одностороннего тяжения до положения, при котором наступит равновесие всех приложенных к ней внешних сил. При этом произойдет ослабление тяжения провода [11].

Такое же явление будет и в случае отклонения самой опоры или ее траверсы в сторону действия горизонтальной силы. Чем больше это отклонение, т. е. смещение точки приложения силы в направлении ее действия, тем больше изменится тяжение провода в сторону ослабления [12].

Отношение редуцированного к начальному тяжению называется коэффициентом редуциции.

Если считать опору абсолютно жесткой, то перемещение точки подвеса провода будет определяться только отклонением гирлянды. Гибкие опоры отклоняются в сторону уцелевшего провода под воздействием его тяжения, и к перемещению точки подвеса вследствие отклонения гирлянды добавляется прогиб опоры δ в месте приложения силы ΔH .

Этот прогиб определяется по формуле:

$$\delta = k \cdot \Delta H, \quad (1)$$

где k – коэффициент гибкости опоры, принимается равным: для деревянных опор с составной стойкой – 0,002 м/кгс; для деревянных опор со стойкой из одного бревна – 0,001 м/кгс; для гибких железобетонных опор без оттяжек – 0,001 м/кгс; для металлических опор – 0,0001...0,00001 м/кгс [13]. Таким образом, при определении отклонения точки подвеса провода на стальных опорах прогиб их, как правило, не учитывается, так как коэффициент гибкости таких опор очень мал.

Следует отметить, что длина гирлянды изоляторов оказывает большое влияние на редуцированное тяжение. Чем длиннее гирлянда, тем больше ее отклонение и тем меньше редуцированное тяжение провода. Такое тяжение возникает только при подвеске проводов в глухих зажимах. При выпадающих зажимах провод сбрасывается на землю, а при зажимах ограниченной прочности заделки он проскальзывает в зажиме, и его тяжение уменьшается до 600...800 кгс [14].

Кроме того, на редуцированное тяжение влияет длина пролета: чем больше пролет, тем меньше доля его изменения вследствие отклонения гирлянды. Поэтому при увеличении пролета значение редуцированного тяжения возрастает.

2. Расчетная модель высоковольтной линии при обрыве провода

Основными нагрузками, определяющими размеры элементов опор и фундаментов линии электропередачи, являются горизонтальные нагрузки, возникающие при воздействиях ураганного ветра или при сочетании ветра с гололедом, а также нагрузки, возникающие при обрыве проводов и тросов, действующие в местах поворота трассы [15, 16]. Поэтому, учитывая возможности ЭВМ, целесообразно и необходимо рассматривать опоры не как отдельно стоящие, а как составные части всей конструкционной системы электрической сети [17].

За расчетную модель принимается часть ВЛ: анкерванный участок – участок между смежными анкерными опорами. В данной работе рассматривается одноцепная ВЛ, состоящая из двух анкерных опор, и расположенных между ними 10 промежуточных опор, к которым подвешены три токоведущих провода (провод в фазе принимается из одного провода) и один грозозащитный трос (рис. 1). Обрыв провода будет рассматриваться поочередно в каждом из одиннадцати пролетов.

Провода и тросы жестко закреплены к анкерным опорам и подвержены тяжению, а к промежуточным опорам они подвешиваются свободно

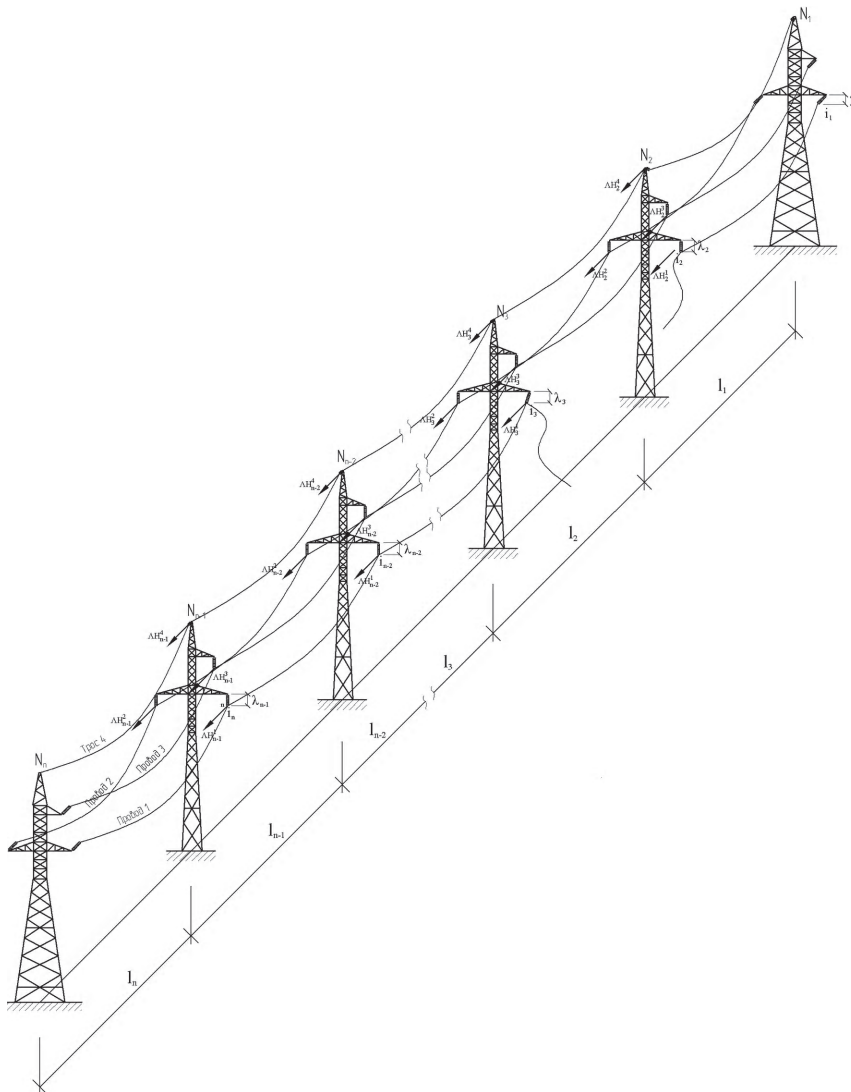


Рисунок 1. Расчетная модель высоковольтной линии электропередачи при обрыве провода (анкерванный участок).

через промежуточный поддерживающий элемент – гирлянду изоляторов.

При создании расчетной модели ВЛ были приняты следующие допущения: решетчатые стволы металлических опор рассматриваются как брусья с моментом инерции, определенным площадью сечения поясов и расстоянием между ними (базой); работа проводов и тросов отождествляется с работой пологих нитей, очерченных по цепной линии или упрощенно по параболе, в зависимости от величины пролета и разности отметок подвеса провода, при этом нагрузка (собственный вес) принимается равномерно распределенной; грозозащитные тросы крепятся к вершинам опор неподвижно, а гирлянды, на которых подвешены токоведущие провода, отклоняясь, остаются прямолинейными; учитывается поворот опоры в основании; материал работает упруго.

3. Аналитический способ решения задачи об определении тяжений провода после его обрыва

3.1. Постановка задачи

Пусть обрыв провода произошел в N-ом пролете, считая от анкерной опоры. Пролет, в котором произошел обрыв, всегда имеет номер 1. Смежный с аварийным уцелевший пролет имеет номер 2. Далее пролеты нумеруются в возрастающем порядке вплоть до анкерной опоры (рис. 2).

Принятые обозначения: l_i – длина i -го пролета (м); l_i^* – длина i -го пролета после обрыва про-

вода (м); p_i – погонный вес провода в i -ом пролете (кг/м); A_i – площадь поперечного сечения провода в i -ом пролете (м²); E_i – модуль Юнга провода в i -ом пролете (кг/м²); λ_i – длина правой гирлянды в i -ом пролете (м); G_i – вес правой гирлянды в i -ом пролете (кг); k_i – коэффициент податливости i -ой опоры (м/кг); dl_i – отклонение правой гирлянды в i -ом пролете после обрыва провода (м); dO_i – отклонение точки подвеса гирлянды, вызванное деформацией i -ой опоры; H_{0i} – известное тяжение провода в i -ом пролете до обрыва провода (кг); H_i – искомое тяжение провода в i -ом пролете после обрыва провода (кг).

3.2. Основные соотношения

1. Изменение длин пролетов, вызванное перемещением точек подвеса в результате упругой деформации провода (изменение длины пролета dl_i):

$$F_{in}(H_i) = dl_i = \frac{l_i}{E_i \times A_i} (H_{0i} - H_i) + \frac{p_i^2 \times l_i^3}{24} \left(\frac{1}{H_i^2} - \frac{1}{H_{0i}^2} \right) \quad (i = 2, 3, \dots, N). \quad (2)$$

2. Отклонения гирлянд, полученные из условия их статического равновесия после обрыва:

$$dl_2 = i_2 = F_{2r}(H_2) = \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + 0,25 \cdot \left(\frac{p_2 \cdot l_2 + G_2}{H_2} \right)^2}} \quad (\text{для } i = 2). \quad (3)$$

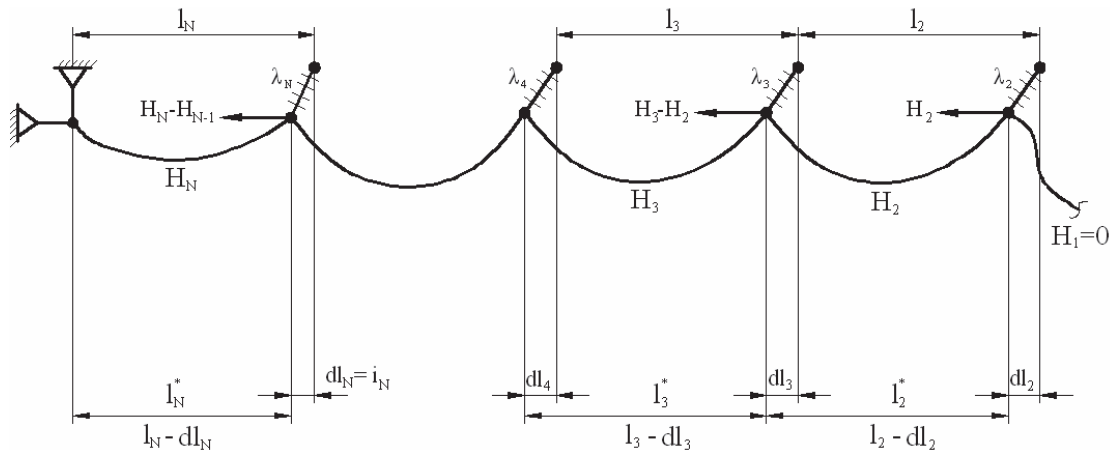


Рисунок 2. Случай обрыва провода в N-ом пролете от анкерной опоры.

$$dl_i = i_i = F_{i_z}(H_{i-1}, H_i) = \frac{\lambda_i}{\sqrt{1 + 0,25 \cdot \left(\frac{p_{i-1} \cdot l_{i-1} + p_i \cdot l_i + G_i}{H_i - H_{i-1}} \right)^2}} \quad (4)$$

$(i = 3, \dots, N).$

3. Отклонения точек подвеса гирлянд, вызванные деформацией опор:

$$dO_2 = k_2 \cdot H_2 \quad (i = 2),$$

$$dO_i = k_i \cdot (H_i - H_{i-1}) \quad (i = 3, \dots, N).$$

В случае $N = 2$ (обрыв провода во втором пролете от анкерной опоры) получаем одно нелинейное уравнение с одним неизвестным H_2 :

$F_{2n}(H_2) = F_{2r}(H_2) + k_2 \cdot H_2$ – условие равенства, из которого находим $F_2(H_2)$:

$$F_2(H_2) = F_{2n}(H_2) - F_{2r}(H_2) - k_2 \cdot H_2 = 0.$$

Для $N = 3$ (обрыв провода в третьем пролете от анкерной опоры) получаем систему двух нелинейных уравнений с двумя неизвестными H_2 и H_3 :

$$\begin{cases} F_2(H_2, H_3) = F_{2n}(H_2) - F_{2r}(H_2) - k_2 \cdot H_2 + \\ + F_{3r}(H_2, H_3) + k_3 \cdot (H_3 - H_2) = 0, \\ F_3(H_2, H_3) = F_{3n}(H_3) - F_{3r}(H_2, H_3) + \\ + k_3 \cdot (H_3 - H_2) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Для $N > 3$ система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases} F_2(H_2, H_3) = F_{2n}(H_2) - F_{2r}(H_2) - k_2 \cdot H_2 + \\ + F_{3r}(H_2, H_3) + k_3 \cdot (H_3 - H_2) = 0 \dots, \\ F_i(H_{i-1}, H_i, H_{i+1}) = F_{in}(H_i) - F_{ir}(H_{i-1}, H_i) - \\ - k_i \cdot (H_i - H_{i-1}) + F_{i+1r}(H_i, H_{i+1}) + \\ + k_{i+1} \cdot (H_{i+1} - H_i) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

где $i = 3, \dots, N-1$.

Указанная система уравнений является однопараметрической в том смысле, что по значению тяжения провода в пролете с анкерной опорой (H_N) или в пролете, смежном с аварийным (H_2), можно вычислить значения тяжения во всех остальных пролетах.

Таблица 1. Значение тяжений без учета гибкости опор

М	Редуцированные тяжения									
	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁
1	995,8018									
	51,17 %									
2	1359,531	1427,628								
	69,86 %	73,36 %								
3	1487,452	1583,329	1621,153							
	76,44 %	81,36 %	83,31 %							
4	1539,671	1649,004	1703,95	1728,282						
	79,12 %	84,74 %	87,56 %	88,81 %						
5	1563,16	1679,152	1742,556	1778,54	1795,091					
	80,33 %	86,29 %	89,55 %	91,39 %	92,25 %					
6	1574,365	1693,687	1761,35	1803,191	1827,934	1839,497				
	80,90 %	87,03 %	90,51 %	92,66 %	93,93 %	94,53 %				
7	1579,893	1700,906	1770,737	1815,563	1844,476	1861,88	1870,076			
	81,19 %	87,41 %	90,99 %	93,30 %	94,78 %	95,68 %	96,10 %			
8	1582,691	1704,565	1775,505	1821,864	1852,921	1873,324	1885,711	1891,565		
	81,33 %	87,59 %	91,24 %	93,62 %	95,22 %	96,27 %	96,90 %	97,20 %		
9	1584,12	1706,438	1777,951	1825,102	1857,266	1879,22	1893,772	1902,643	1906,845	
	81,40 %	87,69 %	91,36 %	93,79 %	95,44 %	96,57 %	97,32 %	97,77 %	97,99 %	
10	1584,845	1707,399	1779,211	1826,773	1859,512	1882,27	1897,945	1908,382	1914,759	1917,782
	81,44 %	87,74 %	91,43 %	93,87 %	95,56 %	96,73 %	97,53 %	98,07 %	98,39 %	98,55 %

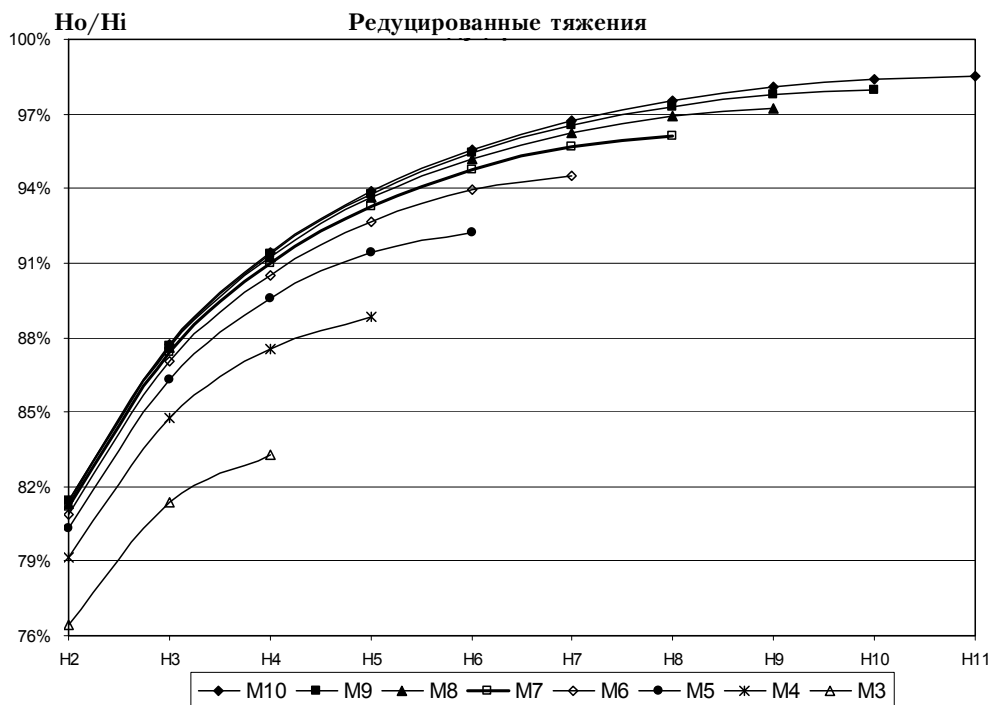


Рисунок 3. Тяжение без учета гибкости опор.

Таблица 2. Значение тяжений с учетом гибкости опор

М	Редуцированные тяжения									
	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁
1	933,4427									
	47,97 %									
2	1285,195	1364,36								
	66,04 %	70,11 %								
3	1415,396	1532,55	1575,858							
	72,73 %	78,75 %	80,98 %							
4	1468,202	1605,44	1669,211	1696,907						
	75,45 %	82,50 %	85,78 %	87,20 %						
5	1491,532	1639,082	1713,206	1754,357	1773,138					
	76,65 %	84,23 %	88,04 %	90,15 %	91,12 %					
6	1502,515	1655,288	1734,671	1782,649	1810,784	1823,89				
	77,21 %	85,06 %	89,14 %	91,61 %	93,05 %	93,73 %				
7	1525,925	1675,938	1757,53	1810,217	1845,755	1869,736	1885,312			
	78,41 %	86,12 %	90,32 %	93,02 %	94,85 %	96,08 %	96,88 %			
8	1576,812	1702,12	1774,48	1821,686	1853,308	1874,094	1886,724	1892,696		
	81,03 %	87,47 %	91,19 %	93,61 %	95,24 %	96,30 %	96,95 %	97,26 %		
9	1577,888	1703,643	1776,577	1824,58	1857,326	1879,693	1894,53	1903,587	1907,877	
	81,08 %	87,55 %	91,29 %	93,76 %	95,44 %	96,59 %	97,36 %	97,82 %	98,04 %	
10	1578,357	1704,334	1777,557	1825,967	1859,287	1882,465	1898,446	1909,099	1915,616	1918,708
	81,11 %	87,58 %	91,34 %	93,83 %	95,54 %	96,74 %	97,56 %	98,10 %	98,44 %	98,60 %

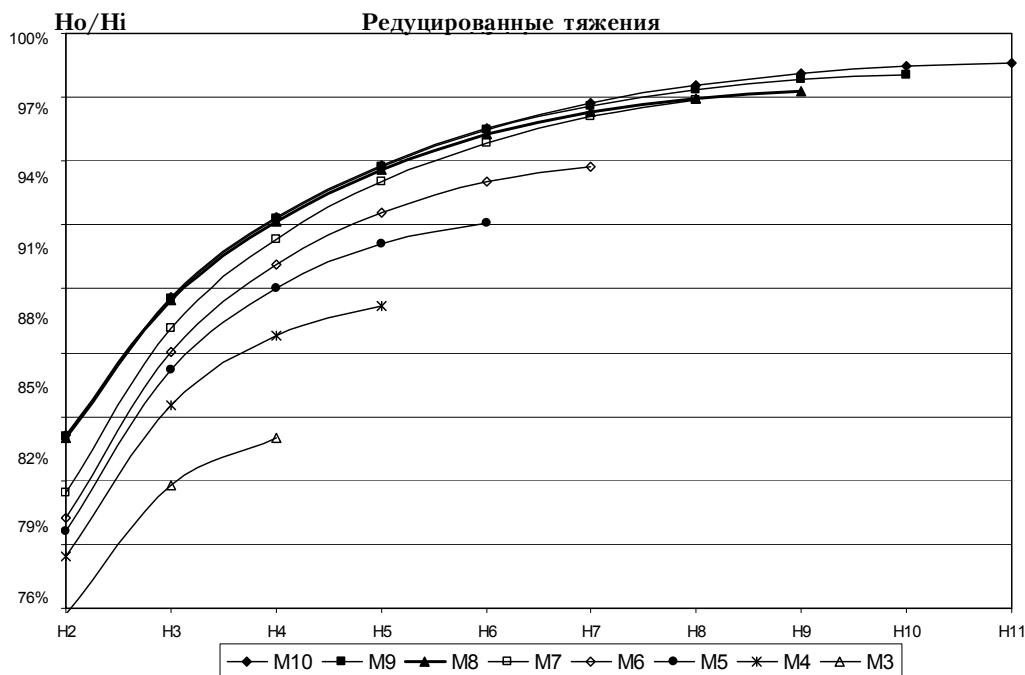


Рисунок 4. Тяжение с учетом гибкости опор.

Наиболее просто эти вычисления можно выполнить в случае жестких опор ($k_i = 0$).

3.3. Описание алгоритма решения задачи

1. Методом половинного деления относительно H_N определяются тяжения провода H_2, \dots, H_N для случая жестких опор ($k_i = 0$).
2. Для гибких опор ($k_i \neq 0$) система нелинейных уравнений решается методом наименьших квадратов, суть которого состоит в поиске стандартными методами (метод Ньютона, метод сопряженных градиентов) минимума суммы квадратов $F_2^2 + F_3^2 + \dots + F_N^2$. При этом в качестве начального приближения выбираются значения H_2, \dots, H_N (искомые тяжения проводов при обрыве), полученные на предыдущем шаге.

При вычислении стрел провисания провода в уцелевших пролетах учитываются новые значения длин пролетов l_i^* . Расчет редуцированного тяжения провода при его обрыве выполняется для одиннадцати пролетов, считая от анкерной опоры.

Все расчеты выполняются в вычислительном комплексе MS «Excel».

3.4. Изменение тяжений провода в зависимости от количества уцелевших пролетов до анкерной опоры

В табл. 1 и табл. 2 приведены редуцированные тяжения провода АС 240/32, $l = 300$ м, стенка гололеда $s = 12$ мм в зависимости от количества уцелевших пролетов M до анкерной опоры (в кг и в процентном отношении к начальному тяжению).

Выводы

В результате проведенного исследования разработан численно-аналитический способ определения аварийного тяжения и получены следующие выводы:

- 1) редуцированное тяжение в пролете, смежном с аварийным, будет тем больше, чем дальше от анкерной опоры произошел обрыв провода, т. е. величина тяжения провода в пролете, смежном с аварийным зависит от количества последующих пролетов анкерowanego участка с уцелевшим проводом;
- 2) когда число уцелевших пролетов составляет 4 и более, то можно не учитывать гибкость опор, считая их абсолютно жесткими, т. е. решать систему нелинейных уравнений, принимая $k_i = 0$;

- 3) увеличение редуцированного тяжения не происходит пропорционально количеству пролетов, в которых сохранился провод, т. к. уменьшается отклонение гирлянд на каждой последующей опоре и процесс начинает затухать;
- 4) влияние жесткого закрепления провода на анкерной опоре распространяется лишь на ближайшие два пролета;
- 5) при одинаковой длине пролетов тяжение провода в 7-ом пролете от места обрыва отличается от начального тяжения менее, чем на 4 % (рис. 4). Поэтому для определения максимальной величины редуцированного тяжения допустимо решать задачу с семью пролетами в анкерном участке. Дальнейшее увеличение числа пролетов не приведет к ощутимому увеличению тяжения.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е издание : утверждено и введено в действие Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 8 июля 2002 г. № 204 : введен впервые : дата введения 2003-01-01 / подготовлено ОАО «ВНИИЭ». – Москва : Энергоатомиздат, 2002. – 115 с. – Текст : непосредственный.
2. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – 2-е издание. – Ленинград : Энергия, 1979. – 312 с.
3. Шевченко, Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния двухцепной анкерно-угловой опоры ВЛ 330 кВ с использованием различных программных комплексов / Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2010. – Том 16, № 1. – С. 31–39.
4. Чирас, А. А. Методы линейного программирования при расчете упруго-пластических систем / А. А. Чирас. – Ленинград : Стройиздат, 1969. – 198 с. – Текст : непосредственный.
5. Зеличенко, А. С. Проектирование механической части воздушных линий сверхвысокого напряжения / А. С. Зеличенко, Б. И. Смирнов. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 336 с. – Текст : непосредственный.
6. Танасогло, А. В. Исследование устойчивости решетчатых стальных опор линий электропередачи / А. В. Танасогло. – Текст : непосредственный // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сборник научных трудов. – 2011. – № 15, Часть 3. – С. 233–238.
7. Трофимов, В. И. Исследование устойчивости и несущей способности металлических конструкций типа опор электропередач / В. И. Трофимов. – Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с. – Текст : непосредственный.
8. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Киев : издательство «Факт», 2005. – 344 с. – Текст : непосредственный.
9. Справочник по проектированию линий электропередачи / Под редакцией С. С. Рокотяна,

References

1. Rules for the installation of electrical installations. – 7th edition. – Moscow : Energoatomizdat, 2002. – 115 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Kryukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Design and mechanical calculation of power transmission lines. – 2nd edition. – Leningrad : Energy, 1979. – 312 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Shevchenko, Ye. V.; Glukhov, V. A. Tanasoglo, A. V. Study of the stress-strain state of a double-circuit anchor-angular support of 330 kV overhead lines using various software systems. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2010. Volume 16, № 1. – P. 31–39. (in Russian)
4. Chiras, A. A. Methods of linear programming in the calculation of elastic-plastic systems. – Leningrad : Stroyizdat, 1969. – 198 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Zelichenko, A. S.; Smirnov, B. I. Design of the mechanical part of overhead lines of extra-high voltage. – Moscow : Energoizdat, 1981. – 336 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Tanasoglo, A. V. Investigation of the stability of lattice steel supports of power lines. – Text : direct. – In: *Modern building structures made of metal and wood : proceedings*. – 2011. – № 15, Part 3. – P. 233–238. (in Russian)
7. Trofimov, V. I. Study of the stability and bearing capacity of metal structures such as transmission towers. – Moscow-Leningrad : Gosenergoizdat, 1963. – 320 p. – Text : direct. (in Russian)
8. Gorodetskii, A. S.; Evzerov, I. D. Computer models of structures. – Kyiv : publishing house «Fact», 2005. – 344 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Handbook on the design of power lines / Edited by S. S. Rokotyana, M. A. Reut. – Moscow : Energy, 1980. – 296 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Perelmuter, A. V.; Slivker, V. I. Calculation models of structures and the possibility of their analysis. – Kyiv : Steel, 2005. – 618 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Shevchenko, Ye. V. Improvement of metal structures of overhead power transmission line supports. – 2nd edition. – Makeevka : DSACEA, 1999. – 169 p. – Text : direct. (in Russian)
12. Manual (to SNiP II-23-81 *) for the design of steel structures of overhead lines (OL) power transmission

- М. А. Реута. – Москва : Энергия, 1980. – 296 с. – Текст : непосредственный.
10. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2005. – 618 с. – Текст : непосредственный.
 11. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи / Е. В. Шевченко. – 2-е издание. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 169 с. – Текст : непосредственный.
 12. Пособие (к СНиП II–23–81*) по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением свыше 1 кВ : утверждено приказом Укрниипроектстальконструкции Госстроя СССР № 65 от 22 октября 1987 г. : введен впервые : дата введения 1990-01-01 / разработано Укрниипроектстальконструкция. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 71 с. – Текст : непосредственный.
 13. ANSI /ASCE 10-90. Design of Latticed Steel Transmission Structures. – New York : ASCE, 1992. – 64 p. – Текст : непосредственный.
 14. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines. – 3rd edition. – Geneva, Switzerland : International Electrotechnical Commission, 2003. – 241 p. – Текст : непосредственный.
 15. Dutta, S.R.K. New algorithms for constrained minimax optimization / S. R. K. Dutta, M. Vidyasagar. – Текст : непосредственный // *Mathematical Programming*. – 1977. – Volume 13, Issue 1. – P. 140–155.
 16. Ozono, S. Characteristics of in-plane free vibration of transmission line systems / S. Ozono, J. Maeda, M. Makino. – Текст : непосредственный // *Engineering Structures*. – 1988. – Volume 10(4). – P. 272–280.
 17. Ghunal, Y. M. Analysis and Design of Three and Four Legged 400 KV Steel Transmission Line Towers: Comparative Study / Y. M. Ghunal, U. S. Salunkhe. – Текст : непосредственный // *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. – 2011. – Volume 04, № 06. – P. 691–694.
 - towers and open switchgears (OS) of substations with voltage over 1 kV. – Moscow : Central Institute for Standard Design, 1989. – 71 p. – Text : direct. (in Russian)
 13. ANSI /ASCE 10-90. Design of Latticed Steel Transmission Structures. – New York : ASCE, 1992. – 64 p. – Text : direct. (in English)
 14. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines. – 3rd edition. – Geneva, Switzerland : International Electrotechnical Commission, 2003. – 241 p. – Text : direct. (in English)
 15. Dutta, S.R.K.; Vidyasagar, M. New algorithms for constrained minimax optimization. – Text : direct. – In: *Mathematical Programming*. – 1977. – Volume 13, Issue 1. – P. 140–155. (in English)
 16. Ozono, S.; Maeda, J.; Makino, M. Characteristics of in-plane free vibration of transmission line systems. – Text : direct. – In: *Engineering Structures*. – 1988. – Volume 10(4). – P. 272-280. (in English)
 17. Ghunal, Y. M.; Salunkhe, U. S. Analysis and Design of Three and Four Legged 400 KV Steel Transmission Line Towers: Comparative Study. – Text : direct. – In: *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. – 2011. – Volume 04, №. 06. – P. 691–694. (in English)

Танасогло Антон Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

Фоменко Серафим Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие общей методики динамических расчетов элементов строительных конструкций и поиск рациональных способов гашения колебаний.

Бакаев Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, порталов и стоек под оборудование открытых распределительных устройств электрических подстанций в условиях повышения мощностей энергопотребления и с учетом условий и различий их эксплуатации, проектирования конструкций с гарантированными показателями долговечности.

Козлова Людмила Викторовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, экспертизы и управления недвижимостью ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: мониторинг социально-экономического развития муниципальных образований. Экономическая и социальная среда функционирования объектов недвижимости.

Танасогло Антон Володимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и споруд ДОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередавання та антенних опор. Вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

Фоменко Серафим Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической та прикладной механики ДОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій і пошук раціональних способів гасіння коливань.

Бакаев Сергей Миколайович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и споруд ДОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи і довговічності конструкцій опор повітряних ліній, порталів і стійок під обладнання відкритих розподільчих пристроїв електричних підстанцій в умовах підвищення потужностей енергоспоживання та з урахуванням умов і відмінностей їх експлуатації, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

Козлова Людмила Вікторівна – кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки, експертизи та управління нерухомістю ДОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: моніторинг соціально-економічного розвитку муніципальних утворень. Економічне і соціальне середовище функціонування об'єктів нерухомості.

Tanasoglo Anton – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal design of overhead power transmission line and antenna support structures, studying of the valid work of metal lattice tower supports.

Fomenko Serafim – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of a general methodology for dynamic calculations of elements of building structures and the search for rational ways to dampen vibrations.

Bakayev Sergii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures Department and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliable operation supply and durability of the transmission line supports structures, portal frames and pillars underneath the equipment of outdoor switchgears of electric substation in terms of the power consumption stepping up and with regards to the conditions and distinctions of their operation, structural designing work with the guarantee indices of durability.

Kozlova Lyudmila – Ph. D. (Economics), Associate Professor, Department of Economics, Expertise and Real Estate Management, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: monitoring of socio-economic development of municipalities. Economic and social environment of real estate objects functioning.