



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

№3, ТОМ 16 (2010) 189-198

УДК 621.315.1:624.014

(10)-0220-1

ВИЗНАЧЕННЯ РЕДУКОВАНОГО ТЯЖІННЯ ПРИ ОБРИВІ ПРОВОДУ

Є. В. Шевченко, В. О. Мітраков, А. В. Танасогло

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: top@meganet.net.ua.*

Отримана 8 серпня 2010; прийнята 27 серпня 2010.

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 береться частина повітряної лінії (ПЛ) електропередачі – 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 електропередачі, редуковане тяжіння, просторова модель, опора ПЛ, система рівнянь, розрахункові навантаження.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДУЦИРОВАННОГО ТЯЖЕНИЯ ПРИ ОБРЫВЕ ПРОВОДА

Е. В. Шевченко, В. А. Митраков, А. В. Танасогло

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: top@meganet.net.ua.*

Получена 8 августа 2010; принята 27 августа 2010.

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, смеж-

ном 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 анкерowanego 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.

DETERMINATION OF REDUCED TENSION AT CONDUCTOR BREAKAGE

Evgeny V. Shevtchenko, Volodymyr A. Mitrakov, Anton V. Tanasoglo

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: mop@meganet.net.ua*

Received 8 August 2010; accepted 27 August 2010.

Abstract. The purpose of the paper is the development of the numerical and analytical method of problem solution of the conductor tension determination after its breakage. The solution of the problem is realized in programming complex MS «Excel». The section of the overhead power line (OPL) — an anchor site consisting of two anchor supports and suspension supports situated between them with conductors and an overhead ground-wire cable has been taken as the pattern. The supports are considered to be the components of the whole structural system of the electrical network. The conductor breakage is simulated in turn in each of eleven spans. While designing, the value of the reduced tension of conductor has been analyzed. It has been done to determine the load to a suspension support at emergency operation and the value of the conductor sag at a span adjacent to an emergent one. The flexibility of the OPL supports has been given consideration. It was established that flexible supports get out of plumb of the remained conductor because of its tension and to the suspension point displacement after an insulator string deviation there is also the support sag. On the basis of the design and integration of the results, the relationship of the reduced tension value of the amount of the following spans of the anchor section with the remained conductor has been determined. The amount of spans necessary for finding of the maximum reduced tension value has been revealed.

Keywords: overhead power line (OPL), reduced tension, three-dimensional model, OPL support, set system of equations, design loads.

1. Введение

В ПУЭ установлены наименьшие расстояния по вертикали от проводов линии до пересекаемых 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 [1].

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.

Целью 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».

2. 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) [2].

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.

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 подвешен 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.

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.

Отношение редуцированного к начальному тяжению называется коэффициентом редукиции.

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 [1].

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 [6].

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.

3. 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 [2]. Поэтому, учитывая возможности ЭВМ, целесообразно и необходимо рассматривать опоры не как отдельно стоящие, а как составные части всей конструктивной системы электрической сети.

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-ти промежуточных опор, к которым

подвешены три токоведущих провода (провод в фазе принимается из одного провода) и один грозозащитный трос (см. 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 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.

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

4.1. 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 (см. рис. 2).

Принятые обозначения: l_i — длина i -го пролета (м); l_i^* — длина i -го пролета после обрыва провода (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).

4.2. Основные соотношения

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

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

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

$$dl_2 = i_2 = F_{2r}(H_2) = \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + 0.25 \cdot \left(\frac{p_2 \cdot l_2 + G_2}{H_2} \right)^2}} \quad (\text{для } i = 2), \quad (3)$$

$$dl_i = i_i = F_{ir}(H_{i-1}, H_i) =$$

$$= \frac{\lambda_i}{\sqrt{1 + 0.25 \cdot \left(\frac{p_{i-1} \cdot l_{i-1} + p_i \cdot l_i + G_i}{H_i - H_{i-1}} \right)^2}} \quad (i = 3, \dots, N). \quad (4)$$

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 $F_2(H_2)$

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

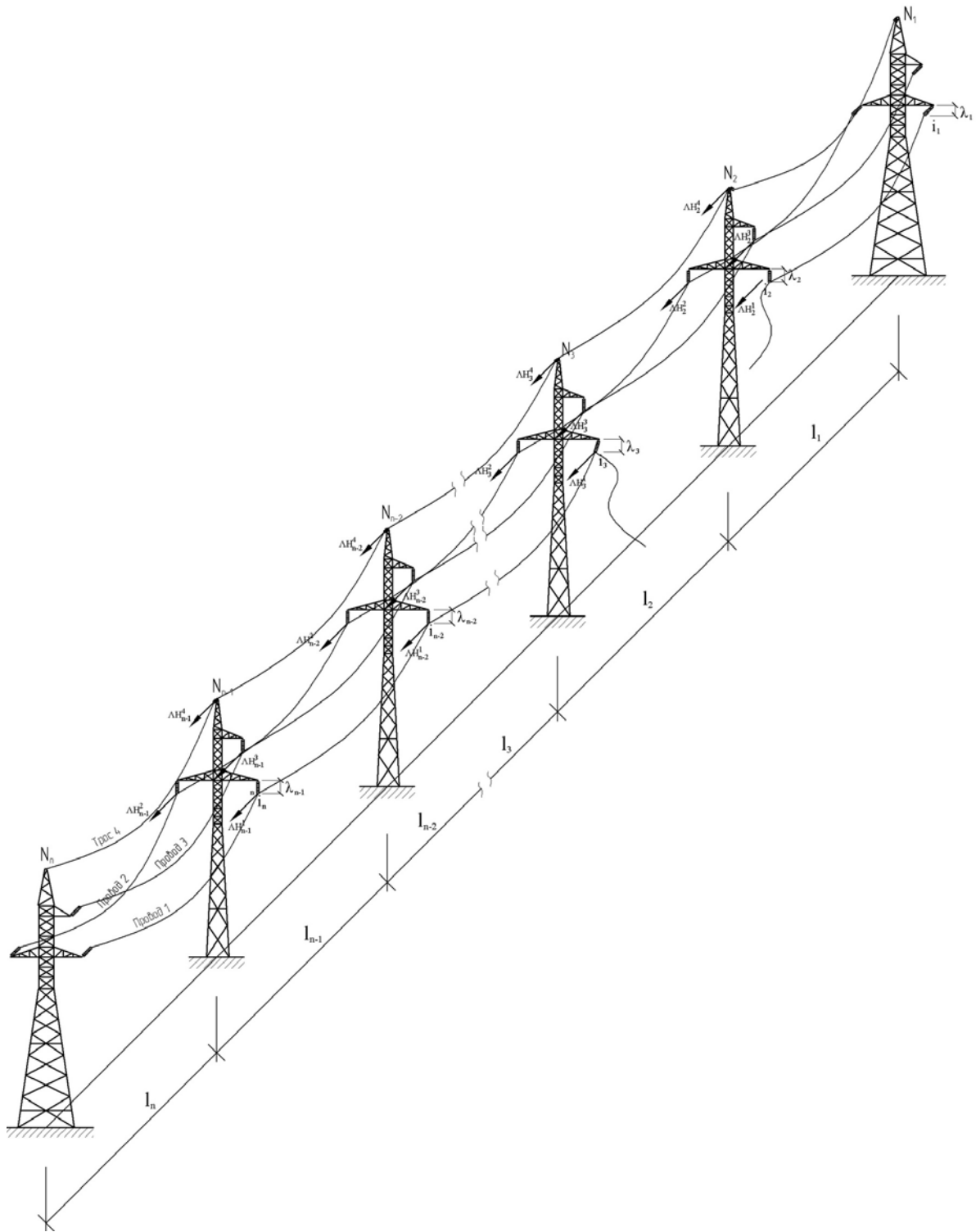


Рисунок 1. Расчетная модель высоковольтной линии электропередачи при обрыве провода (анкерванный участок).

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

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

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

$$\begin{cases} F_2(H_2, H_3) = F_{2п}(H_2) - F_{2г}(H_2) - k_2 \cdot H_2 + \\ + F_{3г}(H_2, H_3) + k_3 \cdot (H_3 - H_2) = 0 \dots \\ F_i(H_{i-1}, H_i, H_{i+1}) = F_{ин}(H_i) - F_{иг}(H_{i-1}, H_i) - \\ - k_i \cdot (H_i - H_{i-1} + F_{i+г}(H_i, H_{i+1})) + \\ + k_{i+1} \cdot (H_{i+1} - H_i) = 0 \\ F_N(H_{N-1}, H_N) = F_{Нп}(H_N) - F_{Нг}(H_{N-1}, H_N) - \\ - k_N \cdot (H_N - H_{N-1}) = 0, \end{cases} \quad (6)$$

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.

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

4.3. 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».

4.4 Изменение тяжений провода в зависимости от количества уцелевших

В таблице 1 и таблице 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).

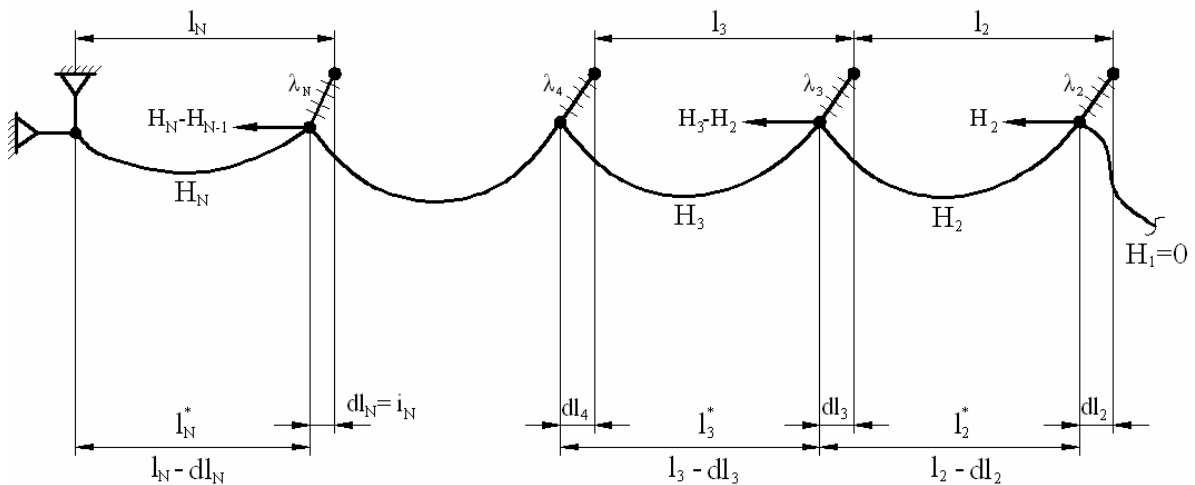


Рисунок 2. Случай обрыва провода в N-ном пролете от анкерной опоры.

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%

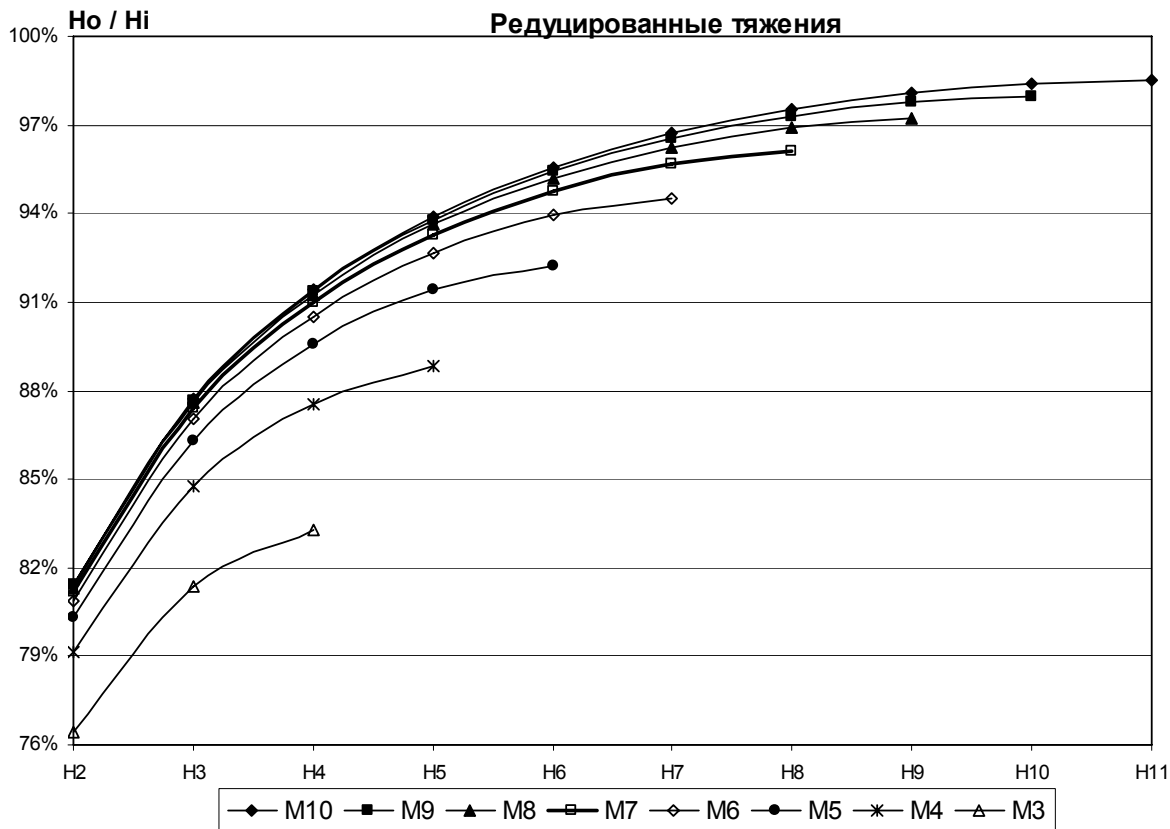


Рисунок 3. Тяжение без учета гибкости опор.

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%

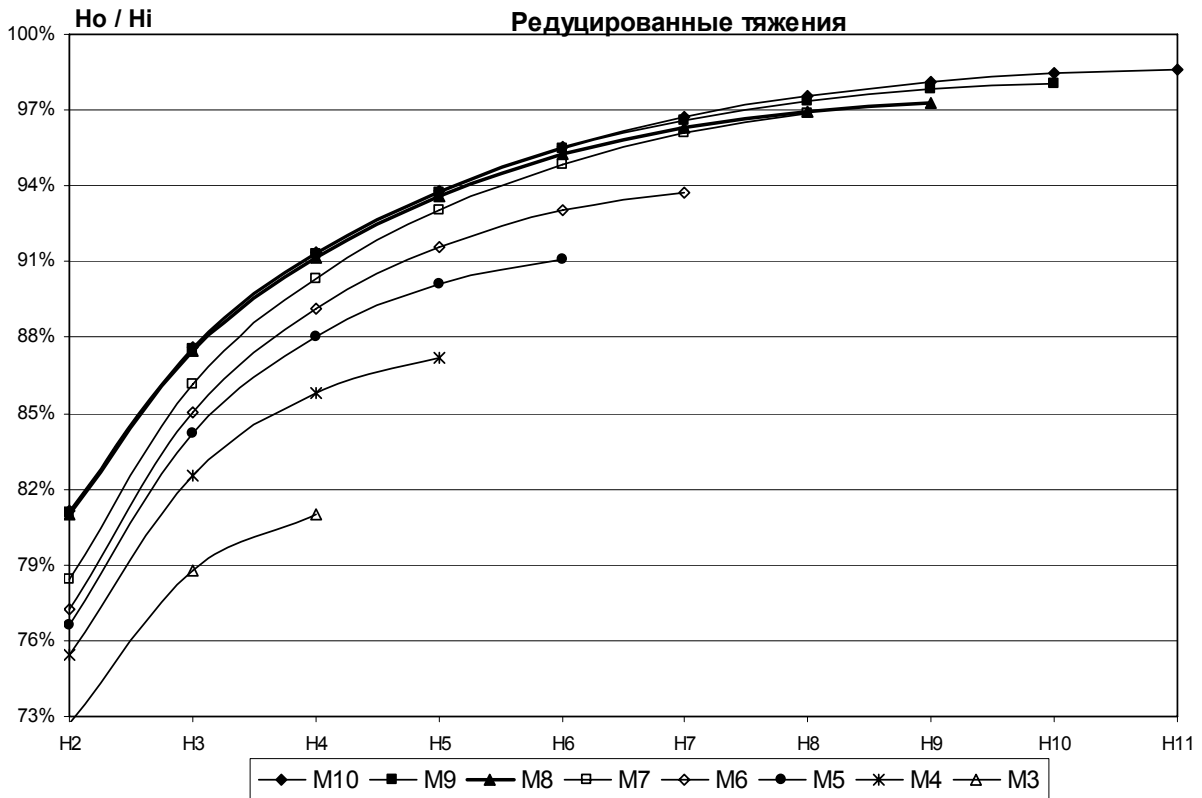


Рисунок 4. Тяжение с учетом гибкости опор.

5. 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% (см. рис. 4). Поэтому для определения максимальной величины редуцированного тяжения допустимо решать задачу с 7-ю пролетами в анкерowanym участке. Дальнейшее увеличение числа пролетов не приведет к ощутимому увеличению тяжения.

Литература

1. Крюков К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. — [2-е изд.]. — Л. : Энергия, 1979. — 312 с.
2. Соколов А. Г. Опоры линий электропередачи / А. Г. Соколов. — М. : Госстройиздат, 1961. — 171 с.
3. Чирас А. А. Методы линейного программирования при расчете упруго-пластических систем / А. А. Чирас. — Л. : Стройиздат, 1969. — 198 с.
4. Правила улаштування електроустановок, глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ». — К. : «ГРІФРЕ» Мінпаливенерго України, 2006. — 125 с.
5. Зеличенко А.С. Проектирование механической части воздушных линий сверхвысокого напряжения / А. С. Зеличенко, Б. И. Смирнов. — М. : Энергоиздат, 1981. — 336 с.
6. Крюков К. П. Переходы воздушных линий через большие водные пространства / К. П. Крюков. — Л. : Энергоатомиздат, 1982. — 224 с.
7. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. — К. : издат-во «Факт», 2005. — 344 с.
8. Справочник по проектированию линий электропередачи / [под ред. С. С. Рокотяна и М. А. Реута]. — М. : Энергия, 1980. — 296 с.
9. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. — К. : ВПП «SCAD», 2001. — 448 с.
10. Шевченко Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи / Е. В. Шевченко. — [2-е изд.]. — Макеевка : ДонГАСА, 1999. — 169 с.
11. Алгоритмы расчёта стальных конструкций / [Е. В. Горохов, В. Ф. Муцанов, А. М. Югов и др.] ; под ред. Е. В. Горохова. — М. : Стройиздат, 1989. — 368 с.
12. Барский В. Б. О применении математических методов при унификации стальных конструкций / В. Б. Барский, А. В. Перельмутер // Сборник «Совершенствование производства металлических конструкций». — М. : Стройиздат, 1971. — 231 с.
13. Gorokhov E. V. Durability of Steel Structures Under Reconstruction / E. V. Gorokhov. — Rotterdam : Brookfield, 1999. — 297 p.
14. Spillers W R. Geometric optimization using simple code representation / Spillers W. R. and Kountouris G. // J. of Str. Div, ASCE, 1980. — V. 106. — P. 959–970.
15. Mishell A. G. The limits of economy of materials in frame structures / A. G. Mishell // Phil. Magazine. — 1904. — V. 8, No. 47. — P. 589–595.
16. Dobbs M. W. Optimization of truss geometry / M. W. Dobbs and Felton L. P. // J. of Str. Div., ASCE. — 1969. — V. 95. — P. 2105–2118.
17. Friedland L. R. Geometric structural behavior / L. R. Friedland. // Thesis presented to Columbia University, at New York in 1971. — 98 p.
18. Ghannoum E. Reliability and security concepts applied to structural design of transmission lines / E. Ghannoum // 10-th Annual Eng. Conf. on Reliability. Availab., Maintainab of Electric Power Jnt / Monreal, May. — 1983. — P. 988–991.
19. IEEE Transactions on PAS. — 1981. — Vol. 100, N° 7. — P. 12.
20. J.G.S. da Silva. An evaluation of structural steel design systems for transmission and telecommunication towers / J.G.S. da Silva, P.C.G da S. Vellasco, S.A.L. de Andrade, M.L.R. de Olivera. // Proceedings of International IASS Symposium «Lightweight Structures in Civil Engineering – Contemporary Problems» June 24–28, Warsaw, 2002. — P. 162–165.
21. Schmit L. A. Structural design by systematic synthesis / L. A. Schmit // Proc. of the Second ASCE

- Conf. on Electric Comput. – Pittsburg, 1960. – P. 105–122.
22. H. Spillers W. R. Iterative design for optimal geometry / W. R. Spillers // J. of Str. Div., ASCE. – 1975. – V. 101. – P. 1435–1442.
23. Wood A. O. Transmission line design the ultimate load concept / Wood A. O., Mclellan M. // CIGRE, 1982. – Rep. 22-01.
24. Dutta S.R.K. New algorithms for constrained minimax optimization. Mach. Program., 1977, 13, № 2, p. 140-155.191. ENV 1993-1-1. Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussel: CEN/TC 250 / SC3, 1992.

Шевченко Євген Володимирович — доктор технічних наук, професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор. Участь в розробці будівельних норм проектування.

Мітраков Володимир Олексійович — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої й прикладної математики та інформатики Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка математичних методів при проектуванні, виготовленні й монтажі будівельних конструкцій і споруд.

Танасогло Антон Володимирович — аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор.

Шевченко Евгений Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, академик Академии строительства Украины. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Участие в разработке строительных норм проектирования.

Митраков Владимир Алексеевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей и прикладной математики и информатики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка математических методов при проектировании, изготовлении и монтаже строительных конструкций и сооружений.

Танасогло Антон Владимирович — аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор.

Evgeny V. Shevtchenko — D. Sc. (Engineering), a Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, a Member of the Ukrainian Association on Metal Structures, an Academician of the Civil Engineering Academy of Ukraine. Research interests: optimum design of overhead power lines and aerial supports. Participation in the development of building codes of design.

Volodymyr O. Mitrakov — a Ph. D. (Physics and Mathematics), an Assistant Professor of the Higher and Applied Mathematics, and Information Science of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of the mathematical methods at designing, production and assembling of building structures and constructions.

Anton V. Tanasoglo — a postgraduate of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: optimum design of the overhead power lines and aerial support.