

УДК 621.315.1:624.014

А. В. ТАНАСОГЛО, С. А. ФОМЕНКО, А. Н. ВОЛЧКОВ, Л. В. КОЗЛОВА, И. В. ТАНАСОГЛО

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО РАСЧЁТУ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аннотация. В статье разработан программный комплекс по расчёту проводов и тросов опор линий электропередачи. Алгоритм расчёта реализует определение нагрузок на опоры с учётом совместности деформаций конструктивных элементов воздушной линии (ВЛ). В отличие от традиционного расчёта нагрузки аварийного режима определяются не только в режиме гололёда, но и при минимальной и среднеэксплуатационной температурах. Разработанный программный комплекс эффективен при новом проектировании и реконструкции действующих ВЛ.

Ключевые слова: линия электропередачи, программный комплекс, критический пролет, токоведущий провод, грозозащитный трос, методика расчета.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В настоящее время в энергосистемах стран СНГ эксплуатируется около 600 тыс. км воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ на металлических опорах, общая масса которых достигает 5 млн тонн [1, 2]. Массовый характер возведения опор ВЛ особенно остро ставит вопрос повышения эффективности, долговечности и надежности энергетического строительства, поэтому пересмотр существующих типовых проектов представляет важную задачу [3–5].

Быстрое и эффективное совершенствование опор ВЛ возможно путем их оптимизации и автоматизации проектирования, включая: создание расчетной модели ВЛ как единой сети; исследование нагрузок от проводов и тросов при их совместной работе с конструкциями опор в зависимости от рельефа местности и атмосферно-климатических условий; анализ напряженно-деформированного состояния токоведущих проводов и грозозащитных тросов [6–8]. Поэтому создание расчетного комплекса по автоматизированному расчету проводов и тросов является актуальной задачей.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Алгоритм расчёта проводов и тросов реализует определение нагрузок на опоры с учётом совместности деформаций конструктивных элементов ВЛ, атмосферных условий и профиля трассы для необходимого числа режимов работы линии электропередачи [9].

Провода и тросы, подвешенные на опорах воздушной линии, находятся под постоянным действием равномерно-распределённой по длине вертикальной статической нагрузки от собственного веса. Кроме того, на них могут действовать дополнительные нагрузки – вертикальная от гололёда и горизонтальная от ветра [10].

Все возможные сочетания климатических условий показаны в таблице.

Изменение напряжения в проводе (тросе) при изменении атмосферных условий (температуры и нагрузки) описывается известным уравнением состояния провода:

$$\sigma - \frac{\gamma^2 E l^2}{24 \sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 E l^2}{24 \sigma_0^2} - \alpha E \cdot (t - t_0). \quad (1)$$

С помощью переходного уравнения состояния провода (1) можно определить величину напряжения в проводе при новом состоянии, если известны напряжения в начальном состоянии и величины нагрузок и температуры.

Таблица – Расчётные режимы проводов и тросов

Расчётный режим	Сочетание климатических условий	Номер нагрузки γ
I	Провода и трос покрыты гололёдом, температура минус 5 °С, скоростной напор ветра при гололёде	7
II	Провода и трос покрыты гололёдом, температура минус 5 °С, ветра нет	3
III	Максимальный скоростной напор ветра, температура минус 5 °С, гололёда нет	6
IV	Среднегодовая температура, ветра и гололёда нет	1
V	Температура плюс 15 °С, ветра и гололёда нет	1
VI	Низшая температура, ветра и гололёда нет	1
VII	Максимальная температура, ветра и гололёда нет	1
VIII	Температура минус 15 °С, скоростной напор ветра при монтаже 6,25 кг/м ² , гололёда нет	8
IX	Температура плюс 15 °С, скоростной напор ветра при грозовых перенапряжениях ($q = 0,1_{max}$; если $< 6,25$ кг/м ² , то = 6,25 кг/м ²)	9
X	Температура минус 15 °С, ветра и гололёда нет	1

Из уравнения (1) следует, что при малых пролётах на величину напряжения оказывает большое влияние температура, а при больших пролётах – нагрузка. Отсюда следует, что должна быть такая пограничная величина пролёта, при которой влияние температуры и нагрузки на величину напряжения будет одинаковым. Такой пролёт называется критическим.

Для вычисления значений критического пролёта между любыми режимами необходимо подставить в уравнение состояния провода (1) значения напряжений σ , нагрузок γ и температур t , соответствующие этим режимам:

$$\sigma_I - \frac{\gamma_I^2 E l_k^2}{24 \sigma_I^2} = \sigma_{II} - \frac{\gamma_{II}^2 E l_k^2}{24 \sigma_{II}^2} - \alpha E \cdot (t - t_0). \quad (2)$$

Решая это уравнение относительно l_k , получаем общую формулу критического пролёта:

$$l_k = \frac{\sigma_{II}}{\gamma_I} \cdot \frac{\sigma_{II} - \sigma_I + \alpha E \cdot (t_{II} - t_I)}{\sqrt{\frac{E}{24} \left[\left(\frac{\gamma_{II}}{\gamma_I} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{II}}{\sigma_I} \right)^2 \right]}}. \quad (3)$$

Подставляя в формулу (2) нормируемые ПУЭ [13] значения допускаемых напряжений при минимальной температуре σ_M , максимальной нагрузке σ_H и среднеэксплуатационной температуре $\sigma_{\text{ср}}$, получаем формулы критических пролётов, удобные для практического использования.

Далее производится расчёт грозозащитного троса из условия соблюдения расстояний между проводом и тросом в середине пролёта, требуемых ПУЭ [13] по соображениям грозозащиты при температуре +15 °С и без ветра.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАСЧЕТА ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ОПОР ВЛ

На основе изложенных методик в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработан программный комплекс по расчёту токоведущих проводов и грозозащитных тросов опор линий электропередачи [11].

Данный комплекс реализует алгоритмы определения напряжённо-деформированного состояния проводов и тросов; численно-аналитические методы определения редуцированного тяжения при обрыве в любом пролёте; расчёт гибких однородных тяжёлых нитей по цепной зависимости для больших пролётов и значительных перепадов высот по смежным опорам профиля; уточнение центра тяжести проводов и тросов в процессе итераций; определение весовых, ветровых и аварийных нагрузок для конкретных опор существующего профиля трассы при привязке типовых опор или расстановке конструкций индивидуального проектирования.

За расчетную модель принимается часть линии электропередачи: анкерный участок – расстояние между смежными анкерными опорами (рисунок). Провода и тросы жестко закреплены к анкерным опорам и подвержены тяжению, а к промежуточным опорам они подвешиваются свободно через промежуточный элемент – гирлянду изоляторов. После загрузки равновесие системы в деформированном состоянии наступит, когда деформации проводов и тросов будут равны деформациям конструкций опор [12].

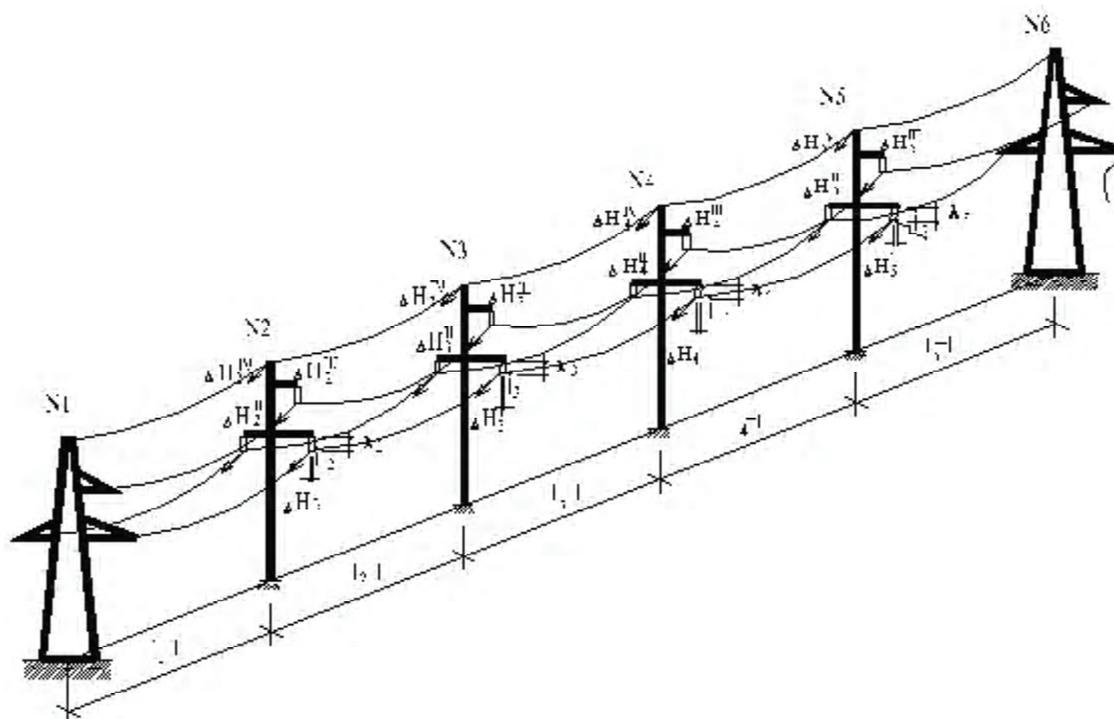


Рисунок – Расчетная модель воздушной линии.

Вся необходимая для выполнения расчёта исходная информация должна быть подготовлена пользователем путём занесения данных по алгоритму в файл исходных данных и в файл данных профиля трассы и расположения опор.

Файл исходных данных включает в себя следующие данные: единичная нагрузка от собственного веса, удельный вес гололёдных отложений, физико-механические характеристики провода и троса, допускаемые напряжения при среднеэксплуатационной и минимальной температурах, допускаемые напряжения при наибольшей нагрузке, коэффициенты тяжения и расщепления провода и троса в соответствии с ПУЭ [13].

В табличной форме в файл данных профиля трассы и расположения опор вводятся следующие данные: номер анкерного участка, номера пролётов и опор. Для каждой опоры и пролётов указываются: длина пролёта, высота фундамента, высота от верха фундамента до нижней траверсы, высота между нижней и средней траверсами, между средней и верхней траверсами, габарит от земли до провода, разность отметок тросостойки и траверсы, длина и нормативный вес гирлянды изоляторов провода, длина и нормативный вес гирлянды изоляторов троса, абсолютная отметка земли, коэффициенты гибкости опоры и распределения усилий, угол поворота трассы.

В результате расчета программа выдает таблицы монтажных стрел, тяжений и напряжений токоведущих проводов и грозозащитных тросов для расчетного диапазона температур окружающего воздуха.

ВЫВОДЫ

1. Разработан программный комплекс по расчёту токоведущих проводов и грозозащитных тросов опор линий электропередачи.

2. В отличие от традиционного расчёта нагрузки аварийного режима для анкерно-угловых опор определяются не только в режиме гололёда, но и при минимальной и среднеэксплуатационной температурах.

3. Расчет в программном комплексе позволяет рассмотреть поочерёдный обрыв всех фаз проводов и тросов как в левом, так и в правом пролётах. При расчете вычисляется как нормативная аварийная нагрузка, так и редуцированное аварийное тяжение с учётом влияния гибкости опоры, длины гирлянды изоляторов, пролёта и перепада высот профиля для смежных опор.

4. Разработанный программный комплекс эффективен как при индивидуальном проектировании новых линий электропередачи для конкретных атмосферно-климатических условий, так и при реконструкции действующих линий электропередачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи [Текст] : моногр. / Е. В. Шевченко. – [2-е изд.]. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 169 с.
2. Танасогло, А. В. Узкобазые конструкции решетчатых опор воздушных линий повышенной надежности [Текст] / А. В. Танасогло // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – Вып. 2015-3(113) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 50–53.
3. Назим, Я. В. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций опор большого перехода меж-системной воздушной линии электропередачи в условиях реконструкции с заменой проводов [Текст] / Я. В. Назим, А. В. Танасогло // Металлические конструкции. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 49–61.
4. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines [Текст]. – Third Edition. – Geneva, Switzerland : International Electrotechnical Commission, 2003. – 241 p. – (International Standard).
5. Yang, B. Stress, strain, and structural dynamics [Текст] : an interactive handbook of formulas, solutions, and MATLAB toolboxes / Bingen Yang. – [S. l.] : Elsevier Academic Press, 2005. – 960 p.
6. Танасогло, А. В. Уточнение коэффициента динамичности анкерно-угловой опоры ВЛ 110 кВ при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки [Текст] / А. В. Танасогло // Металеві конструкції. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 135–145.
7. Li, H. High voltage transmission tower line system subjected to disaster loads [Текст] / H. Li and H. Bai // Progress in Natural Science. – 2006. – Vol. 16, No. 9. – P. 899–911.
8. Refinement of wind loads on lattice support structures of the intersystem overhead power transmission lines 750 kV [Text] / Ye. Shevchenko, Ya. Nazim, A. Tanasoglo, I. Garanzha // Procedia Engineering, 2015. – 117. – P. 1033–1040.
9. Оптимальное проектирование решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи [Текст] / А. П. Пустогвар, А. В. Танасогло, И. М. Гаранжа, Л. А. Шилова и др. // МАТЕС Web of Conferences. – 2016. – № 86, 04003(2016). – P. 19–28.
10. Танасогло А. В. Оптимальные конструктивные решения двухцепных анкерно-угловых опор линий электропередачи 110 кВ [Текст] / А. В. Танасогло // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2015. – Т. 11, № 1. – С. 5–14.
11. Танасогло А. В. Численно-аналитическая методика решения задачи устойчивости пространственных решетчатых конструкций [Текст] / А. В. Танасогло // Металлические конструкции. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 107–117.
12. Design of Latticed Steel Transmission Structures [Текст] / American Society of Civil Engineers. ANSI/ ASCE 10_90, A.N.S.I. – New York : A.S.C.E., 1991. – 64 p.
13. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст] / Міністерство палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).

Получено 30.04.2019

А. В. ТАНАСОГЛО, С. О. ФОМЕНКО, О. М. ВОЛЧКОВ, Л. В. КОЗЛОВА,
И. В. ТАНАСОГЛО
ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС З РОЗРАХУНКУ ПРОВІДІВ І ТРОСІВ ЛІНІЙ
ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розроблено програмний комплекс з розрахунку проводів і тросів опор ліній електропередавання. Алгоритм розрахунку реалізує визначення навантажень на опори з урахуванням спільності деформацій конструктивних елементів повітряної лінії (ПЛ). На відміну від традиційного розрахунку навантаження аварійного режиму визначаються не тільки в режимі ожеледі, а й при мінімальній і середньоексплуатаційній температурах. Розроблений програмний комплекс ефективний при новому проектуванні та реконструкції діючих ПЛ.

Ключові слова: лінія електропередавання, програмний комплекс, критичний проліт, струмоведучий провід, грозозахисний трос, методика розрахунку.

ANTON TANASOGLO, SERAFIM FOMENKO, ALEXANDER VOLCHKOV,
LYUDMILA KOZLOVA, IRINA TANASOGLO
SOFTWARE PACKAGE ON CALCULATION OF CONDUCTOR WIRES AND
GROUND WIRES OF POWER TRANSMISSION LINES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. There is given a software package for the calculation of wires and ground wires of power transmission line supports. The calculation algorithm implements the determination of the loads on the supports, taking into account the compatibility of deformations of the structural elements of the overhead power line (OPL). In contrast to the traditional calculation of the emergency load, they are determined not only in the ice mode, but also at the minimum and average operating temperatures. The developed software package is effective in the new design and reconstruction of existing OPL.

Key words: power transmission line, software package, critical span, conductor wire, ground wire, calculation method.

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.

Волчков Александр Николаевич – ассистент кафедры электротехники и автоматики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, проектирование 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 Ирина Викторовна – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие общей методики динамических расчетов элементов строительных конструкций и поиск рациональных способов гашения колебаний.

Танасогло Антон Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська 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 Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій і пошук раціональних способів гасіння коливань.

Волчков Олександр Миколайович – асистент кафедри електротехніки і автоматики ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи і довговічності конструкцій опор повітряних ліній, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

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

Танасогло Ірина Вікторівна – магістрант кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій та пошук раціональних способів гашення коливань.

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 the general dynamic design technique of building structure elements and search for the rational ways of vibration damping.

Volchkov Alexander – assistant, Electrotechnics and Automatics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliable operation supply and durability of the transmission line supports structures, structural designing work with the guarantee indices of durability.

Kozlova Lyudmila – Ph. D. (Econ.), Associate Professor, Economics, Expertise and Property Management Department, 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.

Tanasoglo Irina – master's student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of the general dynamic design technique of building structure elements and search for the rational ways of vibration damping.