



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2018, ТОМ 24, НОМЕР 1, 17–27
УДК 621.315.1:624.014

(18)-0372-1

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ АНКЕРНО-УГЛОВОЙ ОПОРЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ 110 КВ

А. В. Танасогло, С. Н. Бакаев, А. В. Мущанов, К. С. Бакаева

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: a.v.tan@mail.ru*

Получена 22 января 2018; принята 23 марта 2018.

Анотация. В статье выполнен анализ напряженно-деформированного состояния анкерно-угловой опоры ВЛ, которая рассматривается как пространственная многократно статически неопределимая сквозная система с жесткими узлами. Приводится методика и результаты расчета пространственной модели опоры в программном комплексе «SCAD». Рассматривается ряд вопросов, связанных с уточненным определением внутренних продольных усилий в элементах конструкции опоры ВЛ. При расчете анализируется совместная работа элементов решетки пространственной модели опоры. На основании расчета и обобщения результатов выполнено детальное сравнение полученных внутренних усилий с усилиями, определенными в элементах типовой опоры ВЛ от одинаковых значений нагрузок. Представлены схемы оптимизированных двухцепных опор ВЛ 110 кВ. Выполнен сравнительный анализ масс типовых и оптимальных анкерно-угловых опор У110-2 с цинковым покрытием и без него. Результаты исследований внедрены при изготовлении, монтаже и эксплуатации оптимальной башенной опоры.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи (ВЛ), напряженно-деформированное состояние, пространственная модель, стальная опора, оптимальное проектирование, расчетные нагрузки.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОПТИМАЛЬНОЇ АНКЕРНО-КУТОВОЇ ОПОРИ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ 110 КВ

А. В. Танасогло, С. М. Бакаєв, О. В. Мущанов, Х. С. Бакаєва

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: a.v.tan@mail.ru*

Отримана 22 січня 2018; прийнята 23 березня 2018.

Аннотація. У статті виконано аналіз напружено-деформованого стану анкерно-кутової опори ПЛ, яка розглядається як просторова багаторазово статично невизначена наскрізна система з жорсткими вузлами. Наводиться методика і результати розрахунку просторової моделі опори в програмному комплексі «SCAD». Розглядається ряд питань, пов'язаних з уточненим визначенням внутрішніх поздовжніх зусиль в елементах конструкції опори ПЛ. При розрахунку аналізується спільна робота елементів решітки просторової моделі опори. На підставі розрахунку й узагальнення результатів виконано детальне порівняння отриманих внутрішніх зусиль із зусиллями, визначеними в елементах типової опори ПЛ від однакових значень навантажень. Представлені схеми оптимізованих дволанцюгових опор ПЛ 110 кВ. Виконано порівняльний аналіз мас типових і оптимальних анкерно-кутових опор У110-2 з цинковим

покрытням і без нього. Результати досліджень впроваджені при виготовленні, монтажі та експлуатації оптимальної баштової опори.

Ключові слова: повітряна лінія електропередавання (ПЛ), напружено-деформований стан, просторова модель, сталева опора, оптимальне проектування, розрахункові навантаження.

THE ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE OPTIMAL CORNER DEAD-END SUPPORT OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINE 110 KV

Anton Tanasoglo, Sergii Bakayev, Alexander Mushchanov, Christina Bakayeva

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: a.v.tan@mail.ru

Received 22 January 2018; accepted 23 March 2018.

Abstract. The analysis of the stress-strain state of dead-end OPTL support which is considered as spatial repeatedly statically indefinable through system with rigid joints is performed. The technique and results of calculation of spatial model of a support is resulted in a software package «SCAD». Some questions, connected with specified definition of the internal longitudinal forces in elements of OPTL support's construction are considered. During calculation teamwork of lattice elements of spatial model of a support is analyzed. On the basis of calculation and generalization of results detailed comparison of the received internal efforts with the efforts defined in elements of typical OPTL support from identical values of loadings is executed. It has been given the schemes of the optimized double-circuit OPTL supports 110 kV. There was made a comparative analysis of the masses of typical and optimal corner dead-end supports U110-2 with zinc coating and without it. Results of researches have been introduced at manufacturing, installation and operation of optimal tower support.

Keywords: overhead power transmission line (OPTL), stress-strain state, spatial model, still support, optimal designing, design loads.

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]. Массовый характер возведения опор ВЛ особенно остро ставит вопрос повышения эффективности, долговечности и надежности энергетического строительства, поэтому изыскание путей дополнительной экономии стали при строительстве высоковольтных линий и пересмотр существующих типовых проектов представляет важную задачу [2, 3].

В условиях рыночной экономики конструкции опор ВЛ должны обладать низкой стоимостью и гарантированным качеством, на изготовление которых будет расходоваться минимальное количество стали. Поэтому необходимо совершенствование опор ВЛ, которое возможно

путем уточнения усилий в элементах опор и при проектировании с использованием численных методов [4, 5].

Так как в последнее время принята позиция индивидуального строительства линий электропередач, то уточнение внутренних усилий в типовых опорах для дальнейшей их оптимизации является актуальной задачей при новом проектировании.

Обзор литературы и формулировка проблемы

Воздушная линия электропередачи представляет собой сложное инженерное сооружение, в котором гибкие элементы (провода и тросы) работают совместно с жесткими (опорами), и при этом вся сеть предварительно напряжена [6, 7].

Элементы опор рассматриваются как пространственные системы, нагруженные силами,

которые также расположены в пространстве. Эти элементы в большинстве случаев имеют призматическую или пирамидальную форму с малыми углами наклона поясов к продольной оси. Существует мнение [8, 9], что в этих случаях расчет пространственных элементов достаточно производить путем разложения нагрузок на составляющие в плоскостях граней и сводить к расчету плоских ферм под действием системы сил, лежащих в плоскости фермы.

В работе [10] изложены основные принципы расчета сложных инженерных сооружений, реализованного в ПК «SCAD» и аналогичных вычислительных комплексах, основанных на методе конечных элементов.

Расчет анкерно-угловой опоры У110-2+9 в «SCAD» и сравнение результатов расчета

Целью является анализ напряженно-деформированного состояния оптимальной анкерно-угловой опоры ВЛ и сравнение результатов расчета внутренних усилий с типовой опорой.

Действительная расчетная схема металлической решетчатой опоры башенного типа – это пространственная многостержневая многократно статически неопределимая сквозная система с жесткими узлами.

Расчет опоры ВЛ с учетом всех ее свойств, точных геометрических размеров, строгого взаимодействия элементов в узлах является не реализуемым на современном этапе из-за своей сложности [11]. Поэтому при типовом проектировании пространственная конструкция опоры ВЛ, воспринимающая и передающая на фундаменты все нагрузки и воздействия, заменяется расчетными схемами и расчленяется на элементы – плоские фермы (рис. 1а). Производится схематизация опоры и отбрасываются второстепенные факторы, которые не влияют на достоверность и требуемую точность расчета. Данные операции приводят к погрешностям в определении усилий, которые при расчете стальных конструкций частично компенсируются приближенным учетом пространственной работы. Исследования действительной работы решетчатых опор башенного типа показали, что такое приближение приводит к очень небольшим погрешностям

в величине нормальных сил, действующих в стержнях всей системы [12].

Расчетной схемой опоры башенного типа является упрощенная, идеализированная схема, которая отражает наиболее существенные особенности реальной опоры, определяющей ее поведение под нагрузкой. Так, общепринято пренебрегать жесткостью узлов при определении усилий, считая их шарнирными [13]. В дальнейшем жесткость узлов учитывается при определении расчетных длин стержней опоры ВЛ. Подобное допущение значительно упрощает расчет [14].

Построение пространственной модели опоры ВЛ было выполнено в программном комплексе «SCAD» (рис. 1б).

Для создания пространственной модели опоры были приняты следующие допущения: в расчетной схеме стержневой конструкции стержни заменялись их продольными осями, реальные опорные устройства заменялись идеальными опорными связями, собранные нагрузки с поверхности стержней переносились на оси.

Расчет опоры У110-2+9 производится на нагрузки для 3-го ветрового района. Статическая составляющая, соответствующая установившемуся ско-ростному напору, принимается по ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия» равной $q_0 = 0,5$ кПа.

Суммарное давление ветра на конструкцию опоры $P_{\text{расч}} = 6\,436$ кг.

Дальнейшая схематизация конструкции опоры состоит в определении ее расчетных размеров. По имеющимся генеральным размерам опоры в плоскости и из плоскости, габаритам сечений отдельных стержней опоры устанавливались все необходимые длины элементов, входящих в пространственную модель опоры.

Последовательность ввода исходных данных для создания моделей: построение расчетной схемы, описание условий закрепления конструкции опоры в пространстве, назначение жесткостей элементов конструкции, создание схем загрузок конструкции опоры, составление расчетных комбинаций загрузок, выполнение расчета, анализ результатов расчета и сравнение полученных внутренних усилий в расчетных схемах.

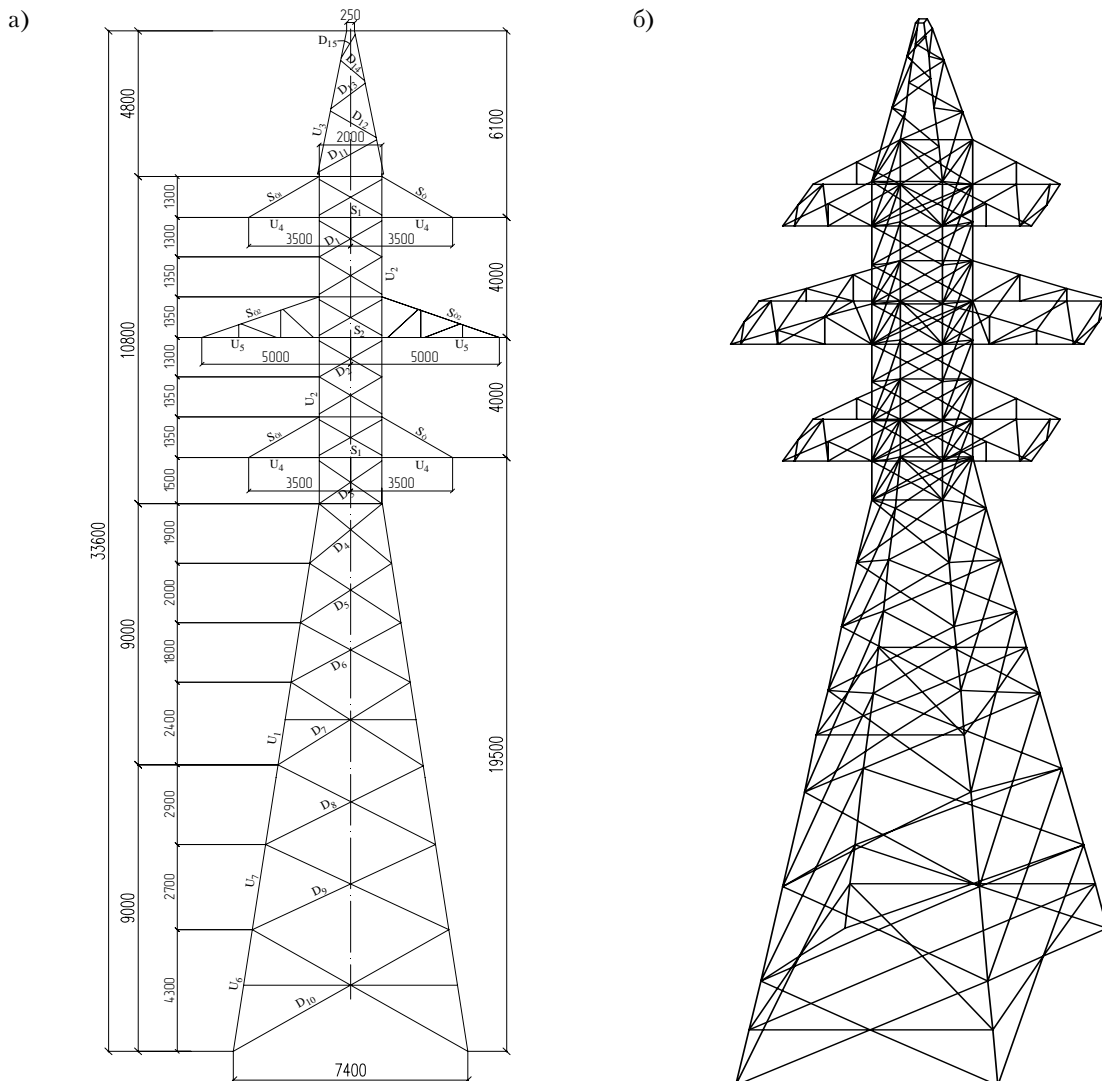


Рисунок 1. Расчетная схема анкерно-угловой опоры ВЛ У110-2+9.

Расчет анкерно-угловой опоры ВЛ У110-2+9 производится на 5 схем загрузений (табл. 1) [15].

После расчета программа «SCAD» автоматически выдает внутренние усилия в стержнях опоры ВЛ (продольные усилия сжатия и растяжения) по каждой схеме загрузения.

По результатам расчета выявляются максимальные усилия, возникающие в элементах опоры, производится их анализ и сравнение полученных результатов расчета с усилиями, определенными в типовой опоре У110-2+9.

Сравнение полученных внутренних усилий с усилиями, определенными в элементах типовой анкерно-угловой опоры У110-2+9, приведено в табл. 2.

Разработка новых оптимальных конструкций опор ВЛ 110 кВ

Оптимизационный расчет серии башенных опор ВЛ 110 кВ выполнялся в программном комплексе по расчету и оптимальному конструированию опор линий электропередачи «MISI1», разработанному в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [16, 17].

Задача оптимизации сводится к нахождению вектора варьируемых параметров (1), который минимизирует целевую функцию и удовлетворяет ограничениям (2)–(4) и условиям (5), (6). Система ограничений формируется автоматически в виде проверок целевой функции, выражение которой является сложной нелинейной задачей, т. к. велико число варьируемых параметров [18].

Таблица 1. Схемы расчетных нагрузок на опору У110-2+9

№ п/п	Характеристика схем	Схема загрузки
I	<p>Провода и трос не оборваны и свободны от гололеда. Ветер направлен вдоль осей траверс. $t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 0$. $q_{\text{л}}^{\text{н}} = 50 \text{ кг/м}^2$; $q_{\text{т}}^{\text{н}} = 74 \text{ кг/м}^2$. I-й район гололеда. $\alpha = 60^\circ$. Разность тяжений. Провод АС-240/32, трос С-50.</p>	
II	<p>Провода и трос не оборваны и покрыты гололедом. Ветер направлен вдоль осей траверс. $t = -5 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 20 \text{ мм}$. $q_{\text{л}}^{\text{н}} = 14 \text{ кг/м}^2$; $q_{\text{т}}^{\text{н}} = 16,5 \text{ кг/м}^2$. IV-й район гололеда. $\alpha = 50^\circ$. Разность тяжений. Схема является расчетной для поясов ствола опоры.</p>	
IIк	<p>Опора концевая. Провода и трос не оборваны и покрыты гололедом. Ветер направлен вдоль осей траверс. $t = -5 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 20 \text{ мм}$. $q_{\text{л}}^{\text{н}} = 14 \text{ кг/м}^2$; $q_{\text{т}}^{\text{н}} = 16,5 \text{ кг/м}^2$. IV-й район гололеда. $\alpha = 0^\circ$. Схема является расчетной для тросостойки, поясов и раскосов траверс.</p>	
III	<p>Оборван провод, дающий наибольший изгибающий и крутящий моменты на опору. Трос не оборван. $t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 0$. $q = 0$. IV-й район гололеда. $\alpha = 60^\circ$; $\alpha = 0^\circ$. Схема является расчетной для раскосов ствола опоры, пояса траверсы.</p>	
IIIк	<p>Опора концевая. Оборван провод, дающий наибольший крутящий момент на опору. Трос не оборван. $t = -5 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 20 \text{ мм}$. $q = 0$. IV-й район гололеда. $\alpha = 0^\circ$. Схема является расчетной для раскосов ствола опоры.</p>	

Таблица 2. Сравнительный анализ усилий в типовой и оптимальной опорах У110-2+9

Часть опоры	Наименование элементов опоры	Обозначение элементов	Расчетные усилия сжатия N, т		Изменение усилий		Сечения элементов опор	
			тип.	опт.	т	%	тип.	опт.
Нижняя секция	Пояс	U ₁	53,40	54,78	+1,38	+2,5	└ 160×10	└ 160×10
	Раскос	D ₄	2,96	3,17	+0,21	+6,6	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D ₅	2,25	2,11	-0,14	-6,2	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D ₆	1,67	1,69	+0,02	+1,1	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D ₇	1,46	1,32	-0,14	-9,5	└ 90×7	└ 50×4
	Раскос	D ₄ '	3,21	3,53	+0,32	+9,1	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D ₅ '	2,40	2,55	+0,15	+5,9	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D ₆ '	1,80	1,81	+0,01	+0,5	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D ₇ '	1,57	1,42	-0,15	-9,5	└ 90×7	└ 50×4
Подставка (H = 9,0 м)	Пояс	U ₆	57,30	56,65	-0,65	-1,1	└ 180×11	└ 160×10
	Раскос	D ₈	1,06	1,09	+0,03	+2,8	└ 70×6	└ 60×5
	Раскос	D ₉	0,96	0,95	-0,01	-1,1	└ 70×6	└ 63×5
	Раскос	D ₁₀	0,88	0,79	-0,09	-10,2	└ 110×8	└ 70×5
	Раскос	D ₈ '	1,13	1,05	-0,08	-7,1	└ 70×6	└ 60×5
	Раскос	D ₉ '	1,03	0,98	-0,05	-4,8	└ 70×6	└ 63×5
	Раскос	D ₁₀ '	0,97	0,69	-0,28	-28,8	└ 110×8	└ 70×5

$$Z = f(H, L, b, Q, l_n, R_y, K_6, n_p) \quad (1)$$

В формуле (1) величины H, L, b, Q – заданные параметры, где H – высота опоры, b – база, L – пролет, Q – вектор внешней нагрузки; величины l_n, R_y, K_6, n_p – варьируемые параметры геометрической схемы, где l_n – длина панели, K_6 – количество болтов, n_p – тип решетки опоры.

Выпишем основные ограничения, которым удовлетворяет вектор варьируемых параметров (1):

- несущая способность сжатых и растянутых элементов соответственно:

$$N_i \leq A_i \cdot R_{yi} \cdot \varphi_i \text{ и } N_i \leq A_i \cdot R_{yi}, \quad (2)$$

где N_i – продольная сила в i -том элементе; R_{yi}, A_i, φ_i – соответственно расчетное сопротивление, площадь поперечного сечения и коэффициент продольного изгиба i -го элемента;

- минимальная площадь элемента:

$$A_i \geq [A_i] \quad (3)$$

где $[A_i]$ – минимально допустимая площадь i -того элемента по предельной гибкости или по конструктивным требованиям;

- значение неизвестных:

$$J_i \geq X_i \geq j_i, \quad (4)$$

где J_i и j_i – верхний и нижний пределы изменения варьируемых параметров.

Основные условия, которым удовлетворяет вектор варьируемых параметров (1):

- условие равновесия:

$$k(x) \cdot B - P(x) = 0, \quad (5)$$

где $k(x)$ – матрица жесткости системы;

B – вектор узловых перемещений;

$P(x)$ – вектор внешних нагрузок;

- условие совместности деформаций:

$$\Delta L_{Ni}(N_i, A_i, l_i) = \Delta L_i(\Delta x, \Delta y, \Delta z), \quad (6)$$

где DL_{Ni} и DL_i – деформация соответственно i -того и i_{-1} элемента.

Геометрическая схема опоры ВЛ задается с учетом ограничений (2)–(4) на пределы изменения переменных. Данные ограничения направлены на то, чтобы сохранить определенную форму системы и поставить в соответствие варьируемые параметры требованиям проектирования [19].

При оптимизации конструкций анкерно-угловых опор 110 кВ заданными параметрами

являлись база и ширина верхней части ствола, которая определяется электрическими габаритами. Варьировались количество и длины панелей, длины поясных секций, тип решетки и диафрагмы ствола, тип узловых сопряжений раскосов с поясами.

В качестве примера произведенного оптимизационного расчета приведена таблица 2, в которой выполнен сравнительный анализ расчетных усилий и сечений стержней для нижней секции и подставки (H=9,0 м) типовой и оптимальной анкерно-угловых опор У110-2+9. Обозначение

элементов в таблице 2 принято в соответствии с рис. 1а.

Результатом оптимизации опоры У110-2+9 явилось снижение массы с 11,391 до 8,383 т, или на 35,9%. Осуществлен переход с поясного уголка L180×11 на L160×10 для девятиметровой подставки оптимальной опоры [17].

Геометрические схемы разработанных оптимальных анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ представлены на рисунке 2. Сравнение по массе типовых и оптимальных опор приведено в таблице 3.

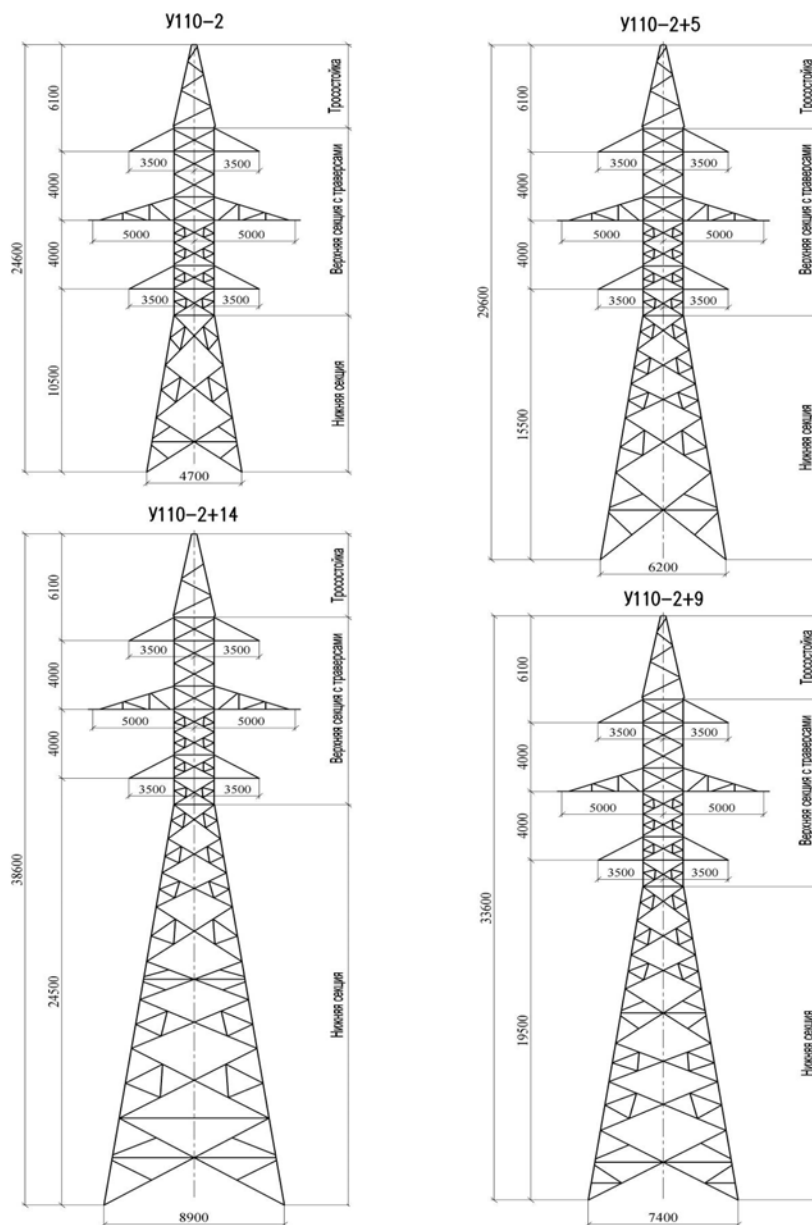


Рисунок 2. Геометрические схемы оптимизированных анкерно-угловых опор У110-2.

Результаты исследований внедрены при изготовлении, монтаже и эксплуатации оптимальной опоры У110-2+14 ВЛ 110 кВ «Кременчуг – ГПП4» на территории Полтавского горно-обогатительного комбината (рис. 3, 4) [17].

Эффективность заключается в снижении массы конструкции опоры на 39,5 % по сравнению с типовой опорой за счет более точного определения усилий в пространственной модели, пересчета коэффициентов продольного изгиба, введения

Таблица 3. Сравнение масс типовых и оптимальных опор У110-2

№ п/п	Тип опоры	Масса опоры*		Экономия на 1 опору по сравнению с типовой	
		типовая опора, КМ	оптимальная опора, КМД	кг	%
1	У110-2	7704	5676	2028	35,7
		8002	5910	2092	35,4
2	У110-2+5	9717	7185	2532	35,2
		10095	7481	2614	34,9
3	У110-2+9	11391	8383	3008	35,9
		11834	8728	3106	35,6
4	У110-2+14	14643	10476	4176	39,8
		15212	10908	4304	39,5

* в числителе – масса неокрашенной опоры; в знаменателе – масса опоры с цинковым покрытием.



Рисунок 3. Оптимальная анкерно-угловая опора У110-2+14 в процессе монтажа.



Рисунок 4. Общий вид смонтированной оптимальной опоры У110-2+14.

сложной шпренгельной решетки, выбора оптимального типа профиля и узловых сопряжений.

Выводы

1. Впервые разработаны оптимальные двухцепные анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ, технологичные в изготовлении и монтаже. При этом масса опор уменьшилась на 35,2–39,8 % по сравнению с опорами ВЛ 110 кВ действующей унификации.
2. Усовершенствованы методика и алгоритмы оптимизации опор ВЛ с учетом полученных зависимостей для расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба, которые реализованы в программном комплексе оптималь-

ного проектирования «MISI1», разработанном в ДонНАСА.

3. При расчете пространственной модели анкерно-угловой опоры ВЛ У110-2+9 в результате совместной работы элементов наблюдается снижение внутренних усилий в элементах пространственной модели в среднем на 18 %, по сравнению с усилиями, определенными в типовой опоре ВЛ от одинаковых значений нагрузок.
4. Запроектированная оптимальная башенная опора У110-2+14 возведена на территории Полтавского горно-обогатительного комбината, эффективность разработки которой заключается в снижении массы конструкции на 39,5 % по сравнению с типовой опорой.

Литература

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. Исследование устойчивости решетчатых стальных опор линий электропередачи [Текст] / А. В. Танасогло // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. 2011. № 15, часть 3. С. 233–238.
3. Танасогло, А. В. Узкобазые конструкции решетчатых опор воздушных линий повышенной надежности [Текст] / Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий : сб. науч. тр. 2015. Вып. 2015–3(113). С. 50–53.
4. Шевченко, Е. В. Оптимальное проектирование конструкций башенных анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ [Текст] / Е. В. Шевченко, А. В. Танасогло // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий : сб. науч. тр. 2013. Вып. 2013–3(101). С. 14–116.
5. Назим, Я. В. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций опор большого перехода межсистемной 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.
6. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines [Текст]. – Third Edition. – Geneva, Switzerland : International Electrotechnical Commission, 2003. – 241 p. – (International Standard).

References

1. Shevchenko, E. V. Perfection of metal structures of supports of overhead transmission lines. 2nd ed. Makeyevka: DonSACEA, 1999. 169 p.
2. Tanasoglo, A. Investigation of the stability of lattice steel supports of power transmission lines. In: *Modern building structures from metal and wood*, 2011, No. 15, Part 3, pp. 233–238.
3. Tanasoglo, A. Narrow-base constructions of lattice supports of overhead lines of increased reliability. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Buildings and structures using new materials and technologies*, 2015, Issue 2015–3(113), pp. 50–53.
4. Shevchenko, E. V.; Tanasoglo A. V. Optimal design of tower anchor-angular supports of 110 kV overhead lines. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Buildings and structures using new materials and technologies*, 2013, Issue 2013–3(101), pp. 114–116.
5. Nazim, Ya.; Tanasoglo A. Investigation of stress-strain state of supports structures of large crossing of intersystem transmission line at reconstruction with replacement of conductors. In: *Metal Constructions*, 2015, Vol. 21, Number 2, pp. 49–61.
6. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines. Third Edition. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2003. 241 p.
7. Gorokhov, E. V.; Shapovalov, S. N.; Udod, E. I. [and others]; ed. E. V. Gorokhov. Increase of reliability and durability of electric grid structures. Kyiv: Tekhnika, 1997, 284 p. (in Russian)
8. Kryukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Structures and mechanical calculation of power transmission lines. 2nd ed., Leningrad: Energiya, 312 p. (in Russian)
9. Yang, B. Stress, strain, and structural dynamics: an interactive handbook of formulas, solutions, and

7. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций [Текст] : [моногр.] / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, Е. И. Удод [и др.] ; под ред. Е. В. Горохова. – К. : Техніка, 1997. – 284 с.
8. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи [Текст] : [моногр.] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1979. – 312 с.
9. Yang, B. Stress, strain, and structural dynamics [Текст] : an interactive handbook of formulas, solutions, and MATLAB toolboxes / Bingen Yang. – [s. i.] : Elsevier Academic Press, 2005. – 960 p.
10. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : ВПП «SCAD», 2001. – 448 с.
11. Шевченко, Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния двухцепной анкерно-угловой опоры ВЛ 330 кВ с использованием различных программных комплексов [Текст] / Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, А. В. Танасогло // Металлические конструкции. 2010. Т. 16, № 1. С. 31–39.
12. Танасогло, А. В. Уточнение коэффициента динамичности анкерно-угловой опоры ВЛ 110 кВ при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки [Текст] / А. В. Танасогло // Металлические конструкции. 2012. Т. 18, № 2. С. 135–145.
13. 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.
14. Shevchenko, Ye. Refinement of wind loads on lattice support structures of the intersystem overhead power transmission lines 750 kV / Ye. Shevchenko, Ya. Nazim, A. Tanasoglo, I. Garanzha // Procedia Engineering. 2015. 117. P. 1033–1040.
15. 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).
16. Пустогвар, А. П. Оптимальное проектирование решетчатых металлических конструкций воздушных линий электропередачи / А. П. Пустогвар, А. В. Танасогло, И. М. Гаранжа, Л. А. Шилова и др. // MATEC Web of Conferences. – № 86, 04003 (2016). – P. 19–28.
17. Танасогло, А. В. Оптимальные конструктивные решения двухцепных анкерно-угловых опор линий электропередачи 110 кВ / А. В. Танасогло // Современное промышленное и гражданское строительство. 2015. Т. 11, № 1. С. 5–14.
18. Танасогло, А. В. Численно-аналитическая методика решения задачи устойчивости пространственных решетчатых конструкций / А. В. Танасогло // Металлические конструкции. 2015. Т. 21, № 3. С. 107–117.
19. Design of Latticed Steel Transmission Structures. American Society of Civil Engineers. ANSI/ ASCE 10_90, A.N.S.I. New York: A.S.C.E., 1991. 64 p.
20. MATLAB toolboxes. [s. i.] : Elsevier Academic Press, 2005. 960 p.
10. Perelmuter, A. V.; Svilker, V. I. Calculated models of structures and the possibility of their analysis. Kyev: SCAD, 2001. 448 p.
11. Shevchenko, E. V.; Glukhov, V. A.; Tanasoglo, A. V. Investigation of the stress-strain state of the double-circuit anchor-angled support of 330 kV OL with the use of various software complexes. In: *Metal Constructions*, 2010, Vol. 16, Number 1, pp. 31–39.
12. Tanasoglo, A. V. Clarification of the coefficient of dynamism of the anchor-angular support of 110 kV overhead line under the action of the pulsating component of the wind load. In: *Metal Constructions*, 2012, Vol. 18, Number 2, pp. 135–145.
13. Li, H.; Bai, H. High voltage transmission tower line system subjected to disaster loads. In: *Progress in Natural Science*, 2006, Vol. 16, No. 9. pp. 899–911.
14. Shevchenko, Ye.; Nazim, Ya.; Tanasoglo, A.; Garanzha, I. Refinement of wind loads on lattice support structures of the intersystem overhead power transmission lines 750 kV. In: *Procedia Engineering*, 2015, 117, pp. 1033–1040.
15. Rules for the installation of electrical installations. Chapter 2.5 «Power transmission lines for the power supply of 1 kV to 750 kV». Kyiv: «GRIFRE», 2006: 125 p.
16. Pustogvar, A. P.; Tanasoglo, A. V.; Garanzha, I. M.; Shilova, L. A.; Ademtsevich, A. O. Optimal design of lattice metal structures of overhead power lines. In: *MATEC Web of Conferences*, No. 86, 04003 (2016), pp. 19–28.
17. Tanasoglo, A. V. Optimal design solutions for two-link anchor-angular supports of power lines 110 kV. In: *Modern Industrial and Civil Engineering*, 2015, Vol. 11, Number 1, pp. 5–14.
18. Tanasoglo, A. V. Numerical-analytical technique for solving the stability problem of spatial lattice constructions. In: *Metal constructions*, 2015, Vol. 21, Number 3, pp. 107–117.
19. Design of Latticed Steel Transmission Structures. American Society of Civil Engineers. ANSI/ ASCE 10_90, A.N.S.I. New York: A.S.C.E., 1991. 64 p.

19. 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.

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.

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.

Мущанов Александр Владимирович – стажер-преподаватель ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.

Бакаева Кристина Сергеевна – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение действительной работы и поиск рациональных конструктивных решений трубобетонных конструкций с использованием прогрессивных материалов.

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.

Бакаєв Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська 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.

Мущанов Олександр Володимирович – стажист-викладач ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових металевих конструкцій.

Бакаєва Христина Сергіївна – магістрант кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи і пошук раціональних конструктивних рішень трубобетонних конструкцій з використанням прогресивних матеріалів.

Tanasoglo Anton – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures 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.

Bakayev Sergii – Ph.D. (Eng.), Associate Professor; Metal Structures 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.

Mushchanov Alexander – graduate associate, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analysis and design of spatial metal structures.

Bakayeva Christina – master student, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: a studying of a real work of pipe concrete structures using advanced materials.