



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2015, ТОМ 11, НОМЕР 1, 5–14

УДК 624.014:621.315.1

ОПТИМАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ДВОЛАНЦЮГОВИХ АНКЕРНО-КУТОВИХ ОПОР ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ 110 КВ

А. В. Танасогло

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

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

Отримана 20 січня 2015; прийнята 27 березня 2015.

Анотація. У статті викладена методика оптимального проектування опор повітряних ліній (ПЛ), обумовлена сучасним станом у галузі оптимізації сталевих конструкцій. Описується вдосконалений алгоритм пошуку оптимальних параметрів з урахуванням отриманих залежностей для розрахункових довжин і коефіцієнтів поздовжнього вигину, реалізований у програмному комплексі «MISI1», розробленому в ДонНАБА. Приділено увагу змінам, внесеним у обмеження й умови, яким задовольняє вектор варійованих параметрів для відшукання геометричних розмірів ґратчастих конструкцій мінімальної маси. Представлено схеми оптимізованих дволанцюгових опор ПЛ 110 кВ, що відповідають кліматичним умовам України. Виконано порівняльний аналіз мас типових і оптимальних анкерно-кутових опор У110-2 із цинковим покриттям і без нього. Результати досліджень впроваджені при виготовленні, монтажі та експлуатації оптимальної баштової опори У110-2+14 на території Полтавського гірничо-збагачувального комбінату в м. Комсомольськ.

Ключові слова: оптимальне проектування, повітряна лінія електропередачі, анкерно-кутова опора, програмний комплекс, цільова функція, алгоритм.

ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДВУХЦЕПНЫХ АНКЕРНО-УГЛОВЫХ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ

А. В. Танасогло

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

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

Получена 20 января 2015; принята 27 марта 2015.

Аннотация. В статье изложена методика оптимального проектирования опор воздушных линий (ВЛ), обусловленная современным состоянием в области оптимизации стальных конструкций. Описывается усовершенствованный алгоритм поиска оптимальных параметров с учетом полученных зависимостей для расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба, реализованный в программном комплексе «MISI1», разработанном в ДонНАСА. Уделено внимание изменениям, внесенным в ограничения и условия, которым удовлетворяет вектор варьируемых параметров для отыскания геометрических размеров решетчатых конструкций минимальной массы. Представлены схемы оптимизированных двухцепных опор ВЛ 110 кВ, отвечающих климатическим условиям Украины. 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 У110-2+14 на территории Полтавского горно-обогатительного комбината в г. Комсомольск.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, воздушная линия электропередачи, анкерно-угловая опора, программный комплекс, целевая функция, алгоритм.

OPTIMAL DESIGN SOLUTIONS OF DOUBLE-CIRCUIT CORNER DEAD-END SUPPORTS OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES 110 KV

Anton Tanasoglo

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: a.v.tan@mail.ru*

Received 20 January 2015; accepted 27 March 2015.

Abstract. The optimal design procedure of overhead power transmission lines' (OPTL) supports caused by a modern state in the optimization field of steel structures, has been given. Improved search algorithm of the optimal parameters taking into account received dependences for effective lengths and longitudinal bending coefficients realized in the software package «MISI1», developed at the DNACEA, has been shown. It has been paid attention to the changes, entered in limits and conditions that are satisfied by the vector of variable parameters in order to find the geometric dimensions of minimal weight lattice structures. It has been given the schemes of the optimized double-circuit OPTL supports 110 kV corresponding to the climatic conditions of the Ukraine. 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 U110-2+14 on the territory of the Poltava mountain-concentrating industrial complex in Komsomolsk.

Keywords: optimal designing, overhead power transmission line, corner dead-end support, software package, objective function, algorithm.

Актуальность темы

На территории Украины широкое распространение получили электрические сети напряжением 110 кВ, состоящие из многочисленных колец, запитывающих городские районы и предприятия. Такие сети являются основными распределительными сетями энергетической системы государства. К началу 2014 г. суммарная протяженность ВЛ 110 кВ составила более 50 тыс. км [1].

При строительстве ВЛ 110 кВ в Украине традиционно применяются унифицированные конструкции опор, разработанные по нормативам бывшего СССР [2]. Рассматривая существующую унификацию с позиции сегодняшних рыночных отношений, можно увидеть, что такие опоры не могут конкурировать с аналогичными зарубежными. В сложившейся ситуации возникла необходимость разработки новых унифицированных конструктивных форм опор ВЛ для Украины, которая вызвана несколькими причинами. Отметим основные из них: ужесточились международные нормы для определения нагрузок от климатических воздействий с целью повышения надежности ВЛ; уменьшилась вариация нагрузок (количество районов); необходим

учет действительной работы пространственной конструкции опоры в составе ВЛ как единой сети с учетом поддерживающего влияния проводов и тросов [3].

Значительные резервы в решении данной проблемы заложены в совершенствовании строительных конструкций ВЛ при абсолютном сохранении их эксплуатационных качеств. Поэтому вопрос поиска оптимального конструктивного решения при одновременном соблюдении требований методики расчета и конструирования является весьма актуальной задачей, поскольку направлен на сохранение конкурентоспособности украинских электрических сетей на мировом рынке за счет экономии металла при применении нетиповых опор.

Программный комплекс для проектирования опор ВЛ

На кафедре металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработан программный комплекс (ПК) по расчету и конструированию линий электропередачи «MISI1» [8], который представляет со-

бой систему автоматизированного проектирования металлических и железобетонных опор.

ПК «MISI1» состоит из подсистемы сбора нагрузок и расчета проводов и тросов; подсистемы расчета и оптимизации конструкций опор ВЛ [3]; подсистемы технико-экономического анализа и подсистемы автоматизированного конструирования.

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 [9, 15].

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

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:

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

где N_i – продольная сила в i -том элементе; R_{yi}, A_i, φ_i – соответственно расчётное 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 ΔL_{Ni} и ΔL_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 [10].

Алгоритм оптимального проектирования опор ВЛ

Алгоритм оптимального проектирования опор реализован в подсистеме расчета и оптимизации конструкций опор ВЛ, разработанной Е. В. Шевченко [3]. Данная подсистема выполняет нахождение оптимальных параметров индивидуальных и типовых конструкций, т. е. осуществляет подбор сечений, компонуемых из заданных профилей, минимальных по площади и удовлетворяющих требованиям норм [7, 12] по прочности, устойчивости и гибкости.

Блок вычисления целевой функции CF состоит из нескольких вычислительных подпрограмм, определяющих различные параметры каждой из групп элементов: пояса, раскосы решетки, диафрагмы, шпренгеля и т. п.

На рисунке 1 показана блок-схема оптимизационного расчета опор ВЛ.

Для решения задачи оптимизации на первом этапе применяется комбинаторный алгоритм (КОМБИ), сочетающий поисковые процедуры с итерационным перерасчетом конструкции [11, 14]. Затем определяется начальный многогранник, имеющий форму n -мерного тетраэдра, в котором одна из вершин – оптимальная конструкция, определенная на предыдущем шаге методом условного поиска (USLPOJ). Задается направление спуска, и поиск продолжается методом деформируемого многогранника (NEMID). На последнем этапе целевая функция

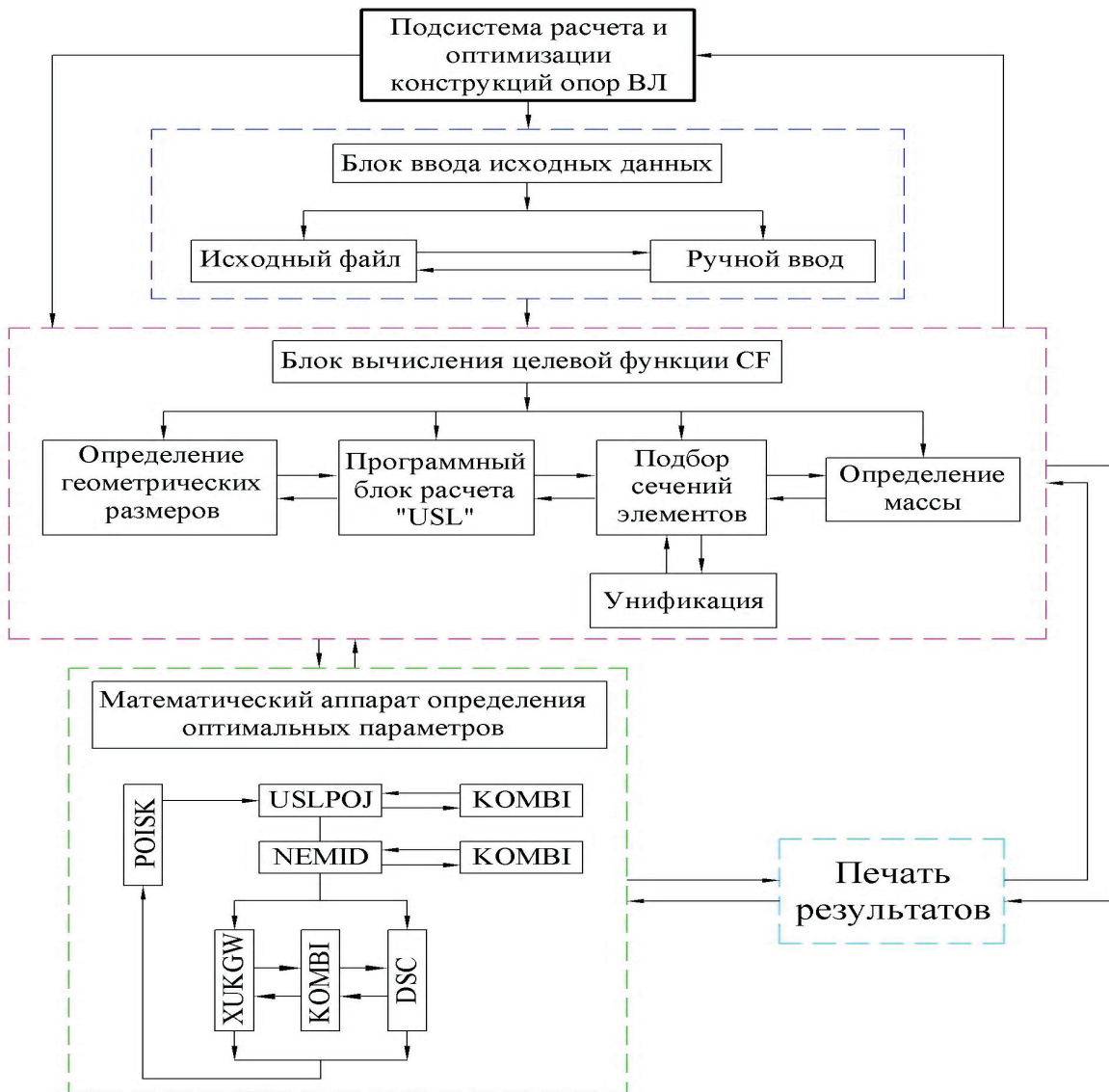


Рисунок 1. Блок-схема оптимизационного расчета стальной опоры ВЛ.

оптимизируется одним из методов координатного спуска (DSC) или прямым поиском по Хуку и Дживсу (XUKGW).

Вычисление целевой функции производится в следующем порядке: выполняется статический расчет опоры для заданной геометрической схемы с вычислением расчетных усилий в стержнях; производится подбор сечений элементов конструкции в соответствии с требованиями [7, 12]; подсчитывается масса отдельных элементов и всей конструкции в целом.

Усовершенствованный программный блок «USL» [6] и программа вычисления коэффици-

ентов расчетной длины μ и продольного изгиба φ вошли в подсистему расчета и оптимизации конструкций опор ВЛ. Таким образом, в алгоритм введены корректировки при определении коэффициентов расчетной длины, гибкости, коэффициентов продольного изгиба и напряжений в элементах конструкции в соответствии с разработанной автором численно-аналитической методикой [5].

Необходимо отметить, что разработанные программы могут функционировать как независимо, так и в составе программного комплекса проектирования опор ВЛ [5].

Рассмотренный ПК «MISI1» с вмонтированными в него программным блоком «USL» и программой для вычисления расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба использован при разработке новой оптимальной серии анкерно-угловых двухцепных опор ВЛ 110 кВ для Украины, а также в оптимальном проектировании смонтированной башенной опоры У110-2+14 на территории Полтавского горно-обогатительного комбината.

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».

При разработке новых опор 110 кВ приняты следующие условия:

- материал опоры – малоуглеродистая сталь С245 по ГОСТ 27772-88* ($R_y = 240$ МПа);
- токоведущие провода марки АС 240/32, грозозащитный трос – С 50;
- ветровой пролет $l_{ветр} = l_{габ}$; весовой пролет $l_{вес} = 1,25 \cdot l_{габ}$ [13];
- климатические условия для расчета приняты в соответствии с главой 2.5 [4].

Оптимизационный расчет башенной анкерно-угловой опоры ВЛ 110 кВ выполняется в следующей последовательности:

1. Вводятся исходные данные: пролет, геометрическая схема опоры, соотношения жесткостей элементов, климатические и инженерно-геологические условия, количество панелей, тип решетки, размеры поясных секций и их количество, закон изменения координат, количество болтов в узлах сопряжений, размеры рисок отверстий, марка стали, электрические габариты.
2. Предварительно задаются сечения. Для этого каждому элементу конструкции присваивается номер профиля из вмонтированной базы данных, содержащей сортамент металлопроката.
3. На основании исходных данных программа автоматически собирает нагрузку от собственного веса металлоконструкций, ветровую нагрузку на конструкцию опоры, а также нагрузку от проводов и тросов для необхо-

димого количества загрузений в соответствии с [4].

4. Выполняется статический расчет для 18 режимов работы опоры ВЛ в программном блоке «USL» и для каждого режима определяются усилия и напряжения в элементах. За расчетные принимаются максимальные значения.
5. Производится подбор сечений элементов по расчетным усилиям и выполняется проверка напряжений и гибкости в соответствии с [7]. С учетом разбивки на секции и с точки зрения унификации назначаются сечения элементов конструкции.
6. Производится перерасчет опоры с учетом уточненных жесткостей элементов. Процедура пп. 2–6 повторяется до тех пор, пока площади сечений элементов двух соседних шагов не совпадут с принятой точностью. Так учитываются ограничения (2)–(4) при вычислении целевой функции.
7. Принимается окончательный вариант, минимальный по массе. Для данной конструкции опоры подсчитывается масса элементов с учетом конструктивного оформления: основные и вспомогательные детали, метизы, цинковое покрытие. Результаты расчета исходной и оптимальной конструкций выдаются в форме стандартных расчетных листов, принятой в проектной практике.

На каждом шаге поиска выполнялся расчёт опоры с целью нахождения минимальной массы при удовлетворении требований норм проектирования [7, 12]. Наиболее эффективным методом оказался поиск по Хуку и Дживсу, который дал оптимальный результат, минимальный по массе (рис. 2).

На рисунке 2 приведен график изменений значений целевой функции (массы) от числа итераций при оптимизации башенной анкерно-угловой опоры У110-2+14. Сходимость достигается при 85 итерациях. Дальнейшие приближения не дают ощутимого снижения массы, и, кроме того, сами правила конструирования не позволяют реализовать более точное решение.

При оптимизации конструкций анкерно-угловых опор 110 кВ заданными параметрами являлись база и ширина верхней части ствола, которая определяется электрическими габаритами [4]. 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 1, 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 1 принято в соответствии с

монтажной схемой, изображенной на типовом листе опоры У110-2.

Результатом оптимизации опоры У110-2+9 явилось снижение массы с 11,391 т до 8,383 т, или на 35,9%. Осуществлен переход с поясного уголка $\angle 180 \times 11$ на $\angle 160 \times 10$ для девятиметровой подставки оптимальной опоры.

Геометрические схемы разработанных оптимальных анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ пред-

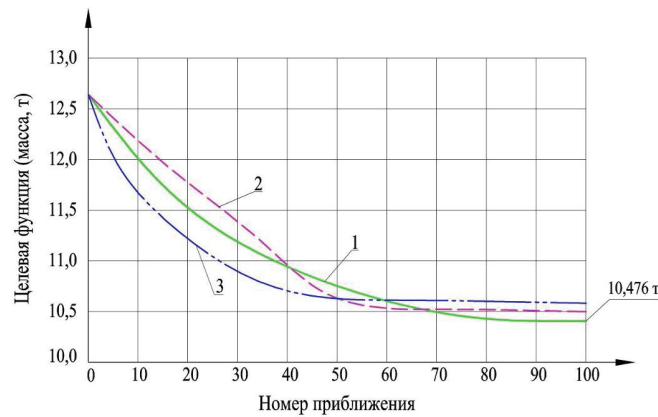


Рисунок 2. Зависимость значений целевой функции от числа итераций для опоры У110-2+14: 1 – поиск по Хуку и Дживсу; 2 – поиск методом направления спуска; 3 – поиск методом деформируемого многогранника.

Таблица 1. 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	53,4	54,78	+1,38	+2,5	$\angle 160 \times 10$	$\angle 160 \times 10$
	Раскос	D_4	2,96	3,17	+0,21	+6,6	$\angle 70 \times 6$	$\angle 50 \times 4$
	Раскос	D_5	2,25	2,11	-0,14	-6,2	$\angle 70 \times 6$	$\angle 50 \times 4$
	Раскос	D_6	1,67	1,69	+0,02	+1,1	$\angle 70 \times 6$	$\angle 50 \times 4$
	Раскос	D_7	1,46	1,32	-0,14	-9,5	$\angle 90 \times 7$	$\angle 50 \times 4$
	Раскос	D'_4	3,21	3,53	+0,32	+9,1	$\angle 70 \times 6$	$\angle 50 \times 4$
	Раскос	D'_5	2,40	2,55	+0,15	+5,9	$\angle 70 \times 6$	$\angle 50 \times 4$
	Раскос	D'_6	1,80	1,81	+0,01	+0,5	$\angle 70 \times 6$	$\angle 50 \times 4$
Подставка ($H = 9,0$ м)	Раскос	D'_7	1,57	1,42	-0,15	-9,5	$\angle 90 \times 7$	$\angle 50 \times 4$
	Пояс	U_6	57,3	56,65	-0,65	-1,1	$\angle 180 \times 11$	$\angle 160 \times 10$
	Раскос	D_8	1,06	1,09	+0,03	+2,8	$\angle 70 \times 6$	$\angle 60 \times 5$
	Раскос	D_9	0,96	0,95	-0,01	-1,1	$\angle 70 \times 6$	$\angle 63 \times 5$
	Раскос	D_{10}	0,88	0,79	-0,09	-10,2	$\angle 110 \times 8$	$\angle 70 \times 5$
	Раскос	D'_8	1,13	1,05	-0,08	-7,1	$\angle 70 \times 6$	$\angle 60 \times 5$
	Раскос	D'_9	1,03	0,98	-0,05	-4,8	$\angle 70 \times 6$	$\angle 63 \times 5$
Раскос	D'_{10}	0,97	0,69	-0,28	-28,8	$\angle 110 \times 8$	$\angle 70 \times 5$	

ставлены на рисунке 3. Сравнение по массе типовых и оптимальных опор приведено в таблице 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 (ГОК), расположенного в г. Комсомольск (рис. 4, 5).

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 сложной шпренгельной решетки, выбора оптимального типа профиля и узловых сопряжений. Внедрение в производство позволило получить

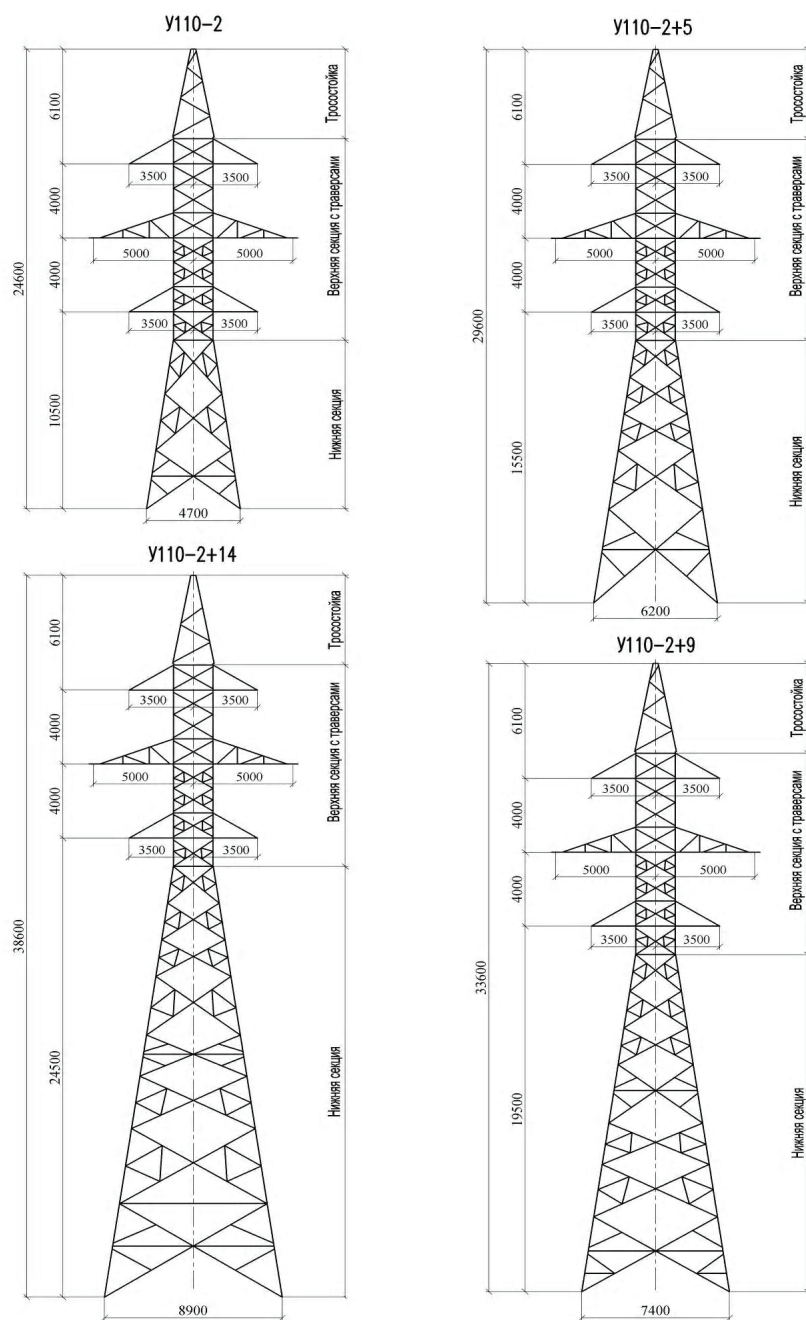


Рисунок 3. Геометрические схемы оптимизированных анкерно-угловых опор У110-2.

Таблица 2. 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	<u>7704</u>	<u>5676</u>	<u>2028</u>	<u>35,7</u>
		8002	5910	2092	35,4
2	У110-2+5	<u>9717</u>	<u>7185</u>	<u>2532</u>	<u>35,2</u>
		10095	7481	2614	34,9
3	У110-2+9	<u>11391</u>	<u>8383</u>	<u>3008</u>	<u>35,9</u>
		11834	8728	3106	35,6
4	У110-2+14	<u>14643</u>	<u>10476</u>	<u>4176</u>	<u>39,8</u>
		15212	10908	4304	39,5

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

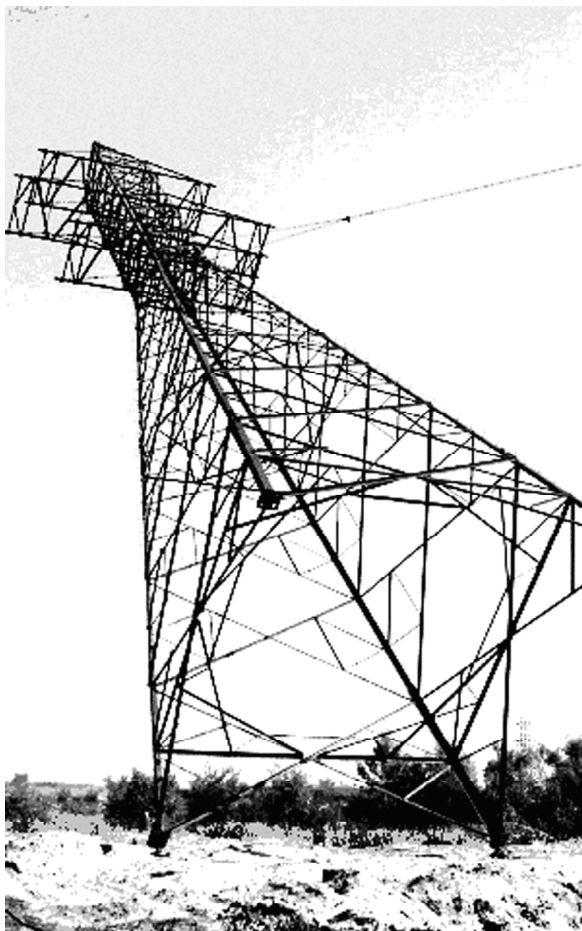


Рисунок 4. Оптимальная анкерно-угловая опора У110-2+14 в процессе монтажа.

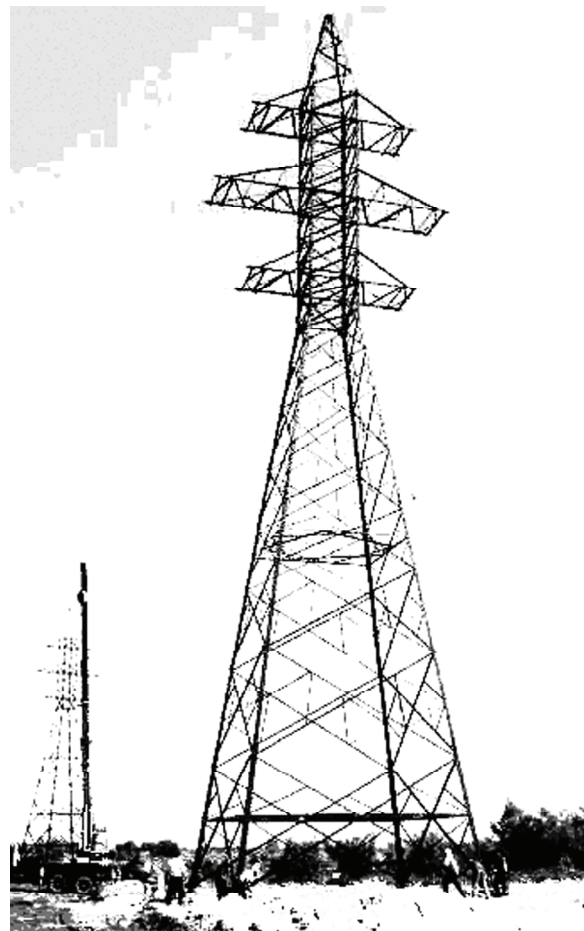


Рисунок 5. Общий вид смонтированной оптимальной опоры У110-2+14 (Полтавский ГОК).

экономический эффект при применении запроецированной опоры в сумме 61 547 гривен.

Выводы

1. Усовершенствованы методика и алгоритмы оптимизации опор ВЛ с учетом полученных зависимостей для расчетных длин и коэффициентов продольного изгиба, которые реализованы в ПК оптимального проектирования «MISI1», разработанном в ДонНАСА.
2. Разработаны оптимальные двухцепные анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ, отвечающие климатическим условиям Украины, технологичные в изготовлении и монтаже. При этом масса опор уменьшилась на 35,2...39,8 % по сравнению с опорами ВЛ 110 кВ действующей унификации.

Литература

1. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы III международной конференции / Открытое акционерное общество «ПРОМик». – Днепропетровск : [б. и.], 2008. – 304 с.
2. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – [2-е изд.]. – Л. : Энергия, 1979. – 312 с.
3. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи [Текст] / Е. В. Шевченко. – [2-е изд.]. – Макеевка : ДонНАСА, 1999. – 169 с.
4. 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).
5. 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.
6. 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.
7. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15*–19, СНиП III-18-75

3. Запроецированная оптимальная башенная опора У110-2+14 возведена на территории Полтавского ГОК (г. Комсомольск), эффективность разработки которой заключается в снижении массы конструкции на 39,5 % по сравнению с типовой опорой.
4. Программный комплекс «MISI1» с разработанным блоком расчета устойчивости обладает универсальностью и может быть использован как при оптимальном проектировании новых металлоконструкций опор, так и для перерасчета опор при реконструкции эксплуатируемых ВЛ, когда необходимо определить резерв несущей способности или пересчитать линию под нагрузки для конкретного региона Украины в соответствии с требованиями норм.

References

1. Manysided Bent Racks: Proceedings of the Third International Conference. Dnepropetrovsk: [S. n.], 2008. 304 p. (in Russian)
2. Kriukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Constructions and mechanical analysis of power transmission line. 2nd ed. Leningrad: Energy, 1979. 312 p. (in Russian)
3. Shevchenko, Ye. V. Development of metal construction of supporting structures of overhead transmission lines. 2nd ed. Makeevka: DonSASEA, 1999. 169 p. (in Russian)
4. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)
5. Tanasoglo, A. V. Stability analysis of grating metal supporting structures of overhead transmission lines. In: *State-of-the industry engineering structures made from metal and wood: Edited Volume*, 2011, № 15, part 3, p. 233–238. (in Russian)
6. Shevchenko, Ye. V.; Glukhov, V. A.; Tanasoglo, A. V. Study of a mode of deformation of a double-circuit corner dead-end support VL 330 kV using different software packages. In: *Metal Constructions*, 2010, Volume 16, Number 1, p. 31–39. (in Russian)
7. DBN V.2.6-163:2010. The constructions of buildings and structures. The steel constructions. Norms for design, fabrication and erection. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 127 p. (in Ukrainian)
8. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Mushchanov, V. F.; Yugov, A. M. et al. Scheme of Structural Steel Design. Moscow: Stroiizdat, 1989. 368 p. (in Russian)
9. Maalawi, Karam Y.; Badr, Mervat A. Design optimization of mechanical elements and structures: a

- окрім розділів 3–8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134; чинні від 2011–12–01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
8. Алгоритмы расчёта стальных конструкций [Текст] / [Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, А. М. Югов и др.] ; под ред. Е. В. Горохова. – М. : Стройиздат, 1989. – 368 с.
 9. Maalawi, Karam Y. Design optimization of mechanical elements and structures [Текст] : a review with application / Karam Y. Maalawi and Mervat A. Badr // *Journal of Applied Sciences Research*. – 2009. – 5(2). – P. 221–231.
 10. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures [Текст] / A. G. Mishell // *Phil. Magazine*. – 2010. – Vol. 8, No. 47. – P. 589–595.
 11. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures [Текст] / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
 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. 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. Gordeiev, V. Optimization of the shape of chord-free towers in connection with a wind load [Текст] / V. Gordeiev, N. Shamanska // *Steel Structures: Culture & Sustainability 2010* / Editors: Nesrin Yardimci, A. Berna Aydiner, H. Yener Gьr'eş, Cavidan Yorgun. – Istanbul : Turkish Constructional Steelwork Association, 2010. – P. 669–678.
 15. Box, M. J. Nonlinear optimization techniques [Текст] : monograph / M. J. Box, D. Davies, W. H. Swann. – Edinburgh : Oliver and Boyd, 2012. – 60 p.
- review with application. In: *Journal of Applied Sciences Research*, 2009, 5(2), p. 221–231.
10. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures. In: *Phil. Magazine*, 2010, Vol. 8, No. 47, p. 589–595.
 11. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.
 12. 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.
 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, p. 899–911.
 14. Gordeiev, V.; Shamanska, N. Optimization of the shape of chord-free towers in connection with a wind load. In: *Steel Structures: Culture & Sustainability 2010* / Editors: Nesrin Yardimci, A. Berna Aydiner, H. Yener Gьr'eş, Cavidan Yorgun. Istanbul: Turkish Constructional Steelwork Association, 2010, p. 669–678.
 15. Box, M. J.; Davies, D.; Swann, W. H. Nonlinear optimization techniques: monograph. Edinburgh: Oliver and Boyd, 2012. 60 p.

Танасогло Антон Володимирович – к. т. н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор. Вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

Танасогло Антон Владимирович – к. т. н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии 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.

Tanasoglo Anton – PhD (Engineering), Associated Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal designing of overhead power transmission line and antenna support structures. Studying of the valid work of metal lattice tower supports.