



(06)-0106-0

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Є.В. Шевченко

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

E-mail: sodrugestvo@skif.net

Отримана 10 січня 2006; прийнята 30 січня 2006

Анотація. У статті розглянуто оптимальне проектування електричних мереж. Оптимальне проектування, контрольна комп'ютерна збірка і використання прогресивних технологій дозволяють скоротити терміни будівництва, знизити витрати на експлуатацію і збільшити строк служби електричної мережі.

Ключові слова: навантаження, оптимальне проектування, повітряні лінії електропередачі.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Е.В. Шевченко

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

E-mail: sodrugestvo@skif.net

Получена 10 января 2006; принята 30 января 2006

Аннотация. В статье рассмотрено оптимальное проектирование электрических сетей. Оптимальное проектирование, контрольная компьютерная сборка и применение прогрессивных технологий позволяют сократить сроки строительства, снизить затраты на эксплуатацию и увеличить срок службы электрической сети.

Ключевые слова: нагрузки, оптимальное проектирование, высоковольтные линии электропередачи.

ELECTRIC NETWORKS OPTIMUM DESIGNING

Ye. V. Shevchenko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Derzhavin str. 2, 86123, Makiyivka, Ukraine.*

E-mail: sodrugestvo@skif.net

Received January 10, 2006; accepted January 30, 2006

Abstract. The optimum designing of electric networks is considered in the article. The optimum designing, control computer assembling and application of progressive technologies allow to reduce the terms of building, to reduce expenses on exploitation and multiply the term of service of electric network.

Keywords: loadings, optimum designing, high-voltage lines of electricity transmission.

Вступ

У представленій роботі розроблена нова концепція проектування електричних мереж для України і зарубіжжя, що перевищує рівень промислово розвинутих країн за наступними показниками.

Уперше в світі розроблений метод оптимального проектування ліній електропередачі як єдиної конструктивної системи з урахуванням рельєфу місцевості, атмосферно-кліматичних умов експлуатації і ступеня забруднення навколишнього середовища, вимог економічності і технологічності, експлуатаційних витрат дозволив розробити нові уніфіковані опори. Розробка нових конструктивних схем опор, нових типів вузлів і з'єднань дозволяє одержувати економічну і надійну конструкцію для енергетики.

Оптимальне проектування електромережних конструкцій

Створена оптимальна одностадійна автоматизована система проектування і виготовлення електромережних конструкцій з урахуванням конструктивних і технологічних вимог заводів-виробників, що скоротило час на виготовлення конструкцій, а головне, підвищило якість продукції. Система включає програмний комплекс міцнісних і оптимізаційних розрахунків проводів, тросів і металоконструкцій опор; моделювання в натуральний розмір, графічний редактор, комп'ютерне контрольне складання конструкцій.

На підставі вперше запропонованого числового методу оптимізації, при якому геометричні розміри та топологія опор, а також параметри маси, трудомісткості і вартості оптимізуються водночас, додатково знижено на 20 % показники маси і вартості опор. У той же час відома програма розрахунку опор ПЛ "TOWER", розроблена в США і рекомендована міжнародною електротехнічною комісією, має цілий ряд недоліків у порівнянні з розробленим авторами програмним комплексом: вітрове вагове навантаження на опору враховується приблизно, розрахунок проводів і опор здійснюється роздільно, замість оптимізації здійснюється спрощений перебір геометричних параметрів, немає оптимізації ПЛ за профілем траси, і т.ін.

Використовуючи створений програмний комплекс, авторами розроблено нові ефективні опори, що не мають аналогів у світовій практиці: вузькобазі одностоякові, які добре зарекомендували себе у Криму зі складними гірськими умовами; порталні опори з гнучкими вітровими зв'язками, що мають витрату сталі на 25 % нижче японських аналогів; унікальні силові башти випробувального полігона.

Аналіз досліджень щодо оптимального проектування будівельних конструкцій дає можливість сформулювати задачу досліджень, що диктується сучасним станом у галузі оптимізації конструкцій і запитами практики.

Проектування конструкцій високовольтних ліній електропередачі визначається великою кількістю різноманітних параметрів і вимог: довжиною лінії, переданою напругою, рельєфом місцевості, районом будівництва, електричними габаритами, вартістю відчужуваної землі, матеріалом конструктивних елементів, вимогами уніфікації, можливостями заводу-виробника, сортаментом тощо.

При проектуванні опор ПЛ частина параметрів є однозначно заданою: геометричні розміри, призначувані з умов електричних габаритів між проводами, тросами і конструкцією, а також навантаження (величина швидкісного напору вітру, товщина ожеледних відкладень на проводах, натяг проводу при обриві). Варіюються параметри, від яких залежить ефективність металевих наскрізних опор: конструктивна форма опори (портальна, баштова, на відтяжках тощо), проліт і, пов'язана з ним, висота опори, габаритні розміри і форма окремих конструктивних елементів (стовбура, траверс тощо), типи решіток і типи з'єднання елементів у вузлах, довжини секцій, сортамент і матеріал конструкцій. Врахувати всі ці параметри в рамках одного методу оптимізації теоретично дуже важко, а практично — неможливо. Тому задачу оптимізації опор ПЛ доцільно розв'язувати поетапно, використовуючи на кожному етапі свій раціональний метод оптимізації.

В основу задачі пошуку оптимальних параметрів конструкцій опор ПЛ покладені числові методи мінімізації нелінійних цільових функцій. Такі методи дослідження на основі ЕОМ з використанням апарата нелінійного

програмування хоча і не дають чіткого математичного розв'язання задачі, але дозволяють урахувати ту необхідну кількість факторів, що здатна наблизити задачу до практичних запитів і дати відчутний економічний ефект.

З урахуванням викладеного, задача оптимального проектування опор ПЛ формулюється в такий спосіб. Відшукати геометричні параметри башти з варіюванням координат системи і топології при заданих перерізах із мінімізацією маси або вартості при виконанні нормативних вимог і конструктивних обмежень.

Параметри варіювання X_j є як безперервно змінними, так і дискретними.

На цей час існує цілий ряд математичних методів, що дозволяють розв'язувати задачі мінімізації лінійних і нелінійних цільових функцій при різних видах умов і обмежень. Для розв'язання практичних задач оптимального проектування будівельних конструкцій з цього ряду методів варто вибрати ті, які дозволяють найбільш ефективно розв'язувати задачу оптимізації математичної моделі, прийнятої для споруди, що розглядається.

У результаті експертної оцінки можливих до застосування методів для розв'язання задачі оптимізації конструкцій ПЛ, найбільш ефективними виявилися: розроблений авторами метод поліпшеного пошуку, метод деформованого багатогранника Нелдера-Міда і методи прямого пошуку Хука-Дживса і Девіса-Свенна-Кемпі.

Послідовне застосування цих методів дає можливість значно наблизитися до оптимального варіанта.

Досвід практичних розрахунків показує, що знайти глобальний мінімум нелінійної цільової функції вдається дуже рідко, в основному це відбувається тоді, коли область пошуку є опуклою. Тому тут необхідно використовувати методи, що дозволяють ефективно знаходити наближені розв'язання. Знайти одну чи кілька областей локального мінімуму і потім зробити повний пошук у їхніх межах. Для пошуку локальних оптимумів необхідно використовувати методи, що не гарантують одержання точного розв'язання, а знаходять тільки деяке можливе рішення. Такі алгоритми називаються евристичними або наближеними.

Авторами запропонований метод пошуку, що дозволяє на початковому етапі вибирати напрямок спуску при визначенні оптимальних геометричних параметрів.

Результати проведених числових досліджень показали, що напрямок спуску визначається вже на перших ітераціях. Якщо напрямок пошуку виявився вдалим, то формувалася багатогранник з "поліпшеною" вершиною, і пошук продовжувався доти, поки крок переносу не виявлявся менше наперед заданої точності або процес пошуку завершувався за кількістю ітерацій.

Оптимальне значення цільової функції даного методу було вихідним значенням при переході до наступного методу оптимізації.

Запропонований метод початкової оптимізації є дуже ефективним та дозволяє здійснювати вихід з ярів для істотно нелінійних дискретних задач (рис. 1), на відміну від інших методів (метод деформованого багатогранника, прямий пошук по Хуку-Дживсу та ін.).

У процесі оптимізації опор ПЛ частина параметрів є заданою: геометричні розміри, визначені виходячи з умови електричних габаритів між проводами, тросами й опорою, а також параметри навантаження (величина швидкісного напору вітру, товщина ожеледних відкладень на проводах, температура). Змінними компонентами проектування в поставленій задачі є: проліт, висота позначки вузлів і тип решітки стовбура опори ПЛ, виніс і попередній натяг вант.

Як критерій оптимальності проекту цільова функція прийнята у вигляді маси або вартості конструкції опори. Цільова функція є складною нелінійною функцією параметрів керування. Дискретність і істотна нелінійність цільової функції порушує питання про створення алгоритму, який би забезпечував збіжність до проекту мінімальної маси.

Спочатку визначимо основні етапи обчислення цільової функції (маси) у даній точці (при фіксованих параметрах). Причому і методика оптимізаційного розрахунку, і етапи обчислення при застосуванні різних методів математичного програмування для вільностоячих опор ПЛ і опор на відтяжках ті ж самі. Відмінність — тільки в статичному розрахунку.

При розв'язанні задачі оптимізації конструкції опори ПЛ використовуються вихідні

дані, враховуються конструктивні й інші вимоги, виконуються статичні та оптимізаційні розрахунки.

Через дискретність цільової функції і відмінність обмежень для окремих типів елементів при розв'язанні задачі оптимізації застосовується комбінований алгоритм, що сполучає пошукові процедури оптимізації елементів з ітераційним перерахуванням усієї конструкції для

визначення параметрів взаємодії елементів. Точність оптимального розв'язання доцільно приймати порівняно з величиною неминучих відхилень, що виникають при практичній реалізації знайденої відповіді. Тому процес оптимізації опор ПЛ необхідно ставити як процес ітерацій. Оптимізація ведеться цілеспрямованим перебором параметрів, які варіюються. На кожному кроці пошуку маса опори визначається

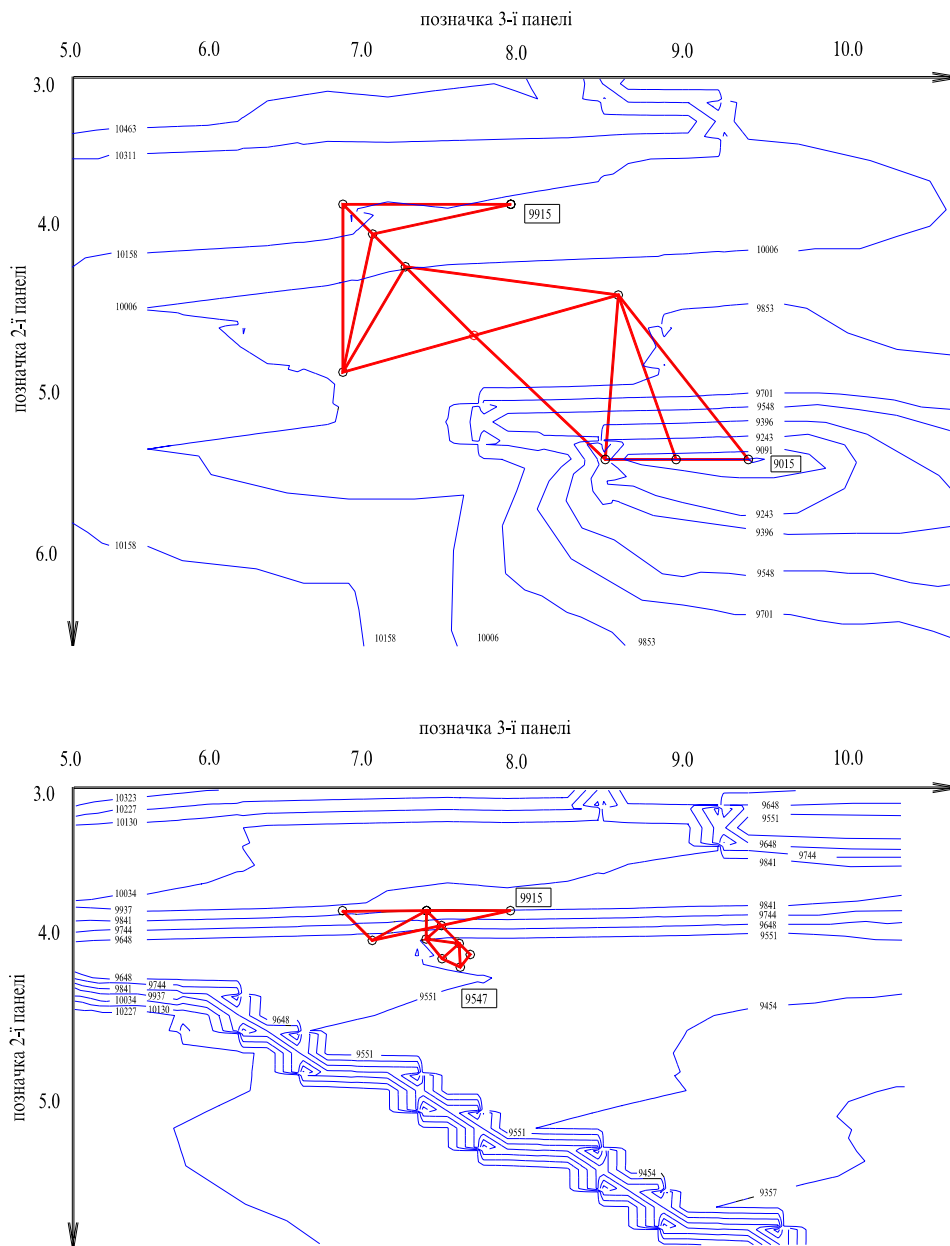


Рис. 1. Ефективність пошуку:
а – методом напрямку спуску;
б – методом деформованого багатогранника.

на основі традиційного розрахунку при задоволенні вимог реального проектування.

Розв'язання задачі оптимізації проведено числовими методами нелінійного програмування, що не використовують похідні. В основі пошуку лежить ідея використання попередньої інформації для побудови поліпшених розв'язань за допомогою ітераційних процедур. Проведені дослідження дали можливість запропонувати наступну методичку застосування різних математичних методів і їхню послідовність.

На першому етапі визначається оптимальний тип решітки при заданих геометричних розмірах (для вільностоячих опор) з використанням розробленого комбінаторного алгоритму. Значення цільової функції при оптимальному типі решітки стає вихідним для наступних ітераційних розрахунків.

Потім задається початковий багатогранник, що має форму регулярного симплекса. Визначається напрямок спуску (сутність методу описана вище).

Для нових значень параметрів, які варіюються, підбирається оптимальний тип решітки комбінаторним алгоритмом (КОМБИ) із обчисленням цільової функції.

Надалі для визначення оптимуму використовується багатогранник, у якому одна з вершин - конструкція, визначена як оптимальна на попередньому етапі (USLPOY). Пошук продовжується методом деформованого багатогранника (NEMID). Для отриманих цим методом геометричних розмірів опори визначається оптимальний тип решітки стовбура за допомогою комбінаторного алгоритму.

На останньому етапі цільова функція оптимізується одним з методів координатного спуску. Найбільш ефективним методом виявився прямий пошук по Хуку і Дживсу (ХУКGV), що давав "найкращі" (найменші) значення цільової функції.

Завершував ітераційний пошук підбір оптимального типу решітки комбінаторним алгоритмом.

Необхідність комбінованого пошуку оптимуму кількома методами, включаючи знову розроблені, викликана істотно нелінійним дискретним характером цільової функції. При цьому оптимізаційний пошук виявляється більш ефективним.

Алгоритм оптимального проектування опор ПЛ реалізований у програмному комплексі з умовною назвою "OPORA" (рис. 2).

Програма дозволяє розв'язувати задачі оптимального проектування різних типів опор ПЛ; крім того, є можливість додавати обчислювальні блоки, які дозволяють розширити коло розв'язуваних задач з проектування економічних опор.

Вихідні дані проектування зі величинами постійними надходять з головної програми (або при необхідності вводяться з клавіатури) у програму оптимізаційного розрахунку "POISK". Визначення мінімуму цільової функції - конструкції мінімальної маси - можна зробити одним або комбінацією декількох оптимізаційних методів (рис. 2). Підпрограма обчислення цільової функції "CF" складається з кількох обчислювальних блоків, що визначають різні параметри кожної з груп елементів: пояси, розкоши, шпренгелі, діафрагми тощо.

Програмою передбачена можливість одержання інформації про кожен крок процесу розв'язання задачі, що носить ітераційний характер, з метою його аналізу і коригування деяких параметрів. Крім того, існує можливість вступу в діалог проектувальника з комп'ютером і впливу на параметри задачі під час її розв'язання. Передбачено графічний контроль за ходом розв'язання. Результати оптимізаційних розрахунків подаються в табличній формі і видаються у вигляді розрахункових листів.

Отже, у результаті оптимізаційного розрахунку визначається раціональна форма конструкції, яка у тій чи іншій формі задовольняє заданому критерію оптимальності.

Послідовність пошуку зі зміною геометричної схеми і техніко-економічних показників продемонстрована на рисунку 3.

Аналіз результатів оптимізації, наведений у табл. 1, дозволяє зробити висновок: при однакових навантаженнях і габаритах опори існує об'єктивний результат маси конструкції, який може бути досягнутий із різних початкових проектів, що відрізняються типами решіток, діафрагмами, вузловими з'єднаннями, перерізами. При цьому навіть схема решітки не впливає на кінцевий результат.

Результати оптимізаційних розрахунків різних типів опор ПЛ, які значно поліпшують

вихідний проект, переконують у доцільності прийнятого підходу до оптимізації опор.

Проведені дослідження дозволили при оптимізації розглянути ПЛ як єдину конструкційну систему, врахувати просторову роботу конструкцій опор і вимоги технологічності.

За результатами оптимізації можна зробити висновок:

1. Розроблено методику оптимізації параметрів геометричної схеми, типу решітки і попереднього напруження конструкцій опор

ПЛ, що задовольняє вимогам будівельних норм. У методиці передбачений розрахунок на велику кількість завантажень, врахування конструктивних вимог, виготовлення і монтажу. Методика оптимального проектування зорієнтована на використання ПЕОМ, реалізується у вигляді комплексу алгоритмів і програм.

2. Запропоновано новий метод визначення напрямку спуску, який значно прискорює процес пошуку оптимальних геометричних розмірів та дозволяє здійснювати вихід з ярів для істотно нелінійних дискретних задач.

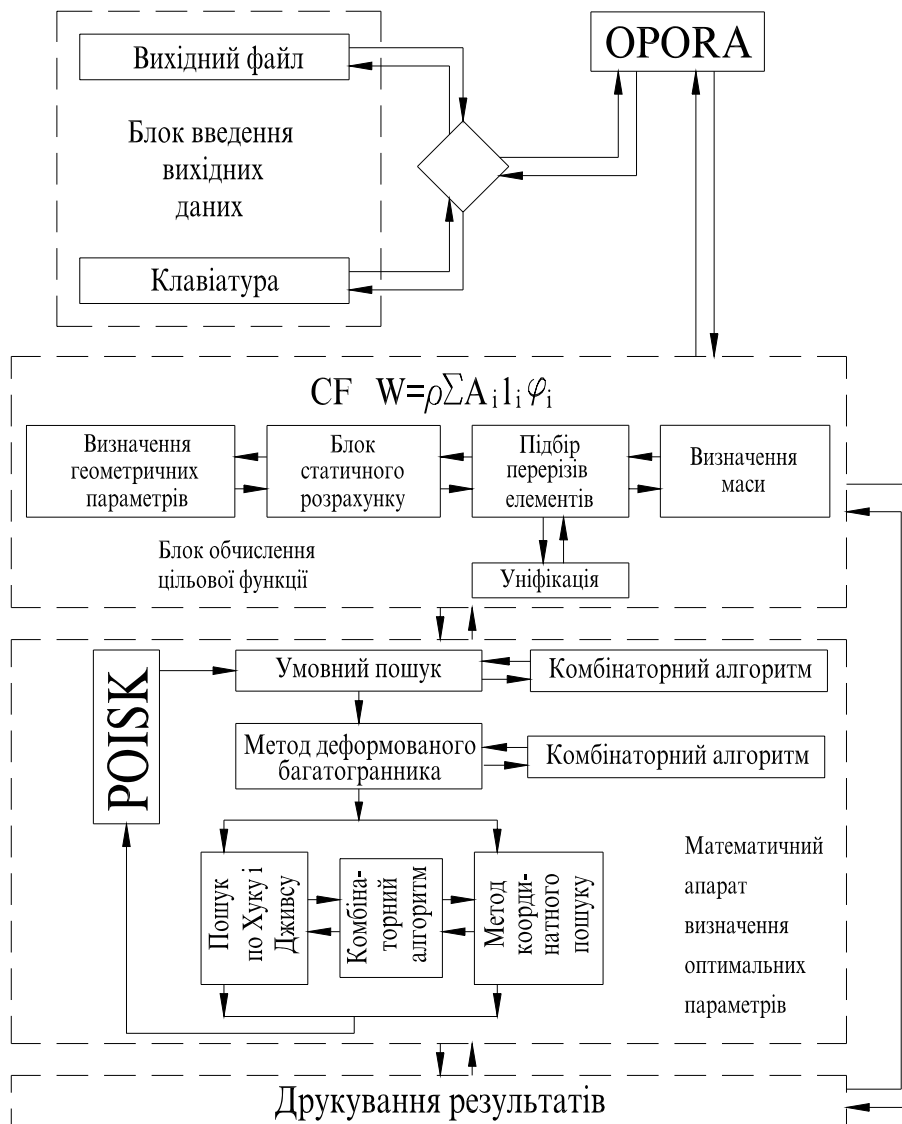


Рис. 2. Принципова блок-схема програми "OPORA".

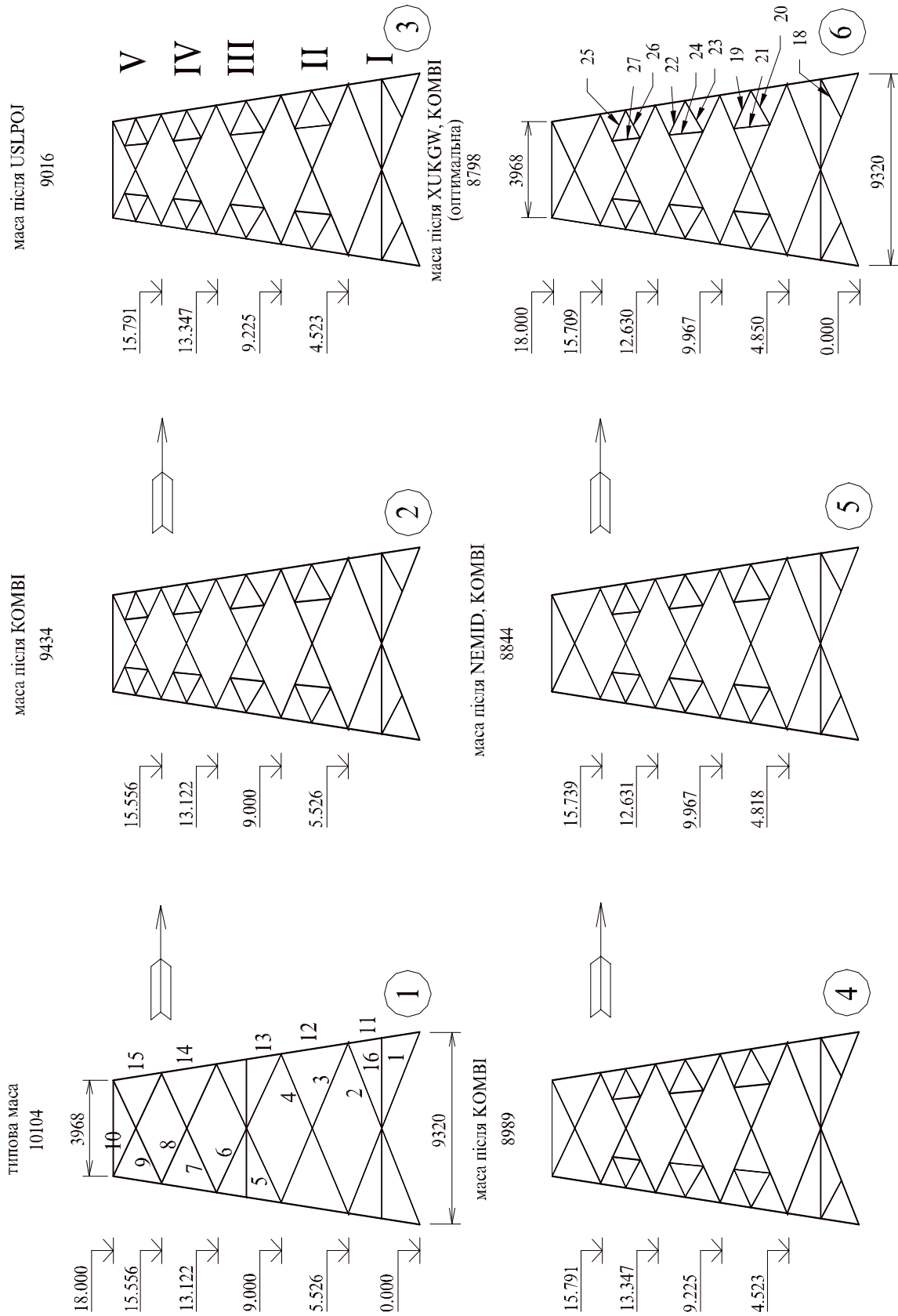
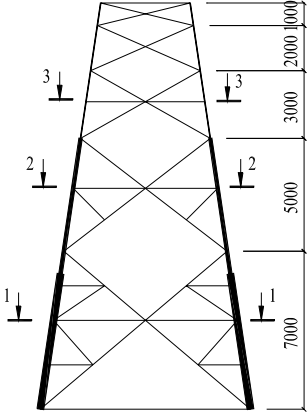
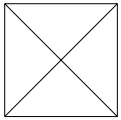
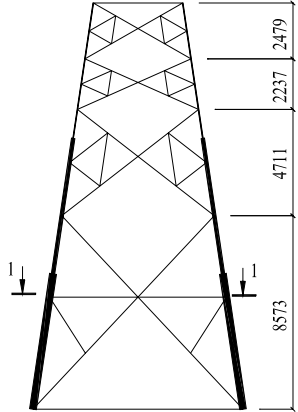
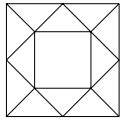
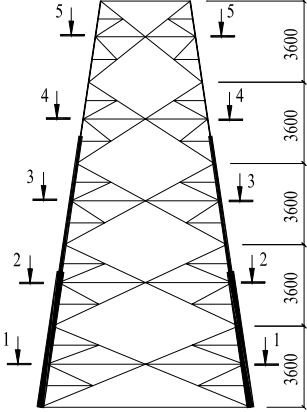
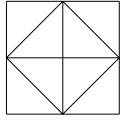
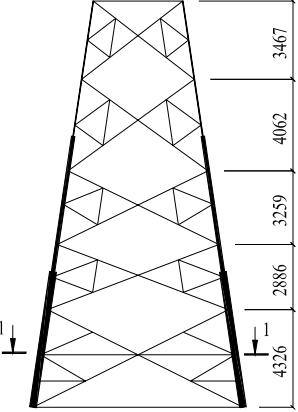
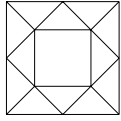
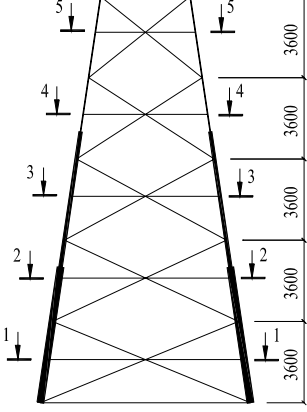
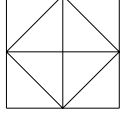
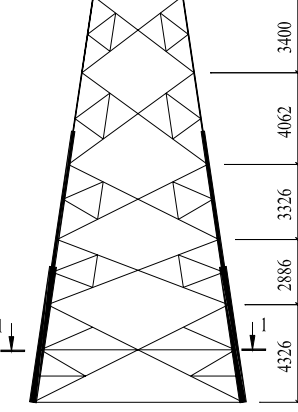
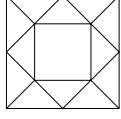


Рис. 3. Послідовність пошуку оптимальних параметрів опори УЗ30-2+9.

Таблиця 1. Результати оптимізації опори УЗ30-2+9 з різних стартових точок.

№ п/п	Вихідна опора		Оптимальна опора	
	Геометрична схема	Тип діафрагми	Геометрична схема	Тип діафрагми
1	 <p>Маса 10648 кг</p>	<p>1-1,2-2,3-3</p> 	 <p>Маса 8654 кг</p>	<p>1-1</p> 
2	 <p>Маса 10860 кг</p>	<p>1-1,2-2,3-3 4-4,5-5</p> 	 <p>Маса 8590 кг</p>	<p>1-1</p> 
6	 <p>Маса 11517 кг</p>	<p>1-1,2-2 3-3,4-4</p> 	 <p>Маса 8589 кг</p>	<p>1-1</p> 

3. Процес пошуку мінімізації цільової функції вирішується комбінацією запропонованих та існуючих методів нелінійного математичного програмування. Підібрано раціональну послідовність застосування різних методів пошуку оптимальних параметрів геометричної схеми.
4. Розроблена наскрізна програма реалізує обчислення цільової функції у визначеній послідовності: статичний розрахунок на велику кількість завантажень, обчислення розрахункових зусиль у стержнях, підбір перерізів і підрахунок маси елементів, а також самої конструкції.
5. Розроблений метод оптимального проектування опор ПЛ є універсальним і може бути розповсюджений на інші решітчасті конструкції — опори вітроагрегатів і антенні опори радіорелейного зв'язку.

Створена система одностадійного автоматизованого проектування електромережних конструкцій включає програмний комплекс оптимізаційних розрахунків проводів, тросів, конструкцій опор і фундаментів; моделювання конструкцій у натуральну величину, графічний редактор, комп'ютерне контрольне складання. Система використана для розробки конструкцій опор ПЛ нової уніфікації для України.

Шевченко Євген Володимирович є професором кафедри "Металеві конструкції" 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.

Шевченко Евгений Владимирович является профессором кафедры "Металлические конструкции" 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.

Shevchenko Evhen Volodymyrovych is a Principal of Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Construction. Member of Building Academy of Ukraine. His research interests include the optimum design of constructions overhead of electricity transmission and aerial supports.

Література

1. Правила устройства электроустановок, 6-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648с.
2. Крюков К.П. Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи, 2-е изд. – Л.: Энергия, 1979. – 312 с.
3. Шевченко Е.В. Оптимальное проектирование конструкций опор высоковольтных линий электропередачи: Дисс. ... докт. техн. наук. – К., 2000. – 391с.
4. Сапронов Ю.В. Эффективные опоры высоковольтных линий электропередачи для Украины: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Макеевка, 2001г. – 18с.
5. Горохов Е.В., Казакевич М.И., Шаповалов С.Н., Назим Я.В. Аэродинамика электросетевых конструкций. – Донецк, 2000. – 336с.
6. Зылев В.Б., Штейн А.В. Определение динамических усилий в элементах линии электропередачи при обрыве провода. – Энергетическое строительство. – 1990, №2. – С.53-55.
7. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции/Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1991 – 96 с.
8. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.