

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

ОБГРУНТУВАННЯ ПРІОРИТЕТНОГО НАПРЯМКУ ПРОЕКТУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Черемісін М.М.¹, Черкашина В.В.²

¹ – Національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка
(Україна, Харків)

² – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
(Україна, Харків)

Анотація

Розділ 1 присвячений побудові і аналізу критеріальним методом техніко-економічних моделей повітряних ліній 110-750 кВ з урахуванням вартості відводу земельних ділянок під трасу ліній.

При побудові техніко-економічних моделей практично неможливо врахувати усі внутрішні часто стохастичні зв'язки, елементи яких не можуть бути виражені однозначно, що призводить до неповноти інформації. Тому для аналізу розроблених моделей ліній було застосовано критеріальний метод, який дозволяє прийняти рішення при неповній і невизначеній вихідній інформації. Реалізуючи кожне рівняння критеріальним методом отримано співвідношення складових в оптимальному варіанті проектування повітряних ліній різних конструкцій у відповідному класі напруги.

В розділі 2 представлено передпроектний аналіз оптимальних варіантів проектування повітряних ліній з використанням розроблених в розділі 1 техніко-економічних моделей та обгрунтовано методом Т. Сааті пріоритетний напрямок проектування ліній, що дозволяє вирішити задачу по впровадженню в практику проектування повітряних ліній підвищеної пропускної здатності і зниженого електромагнітного впливу.

Проведені у **розділах 1 і 2** дослідження показали, що пріоритетним напрямком проектування повітряних ліній 110-750 кВ при транспортуванні потужності у діапазоні $P_{min} \leq P_n < 0,5(P_{max} + P_{min})$ являються компактні повітряні лінії, а при транспортуванні потужності у діапазоні $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_n \leq P_{max}$ пріоритетний напрямок проектування повітряних ліній залежить від класу напруги: для 110 кВ – керовані самокомпенсуючі повітряні лінії; 330 кВ – компактні повітряні лінії; 750 кВ – традиційні повітряні лінії.

Список умовних позначень

АРМ	автоматизоване робоче місце
БНіП	будівельні норми і правила
ВН	висока напруга
ВООЗ	всесвітня організація охорони здоров'я
ДБН	державні будівельні норми
ЕЕС	електроенергетична система
ЕМП	електромагнітне поле
ЕП	електричне поле
КП	компенсуючий пристрій
КПЛ	компактна повітряна лінія
КСПЛ	керована самокомпенсуюча повітряна лінія
ЛЕП	лінія електропередачі
МП	магнітне поле
ОПР	особа, що приймає рішення
ПЕОМ	персональна електроннообчислювальна машина
ПЛ	повітряна лінія
ПЛП	повітряна лінія з ізольованими проводами
ПУЕ	правила устаткування електроустановок
СНіП	санітарні норми і правила
ФР	фазове регулювання

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ МОДЕЛІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

1.1 Принципи побудови техніко-економічних моделей і шляхи їх реалізації

Принцип взаємозв'язку економічного аналізу з рішенням технічних питань - актуальний напрямок при переході до ринкових відносин. Одним з напрямків вирішення технічних питань удосконалення структури електроенергетичних систем є і удосконалення конструкцій ПЛ з метою підвищення ефективності транспортування електричної енергії. До основних економічних питань слід віднести проблему зниження інвестиційних вкладень в проектування ПЛ.

Оскільки, зміни форм господарювання призвели до зміни відображення оцінки ефективності транспортування електричної енергії, а ринкові відносини передбачають нові підходи при аналізі дисконтованих витрат в проектування, будівництво та обслуговування ПЛ, то це й обґрунтовує необхідність приведення до сучасних ринкових умов моделей і методів техніко-економічного аналізу ПЛ.

Актуальність і складність проблеми обумовлена тим, що існуючий раніше підхід [1] не враховує деяких факторів, які впливають на загальні інвестиційні вкладення в електромережеві об'єкти. Так, капітальні витрати в проектування 1 км ПЛ мали питомі нормативи, які склалися з:

- витрат на підготовку території під об'єкт;
- витрат на монтаж обладнання;
- витрат на будівництво тимчасових будівель та споруд і на інші роботи;
- вартість проектно-дослідних робіт;
- резерву на непередбачені витрати [1].

А перехід до ринкових відносин обумовив наявність приватної власності, де територія під електромережевий об'єкт, зокрема для траси ПЛ, є товаром і повинна враховуватися у формуванні вартості даного об'єкту. Таким чином, виникла необхідність перегляду дисконтних витрат в проектування ПЛ для приведення їх у відповідність з сучасними ринковими відносинами. Так, розрахунок інвестиційних вкладень в проектування електромережевого об'єкту повинен бути доповнений такими питомими нормативи, як:

- вартість відводу території під електромережевий об'єкт з урахуванням його розмірів, так для ПЛ – довжини лінії;
- враховування темпів інфляції.

При вирішенні цього завдання доцільно керуватися системою ієрархічно побудованих і взаємозалежних техніко-економічних моделей різних функціональних рівнів при цьому оцінка пріоритетного напрямку ускладнюється неповнотою вихідної інформації та багатокритеріальністю [2].

Завдання техніко-економічного аналізу мають три складові:

- вибір критеріїв оптимальності;
- побудова математичної моделі;
- відшукування методу реалізації математичної моделі.

В залежності від умов задачі вибирається критерій оптимальності. Якщо ставиться задача відшукування оптимальних техніко-економічних зв'язків, то одним з головних критеріїв є мінімум дисконтних витрат $B(x) \rightarrow \min, x \in X$ [3].

Побудова техніко-економічної моделі - це таке завдання, яке може бути сформульоване в термінах - мета, засоби і результат.

Формалізація мети зводиться до мінімізації деякої функції, в даному випадку мінімуму дисконтних витрат, яка складається з безлічі усіх результатів і набуває дійсного значення. Ця функція носить назву функція мети.

Техніко-економічна модель є формальним описом складових її елементів: мети, засобів, а також зв'язку між засобами і результатами. Засоби і результати це множини, такі як:

X – множина альтернатив;

A – множина результатів.

Основні залежності результатів (A) від альтернатив (X) умовно підрозділяються на:

- кожна альтернатива призводить до єдиного результату, тобто є функціональною залежністю вихідних даних від альтернатив;
- кожна альтернатива може привести до безлічі результатів, кожен з яких має певну вірогідність появи;
- кожна альтернатива може привести до одного з декількох результатів (умова невизначеності).

При побудові розрахункової техніко-економічної моделі практично не можливо врахувати всі її внутрішні, часто стохастичні зв'язки, але, так як, інформація про такі зв'язки часом не повна і найчастіше невизначена, то формалізація завдання оптимальності вимагає врахування додаткових критеріїв. Усе це справедливо і для оптимізації ПЛ, з метою підвищення ефективності транспортування електроенергії, де за наявності головного критерію - мінімуму дисконтних витрат, діють і інші додаткові критерії. При цьому одним з шляхів реалізації багатокритеріальних завдань є рішення за критерієм економічності і заміною додаткових критеріїв системою обмежень на змінні техніко-економічного функціоналу [4].

Для оптимізації електроенергетичних об'єктів застосовують два класи моделей. До першого класу належать оціночні математичні моделі. Суть даних моделей виражається у можливості детального врахування індивідуальних особливостей конкретного об'єкту оптимізації, в простоті характеру зменшення параметрів об'єкта та їх функціонального зв'язку. Реалізація оціночних моделей можлива за допомогою алгоритмів та програмного розрахунку для визначеної кінцевої множини попередньо намічених рішень. Практика використання оціночних моделей показала їх достатню ефективність при розгляді системи математичних моделей, що дозволяє в остаточному підсумку зробити принципові висновки.

Незважаючи на певні переваги оціночних моделей, вони мають ряд недоліків. Основним недоліком є можливість вибору не оптимального варіанту, тому що можливість оцінки порівнюваних варіантів досить низька для того щоб із заданою точністю вибрати найкраще рішення з усієї множини припустимих рішень. Тому оціночні моделі вимагають ретельного мотивування вибору можливих варіантів порівняння.

До другої категорії моделей, з точки зору формування і математичного апарату, відносяться оптимізаційні моделі. В цьому випадку одна модель включає в себе опис усієї множини допустимих рішень. Можливості застосування таких моделей досить великі, але реалізація їх трудомістка і не завжди доступна, що служить певним поштовхом для автоматизації методів обчислення, що дозволяють з достатнім ступенем точності вирішити ці завдання.

Принцип побудови і реалізації техніко-економічної моделі передбачає спільне використання оціночних та оптимізаційних моделей. Для цього за допомогою оптимізаційної моделі вибираються варіанти, що лежать поблизу оптимального рішення. Після чого, за допомогою оціночної моделі йде пошук найкращого варіанту з попередньо намічених рішень [4].

При вирішенні загальної проблеми оптимальності необхідно враховувати характер вихідної інформації, яка може бути детермінованою, стохастичною або адаптивною [2]. Всі види інформації в тій чи іншій мірі використовуються в різних завданнях.

Детермінований підхід у вирішенні задачі дозволяє знайти оптимальне рішення досить просто. При стохастичному підході до вирішення завдання деяка частина вихідної інформації зберігає детермінований характер, а друга її частина замінюється статистичними характеристиками. Зі збільшенням часу знижується достовірність отриманої інформації, що

й призводить до невизначеності вихідної інформації. У цьому випадку застосовується адаптивний підхід [5].

Після того, як побудована техніко-економічна модель необхідно знайти метод її реалізації. Вибір того чи іншого методу реалізації залежить від класу функції і обмежень, які присутні в конкретному завданні. На сьогоднішній день найбільш розробленим є метод лінійного програмування. Основною перевагою даного методу є те, що він ефективний в реалізації завдань з великим числом змінних [2].

Наряду з методом лінійного програмування існують і інші методи математичного програмування. Це пов'язано з тим, що в більшості випадків детальна розробка техніко-математичних моделей виявила нелінійний характер основних економічних зв'язків оптимізованого об'єкту. Нині опублікована достатня кількість робіт теоретичного характеру, спрямованих на вдосконалення методів як лінійного так і нелінійного програмування. Застосування того або іншого методу, як відзначалося, залежить від того класу завдань, реалізація якого найбільш ефективна в даному випадку. Наприклад, якщо функція має марківську властивість, то в цьому випадку є ефективним метод динамічного програмування.

При проектуванні в електроенергетичній галузі виникає цілий ряд цілочисельних або комбінованих завдань, які можуть бути вирішені з використанням формалізованого методу.

Також при проектуванні в електроенергетичній галузі застосовують ряд методів реалізації, які побудовані на алгоритмах випадкового пошуку. Так для вирішення деяких задач дуже ефективний метод покоординатної оптимізації, що припускає відшукання глобального екстремуму на кожному кроці і по кожній змінній. Для задач оптимального управління електроенергетичними об'єктами в ряді випадків застосовується метод статистичних випробувань. Всі перераховані методи мають істотний недолік. Вони не дуже ефективні, виключаючи лінійне програмування, для реалізації задач великої розмірності при неповній вихідній інформації [6-10].

Для реалізації подібного роду задач, тобто аналізу техніко-економічних моделей, що представляють собою функції мети багатьох змінних і відносяться до певного підкласу, найбільш ефективним є критеріальний метод, що дозволяє провести комплексне дослідження рішення задачі при неповній та невизначеній інформації [2, 11, 12].

1.2 Визначення складових техніко-економічних моделей повітряних ліній різної конструкції

У практиці побудови та реалізації техніко-економічних моделей не існує загальноприйнятої концепції. У кожному конкретному випадку, як відзначалося раніше, побудова розрахункової моделі і метод її вирішення тісно взаємопов'язані. Крім того, при вирішенні загальної проблеми оптимальності необхідно враховувати характер вихідної інформації, достовірність якої буває низькою, що і призводить до невизначеності вихідної інформації. [3, 4].

Виходячи з вище викладеного, техніко-економічну модель для розрахунку дисконтних витрат 1 км ПЛ можна представити як

$$B = B_1 + B_2 = ((E + p)(a + \epsilon F)) + ((3I^2 \rho t \beta)/F), \quad (1.1)$$

де B_1 – інвестиційна складова техніко-економічної моделі ПЛ (інвестиційні вкладення);

B_2 – технічна складова техніко-економічної моделі ПЛ (експлуатаційні витрати);

E – реальна процентна ставка визначається як

$$E = [(E_{\text{ном}} + 100)/(i + 100) - 1] \cdot 100, \quad (1.2)$$

де $E_{\text{ном}}$ – номінальна процентна ставка %;

i – темп інфляції;

p – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, ремонт та обслуговування лінії $p = p_a + p_{\text{рем}}$ і обл;

a – постійна складова вартості, яка не залежить від перерізу проводу, г.о/км;

ϵ – коефіцієнт подорожчання, що враховує зміну вартості спорудження 1 км лінії в залежності від перерізу проводу г.о / (км мм²);

F – преріз проводу, мм²;

I – максимальний струм лінії при нормальному режимі, А ;

ρ – питомий опір провідникового матеріалу, Ом мм²/км;

τ – час максимальних втрат, ч, визначається як

$$\tau = (0,124 + T_{\max}/10^4)^2 8760, \quad (1.3)$$

де $T_{\max}$ – максимальний час використання;

β – питома вартість втрат електроенергії, г.о / (кВт год)

В умовах ринкових відносин інвестиційна складова на 1 км ПЛ складається з відрахування плати за кредит і амортизаційних відрахувань [46]. Ця залежність з урахуванням інфляції в умовах стабільної ринкової економіки для різних класів напруги складає:

$$B_1 = \left(\frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100} - 1 \right) \left(1 + \left[\left(\frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100} \right)^{T_{\text{сл}}} - 1 \right]^{-1} \right) K_i, \quad (1.4)$$

де B_1 – інвестиційна складова на 1 км ліній, г.о.;

$E_{\text{ном}}$ – номінальна процентна банківська ставка, %;

α – темп інфляції;

$T_{\text{сл}}$ – нормативний термін служби обладнання, рік;

K_i – вартість ПЛ i -го класу напруги.

Вартість ПЛ різного класу напруги залежить від конструкції об'єкта і складається з базових показників вартості ПЛ (без ПДВ), які враховують всі витрати виробничого призначення і відповідають середнім умовам будівництва та нормативного тиску по механічній міцності до 600 Па. Для одержання загальної вартості ПЛ до базисних показників додаються також:

- витрати на будівництво тимчасових будівель та споруд;
- вартість проектно-дослідних робіт та авторського нагляду;
- витрати на інші роботи [13, 14].

Оскільки перехід до ринкових відносин обумовив наявність приватної власності, то одним з суттєвих факторів, який впливає на загальну вартість ПЛ є витрати на відчуження земельної ділянки під електромережеві об'єкти.

Території уздовж повітряних ліній електропередачі згідно з нормативними актами України у вигляді земельної ділянки і повітряного простору, обмежених вертикальними площинами, що віддалені по обидві сторони лінії від крайніх проводів за умови невідхиленого їх положення мають мінімально допустимі відстані:

- до будинків, споруд нормуються відповідно класу напруги і складають: для ПЛ напругою до 1 кВ – 2 м; до 20 кВ – 10 м; 35 кВ – 15 м; 110 кВ – 20 м; 150, 220 кВ – 25 м; 330 кВ – 30 м; 750 кВ – 40 м;

- у насадженнях низькорослих порід дерев висотою до 4 метрів - завширшки не менше за відстань між крайніми проводами повітряної лінії електропередачі плюс 6 метрів (по 3 метри з кожного боку від крайнього до гілок дерев проводу), за умови проходження повітряних ліній електропередачі над територією фруктових садів з насадженнями висотою до 4 метрів прокладання просік не обов'язкове;

- у насадженнях висотою понад 4 метри - завширшки не менше за відстань між крайніми проводами плюс відстань, що дорівнює середній висоті існуючих насаджень основного лісового масиву з кожного боку від крайнього проводу повітряної лінії електропередачі, при цьому окремі дерева або групи дерев, які ростуть на краю просіки, підлягають вирубці, якщо їх висота перевищує відстань по горизонталі від гілок дерев до проводів ПЛ електропередачі;

- у міських та районних парках, скверах, лісопарках, приполонинних, байрачних лісах, особливо цінних лісових масивах, лісах степових, лісостепових, гірських районів, які мають важливе значення для захисту навколишнього природного середовища, лісах населених пунктів, лісах зон округів санітарної охорони лікувально-оздоровчих територій необхідно забезпечувати таку ширину просік, щоб відстань від проводів під час їх найбільшого відхилення до гілок дерев по горизонталі була не менш, як 2 метри для повітряних ліній напругою 20 кВ, 3 метри відповідно напругою 35 - 110 кВ, 4 метри - 150 - 220 кВ, 5 метрів - 330 - 500 кВ, 8 метрів - 750 кВ [15].

У таблиці 1.1 наведені середні значення складових вартості в загальній вартості 1 км ПЛ різних класів напруги.

Таблиця 1.1. Питома частина складових витрат в загальній вартості 1 км. ПЛ різних класів напруги, відн. од.

Призначення витрат	Напруга, кВ		
	110	330	750
Базисний показник вартості	78	81	82
Витрати на будівництво тимчасових будівель і споруд	2,5	2,5	3,0
Вартість проектно-дослідницьких робіт і авторського нагляду	7,5	7,5	8,0
Інші роботи і витрати	3,0	3,0	3,0
Витрати на відведення земельної ділянки	9	6	4

Вартість відведення земельної ділянки для ПЛ приймається з урахуванням класу напруги ПЛ, конструктивного виконання об'єкта, розрахункових значень площі відводу під опори ПЛ, розмірів траси ПЛ та оціночної вартості землі. Так, за даними Державного Комітету по земельних ресурсах офіційна оцінка землі в середньому по Україні складає 1602,5дол./10000 м². Площа відведення земельної ділянки для 1 км ПЛ різного класу напруги та різного конструктивного виконання розраховується згідно з нормативними документами та враховує особливості місцевості по якій проходить траса ПЛ [13-15].

Для визначення витрат на відведення земельної ділянки для 1 км ПЛ різних класів напруги та різних конструкцій були прийняті середні умови будівництва, тобто не враховувалося ускладнення обставин (лісові масиви, гірська місцевість).

У таблиці 1.2 представлені значення витрат на відведення земельної ділянки, як частини від загальної вартості 1 км ПЛ різних класів напруги, що виконано однодволанцюговими.

Таблиця 1.2 .Питома частина витрат на відведення земельної ділянки від загальної вартості 1 км ПЛ різних класів напруги і різної конструкції, відн. од.

Призначення витрат	Напруга, кВ				
	110		330		750
	Сталева опора	Залізобетонна опора	Сталева опора	Залізобетонна опора	Сталева опора
Витрати на відведення земельної ділянки для 1-ланцюгової ПЛ	9	11	6	7	4
Витрати на відведення земельної ділянки для 2-ланцюгової ПЛ	8	6	4	-	-

При проведенні розрахунків інвестиційних вкладень в 1 км ПЛ різних класів напруги та різного конструктивного виконання в умовах ринкових відносин взято до уваги варіанти виконання ПЛ перерізи проводів яких відповідають ПУЕ. Повна вартість 1 км ПЛ включає коефіцієнт інфляції на кінець року і враховує також резерв на непередбачені витрати [13, 14].

Інвестиційні вкладення в 1 км ПЛ різних класів напруги з урахуванням всіх складових, представлено в таблиці 1.3 і 1.4.

Таблиця 1.3. Інвестиційні вкладення у ПЛ 110 – 750 кВ, які виконано на сталевих опорах, тис.дол./км.

U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Базисна вартість	Вартість без урахування відводу земельного участка	Вартість з урахуванням відводу земельного участка	Вартість з урахуванням темпу інфляції	Загальна вартість	
110	120	1	47.72	53.93	58.74	67.55	70.93	71
		2	72.27	81.66	86.47	99.44	104.40	105
	240	1	53.18	60.10	64.91	74.65	78.38	79
		2	81.59	92.20	97.0	111.57	117.15	118
330	2х300	1	90.68	102.47	108.87	125.20	131.46	132
		2	141.59	159.99	167.07	192.13	201.73	202
	2х400	1	101.82	115.06	121.46	139.68	146.70	147
		2	166.36	187.99	194.39	223.55	234.73	235
750	5х300	1	257.27	294.57	304.17	349.80	367.29	368
	5х400	1	278.18	318.52	328.12	377.34	396.21	397

Таблиця 1.4. Інвестиційні вкладення у ПЛ 110 – 330 кВ, які виконано на залізобетонних опорах, тис.дол./км.

U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Базисна вартість	Вартість без урахування відводу земельного участка	Вартість з урахуванням відводу земельного участка	Вартість з урахуванням темпу інфляції	Загальна вартість	
110	120	1	38.64	43.66	48.47	55.75	58.53	59
		2	52.27	59.10	63.10	72.57	76.20	77
	240	1	43.18	48.79	53.60	61.64	64.74	65
		2	75.0	84.74	89.55	102.98	108.10	108
330	2х300	1	85.45	96.60	103.0	118.45	124.37	125
	2х400	1	91.36	103.24	109.64	126.07	132.36	133

Як видно з таблиць 1.3 і 1.4, інвестиційні вкладення в проектування ПЛ залежать від ряду факторів, які в тій чи іншій мірі впливають на вартість електромережевого об'єкту. Вагому частку цього впливу (табл. 1.3, 1.4) складає як конструктивне виконання так і вартість відведення земельної ділянки під ПЛ.

Дані, що наведено вище, відносяться до ПЛ традиційної конструкції, а якщо взяти до уваги конструктивне виконання ПЛ, які застосовуються в енергосистемах сусідніх країн для транспортування електричної енергії, то при визначенні оптимального варіанту для проектування доцільно провести порівняння ПЛ, які відрізняються по конструкції від представлених ПЛ. До таких ПЛ відносяться КПЛ і КСПЛ [16, 17].

При проведенні розрахунків інвестиційних вкладень в 1 км КПЛ різних класів напруги було враховано принцип створення КПЛ, який заснований на оптимізації конструкції фаз ПЛ. При цьому конструктивно, по розташуванню проводів в просторі, ПЛ даного типу не відрізняється від ПЛ традиційної конструкції. Вони також виконуються одно-дволанцюговими відповідно на одно- або двоколових опорах [16].

Таким чином, розрахунок інвестиційних вкладень в 1 км КПЛ різних класів не відрізняється від розрахунку інвестиційних вкладень в 1 км ПЛ різних класів традиційної конструкції. Встановлюючи відповідні для КПЛ конструктивні розміри, розрахунок виконано аналогічно представленому для ПЛ традиційної конструкції.

Інвестиційні вкладення в 1 км КПЛ різних класів напруги з урахуванням всіх складових, представлено в таблиці 1.5 і 1.6.

Як видно з таблиць 1.5 і 1.6, інвестиційні вкладення в проектування і будівництво 1 км КПЛ в умовах ринкових відносин являються майже рівнозначними з ПЛ традиційної конструкції.

Таблиця 1.5. Інвестиційні вкладення в **КПЛ 110 – 750 кВ**, які виконано на сталевих опорах, тис. дол./км.

U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Базисна вартість	Вартість без урахування відводу земельного участка	Вартість з урахуванням відводу земельного участка	Вартість з урахуванням темпу інфляції	Загальна вартість	
110	120	1	47.72	53.93	58.41	67.17	70.45	70
		2	72.27	81.66	86.14	99.06	104.01	104
	240	1	53.18	60.10	64.58	74.27	77.98	78
		2	81.59	92.20	96.68	111.18	116.75	117
330	2х300	1	90.68	102.47	108.23	124.46	130.6	131
		2	141.59	159.99	165.75	190.61	200.1	200
	2х400	1	101.82	115.06	120.45	138.51	145.8	146
		2	166.36	187.99	193.75	222.81	233.95	234
750	5х300	1	257.27	294.57	303.57	349.1	366.5	367
	5х400	1	278.18	318.52	327.48	376.6	395.4	395

Таблиця 1.6. Інвестиційні вкладення в **КПЛ 110 – 330 кВ**, які виконано на залізобетонних опорах, тис.дол./км.

U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Базисна вартість	Вартість без урахування відводу земельного участка	Вартість з урахуванням відводу земельного участка	Вартість з урахуванням темпу інфляції	Загальна вартість	
110	120	1	38.64	43.66	48.14	55.36	58.13	58
		2	52.27	59.10	63.58	73.12	76.77	77
	240	1	43.18	48.79	53.27	61.27	64.34	64
		2	75.0	84.74	89.22	102.6	107.73	108
330	2х300	1	85.45	96.60	102.36	117.71	123.5	124
	2х400	1	91.36	103.24	109.0	125.35	131.61	132

Оскільки КСПЛ конструктивно представляє дволанцюгову або багатоланцюгову ПЛ [17], то для коректної оцінки, КСПЛ потрібно порівнювати з лініями таких конструкцій. А на сьогоднішній день масово в енергосистемах використовуються дволанцюгові ПЛ, тому порівняння КСПЛ доцільно проводити з дволанцюговими ПЛ інших конструкцій. Враховуючи це, виконано розрахунок івестиційних вкладень в КСПЛ відповідного класу напруги. Розрахунки івестиційних вкладень в 1 км КСПЛ різних класів напруги виконано згідно з відомими в літературних джерелах результатами. Інвестиційні вкладення в 1 км КСПЛ різних класів напруги з урахуванням всіх складових, представлено в таблиці 1.7 і 1.8.

Таблиця 1.7. Інвестиційні вкладення в **КСПЛ 110 – 330 кВ**, які виконано на сталевих опорах, тис.дол./км.

U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Базисна вартість	Вартість без урахування відводу земельного участка	Вартість з урахуванням відводу земельного участка	Вартість з урахуванням темпу інфляції	Загальна вартість	
110	120	2	72.27	81.66	85.5	98.33	103.24	103
	240	2	81.59	92.20	96.04	110.45	115.96	106
330	2х300	2	141.59	159.99	165.11	189.88	199.37	199
	2х400	2	166.36	187.99	193.11	222.07	233.1	233

Таблиця 1.8 Інвестиційні вкладення в **КСПЛ 110 кВ**, які виконано на залізобетонних опорах, тис.дол./км.

U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Базисна вартість	Вартість без урахування відводу земельного участка	Вартість з урахуванням відводу земельного участка	Вартість з урахуванням темпу інфляції	Загальна вартість	
110	120	2	52.27	59.10	62.94	72.38	76.0	76
	240	2	75.0	84.74	88.58	101.87	106.9	107

Як видно з таблиць 1.7 і 1.8, інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ в умовах ринкових відносин мають менші значення в порівнянні з дволанцюговими ПЛ інших конструкцій

1.3 Побудова техніко-економічних моделей повітряних ліній різної конструкції в умовах ринкових відносин

Виходячи з вище викладеного, складова інвестиційних вкладень в проектування 1 км ПЛ, що входить в техніко-економічну модель дисконтованих витрат, описується лінійним двочленом [3 - 5]:

$$K = a + vF, \quad (1.5)$$

де a – постійна складова вартості, яка не залежить від перерізу проводу, г.о/км;

v – коефіцієнт подорожчання, що враховує зміну вартості спорудження 1 км лінії в залежності від перерізу проводу г.о / (км мм²);

F – переріз проводу, мм².

На певному етапі математичного програмування такий запис було виправдано. Але апроксимація лінійним двочленом припускає наявність постійної складової в розрахунковій моделі ПЛ електропередачі.

Залежно від поставленого завдання доля участі постійної складової функції мети може бути різною. У деяких завданнях вона складає всього декілька відсотків від загального значення функції, прийнятої за 100%, а більша частина доводиться на змінну частину. У цілому ряді завдань вона може складати більшу частину функції мети, тоді оптимізація тільки змінною складової не виправдовує себе.

Таким чином, для коректної постановки завданч і проведення її техніко-економічного аналізу, доцільно замінити існуючі розрахункові моделі ПЛ моделями, які не містять постійної складової в явному виді. Один з шляхів переходу від існуючих розрахункових моделей до нових розрахункових моделей можливий при заміні частини моделі апроксимованим виразом з достатньою мірою точності, причому до цієї частини моделі повинна увійти і постійна складова. Апроксимація, як окремих складових, так і цілих виразів, що входять у функцію, виконується на множині $D = (x_i: x_j, x_{min} \leq x_j \leq x_{max})$, яка є областю визначення початкової функції. Сукупність дійсних точок в заданій множині можна замінити сукупністю точок, що лежать на прямій, але це не влаштовує з міркувань появи постійною складовою, або сукупністю точок, що лежать на кривій, яка має постійну складову в неявному виді на цій множині [3].

Отже, для побудови нової розрахункової моделі ПЛ складову техніко-економічної моделі 1 км ПЛ замінено нелінійними апроксимуючим виразом

$$K_i = a_i F^{\alpha_i}, \quad (1.6)$$

де a_i – коефіцієнт апроксимації, що залежить від типу опор, конструкції лінії, класу напруги;

F – переріз, змінна величина, мм²;

α_i – показник апроксимованого виразу, отриманий з певною мірою точності методом найменших квадратів.

Якщо вартість електропередачі для різних класів напруги представити апроксимуючим виразом (1.6), тоді інвестиційна складова (1.4) техніко-економічної моделі ПЛ (1.1), г.о., матиме вигляд

$$B_1 = \left(\frac{E_{ном} + 100}{\alpha + 100} - 1 \right) \left(1 + \left[\left(\frac{E_{ном} + 100}{\alpha + 100} \right)^{T_{сл}} - 1 \right]^{-1} \right) \alpha_i F^{\alpha_i}. \quad (1.7)$$

Отримана розрахункова модель інвестиційної складової техніко-економічної моделі 1 км ПЛ носить приблизний характер, який залежить від заданої міри точності моделі, сукупності дійсних точок, що зумовлюють витрати в ПЛ.

Розрахунок коефіцієнтів α'_i і v_i проведено з використанням прикладної математичної програми ПЕОМ Mathcad і наведено в додатку А.

Для визначення коефіцієнтів α'_i і v_i за виразом (1.6) використано вартісні показники ПЛ для класів напруг 110 - 750 кВ включно. Для кожного класу напруги, і типу опор були отримані значення коефіцієнтів a і v , які представлено в таблицях 1.9-1.10.

Таблиця 1.9. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 110 - 750 кВ, які виконано на сталевих опорах, тис.дол./км.

U, кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{v_i}$	Коефіцієнти	
					a	v
110	120	1	70.93	70.88	35.59	0.144
	240	1	78.38	78.41		
	120	2	104.40	104.59	47.18	0.166
	240	2	117.15	116.75		
330	2x300	1	131.46	131.49	14.96	0.381
	2x400	1	146.70	146.64		
	2x300	2	201.73	201.75	9.98	0.527
	2x400	2	234.73	234.63		
750	5x300	1	367.29	368.71	81.94	0.263
	5x400	1	396.21	395.44		

Таблиця 1.10. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 110 - 330 кВ, які виконано на залізобетонних опорах, тис.дол. / км.

U, кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a_i F^{v_i}$	Коефіцієнти	
					a	v
110	120	1	58.53	58.557	29.22	0.145
	240	1	64.74	64.715		
	120	2	76.20	76.183	6.79	0.505
	240	2	108.10	108.113		
330	2x300	1	124.37	123.96	36.27	0.216
	2x400	1	132.36	132.95		

Для оптимізації розрахункової моделі інвестиційної складової техніко-економічної моделі 1 км ПЛ значення показника ступеня v_i усереднено і замінено значенням показника ступеня $\tilde{v}$ для різних класів напруги та визначено сукупністю значень v_i , що належать своєму класу напруги. В відповідності з отриманим значенням коефіцієнтів $\tilde{v}$ для варіантів ПЛ певного класу напруги, і типу опор були перераховані коефіцієнти a_i таким чином, щоб середня відносна похибка по варіанту була як найменша (табл. 1.11).

Таблиця 1.11. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 110 - 750 кВ для різних класів напруги, тис.дол. / км.

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{v}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{v}$
110	Сталева	120	1	70.93	70.95	22.49	0.24
		240	1	78.38	78.33	21.03	
		120	2	104.40	104.37	33.08	
		240	2	117.15	117.18	31.44	
	Залізобетона	120	1	58.53	58.56	18.56	
		240	1	64.74	64.72	17.37	
		120	2	76.20	76.17	24.14	
		240	2	108.10	108.13	29.02	
330	Сталева	2x300	1	131.46	131.44	15.93	0.37
		2x400	1	146.70	146.76	15.99	
		2x300	2	201.73	201.75	24.45	
		2x400	2	234.73	234.68	25.57	
	Залізобетона	2x300	1	124.37	124.33	15.07	
		2x400	1	132.36	132.44	14.43	
750	Сталева	5x300	1	367.29	367.23	83.37	0.26
		5x400	1	396.21	396.23	83.44	

Значення показників ступеня $\tilde{\epsilon}$ в таблиці 1.11 отримано без урахування вірогідності появи ПЛ представленої конструкції, класу напруги і типу опор. На цьому етапі по-перше немає таких статистичних даних, а по-друге, це не входило в завдання побудови розрахункової моделі ПЛ з певною мірою точності. Для точнішого визначення значень $\tilde{\epsilon}$ потрібен поглиблений аналіз нормативних показників з урахуванням частини участі значення показників ступеня, відповідного розрахунковому варіанту по конструктивному виконанню ПЛ електропередачі, типу опор і класу напруги.

Графічне відображення узагальнених моделей інвестиційних вкладень у ПЛ для різних класів напруги представлено на рисунках 1.1 – 1.3.

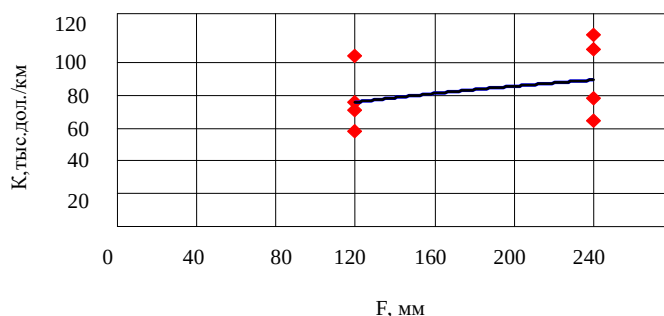


Рисунок 1.1 – Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 110 кВ

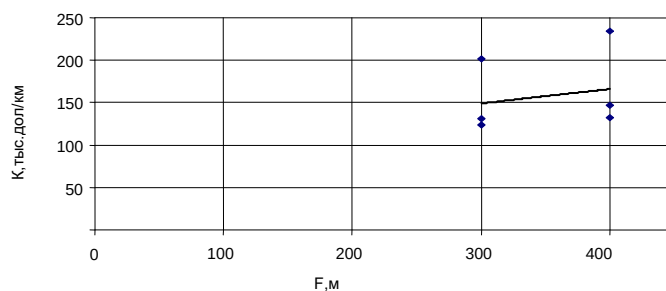


Рисунок 1.2 – Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 330 кВ

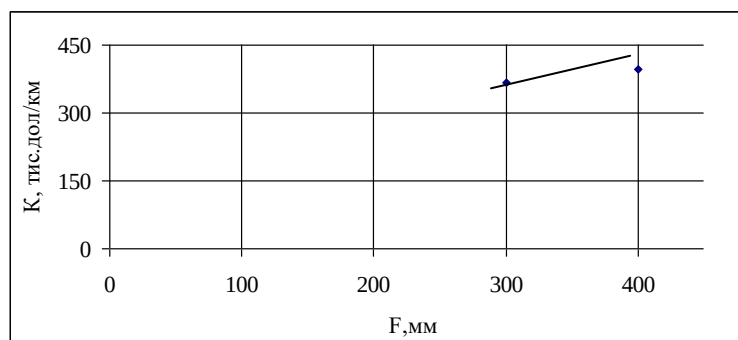


Рисунок 1.3 – Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 750 кВ

Представлені вище коефіцієнти апроксимації інвестиційних вкладень відносяться до техніко-економічної моделі ПЛ традиційної конструкції.

Аналогічно проводимо розрахунок коефіцієнтів апроксимації інвестиційних вкладень для КПЛ і КСПЛ. В таблицях 1.12 – 1.14 представлено інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ певного класу напруги, і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a'_i і $\tilde{\epsilon}$.

Таблиця 1.12 Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 110 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
110	Сталева	120	1	70.5	70.52	23.45	0.23
		240	1	104.01	103.96	29.47	
		120	2	77.98	78.02	25.94	
		240	2	116.75	116.7	33.08	
	Залізобетона	120	1	58.13	58.14	19.33	
		240	1	76.77	76.76	21.76	
		120	2	64.33	64.3	21.38	
		240	2	107.73	107.76	30.55	

Таблиця 1.13 Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 330 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
330	Сталева	2х300	1	130.6	130.3	14.92	0.38
		2х400	1	145.8	145.9	14.97	
		2х300	2	200.1	200.0	22.89	
		2х400	2	233.95	234.0	24.02	
	Залізобетона	2х300	1	123.5	122.73	14.05	
		2х400	1	131.62	131.65	13.51	

Таблиця 1.14 Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 750 кВ, тис.дол. / км.

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
750	Сталева	5х300	1	366.5	366.51	83.19	0.26
		5х400	1	395.4	395.05	83.2	

В таблицях 1.15 – 1.16 приведені інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ відповідного класу напруги, і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a'_i і $\tilde{\epsilon}$.

Таблиця 1.15 Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 110 кВ, тис.дол./км.

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
110	Сталева	120	2	103.24	103.54	21.33	0.33
		240	2	115.96	115.93	18.99	
	Залізобетона	120	2	76.0	75.94	15.85	
		240	2	106.9	106.91	17.52	

Таблиця 1.16 Значення коефіцієнтів апроксимації та витрати в проектування 1 км КСПЛ 330 кВ, які виконано на сталевих опорах, тис.дол./км.

U,кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\epsilon}$	Коефіцієнти	
					a	ϵ
330	2х300	2	199.37	200.3	9.17	0.54
	2х400	2	233.73	232.75		

Для сформованих техніко-економічних моделей ПЛ проведено оцінку достовірності апроксимацій функції для різних класів напруги. В таблиці 1.17 наведено значення достовірності апроксимації інвестиційних вкладень в 1 км ПЛ змінного струму різних класів напруги.

Таблиця 1.17 Значення достовірності апроксимації інвестиційних вкладень в 1 км ПЛ змінного струму різних класів напруги.

Вид апроксимації $a_i F^{\tilde{\epsilon}}$	Середня похибка апроксимації,%		
	110 кВ	330 кВ	750 кВ
	1.5	2.25	2.0

Виходячи з вище представленого, апроксимуючий вираз, що входить в інвестиційну складову (1.7) техніко-економічної моделі ПЛ різної конструкції можна записати для кожного класу напруги:

- для напруги 110 кВ:

$$K_{110} = a_i F^{\tilde{\epsilon}_{110}}; \quad (1.8)$$

- для напруги 330 кВ:

$$K_{330} = a_j F^{\tilde{\epsilon}_{330}}; \quad (1.9)$$

- для напруги 750 кВ:

$$K_{750} = a_k F^{\tilde{\epsilon}_{750}}, \quad (1.10)$$

де a - значення коефіцієнта апроксимації для відповідних конструкцій ПЛ;

$\tilde{\epsilon}$ - усереднене значенням показника ступеня для різних класів напруги ПЛ відповідних конструкцій, представлено в табл. 1.18.

Таблиця 1.18. Середнє значення показника ступеня $\tilde{\epsilon}$ для різних класів напруги ПЛ відповідних конструкцій

U кВ	110 кВ	330 кВ	750 кВ
$\tilde{\epsilon}_v$ (традиційна ПЛ)	0.24	0.37	0.26
$\tilde{\epsilon}_v$ (КПЛ)	0.23	0.38	0.26
$\tilde{\epsilon}_v$ (КСПЛ)	0.33	0.54	-

Таким чином, інвестиційна складова техніко-економічної моделі 1 км ПЛ, г.о., різної конструкції і типу опор має вигляд:

$$B_1 = (A - 1) \left(1 + [A^{T_{cl}} - 1]^{-1} \right) a_i F^{\tilde{\epsilon}_i}, \quad (1.11)$$

$$\text{де} \quad A = \frac{E_{ном} + 100}{\alpha + 100}, \quad (1.12)$$

де $E_{ном}$ - номінальна банківська ставка, %;

α - темп інфляції;

T_{cl} - нормативний термін служби об'єкту, рік [5].

Аналізуючи техніко-економічні показники ПЛ різних конструкцій в умовах ринкових відносин техніко-економічної моделі можна представити залежно від класу напруги:

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{T_{cl}} - 1]^{-1} \right) K_{110} + (3I^2 \alpha \beta \cdot F^{-1}); \quad (1.13)$$

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{T_{cl}} - 1]^{-1} \right) K_{330} + (3I^2 \alpha \beta \cdot F^{-1}); \quad (1.14)$$

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{T_{cl}} - 1]^{-1} \right) K_{750} + (3I^2 \alpha \beta \cdot F^{-1}). \quad (1.15)$$

Враховуючи неповноту і невизначеність вихідної інформації представлені техніко-економічні моделі ПЛ різних конструкцій пропонується проаналізувати критеріальним методом для визначення частки складових в оптимальному варіанті при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ в умовах ринкових відносин при неповній вихідній інформації.

1.4 Критеріальний метод аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній різної конструкції

Як відомо, техніко-економічна модель ПЛ електропередачі представляє собою суму доданків (1.1), в загальний вираз яких входить як постійна складова так і змінна.

В якості інструмента дослідження таких техніко-економічних завдань в електроенергетиці обирається критеріальний метод, що дозволяє вести аналіз при неповній вихідній інформації. Можливою реалізацією критеріального методу є рішення по одному з

критеріїв і заміна додаткових критеріїв системою обмежень. У кожному конкретному випадку виділення обмежень та побудова системи "головного критерію" пов'язане з умовами завдання, з тактикою і методикою його реалізації [11, 12].

Вибір напрямку залежить від виду підкласу до якого відноситься функція мети. Зазвичай техніко-економічні завдання в енергетиці описуються за допомогою поліноміальних рівнянь декількох змінних з урахуванням технічних вимог до цих змінних.

У 70-х роках минулого століття на кафедрі Московського енергетичного інституту енергетики розроблено метод критеріального програмування, що базується на теорії подібності та дозволяє мінімізувати поліном виду

$$Y_{(x)} = \sum_{i=1}^{m_1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad x_j \geq 0 \quad (1.16)$$

де A_i - позитивні узагальнені константи, які несуть детермінований або ймовірнісний характер в залежності від умов завдання і представляють собою вихідну інформацію про об'єкт;

x_j - параметри оптимізації, позитивні змінні;

α_{ij} - показники ступеня, дійсні числа;

m_1 - число доданків в поліноми;

n - число незалежних параметрів.

Обмеження, які накладає на окремі змінні x_j і на їхні комплекси, представляються у вигляді поліномів аналогічних (1.16) [12]

$$q_k(x) = \sum_{i=m_{k+1}}^{m_{k+1}} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \leq 1. \quad (1.17)$$

В деяких випадках формування обмежень складне, а іноді неможливе, що викликає певні труднощі при аналізі об'єкта оптимізації.

Необхідною умовою існування умовного мінімуму функції з урахуванням всіх обмежень є вимога канонічності функції, під яким розуміють виконання наступного співвідношення:

$$M - n - 1 = 0, \quad (M = n + 1), \quad (1.18)$$

де M – загальне число доданків в поліноми і обмеженнях.

Алгоритми критеріального програмування дозволяють знайти оптимальні і кількісні економічні зв'язки об'єкту як при заданій, так і неповній вихідній інформації. Окрім цього, перевагою даного методу є, то що на ряду з визначенням оптимальних значень функції мети і параметрів оптимізації можливо оцінити стійкість функції до зміни параметрів в межах точки мінімуму, дослідити чутливість рішення задачі до зміни вихідної інформації.

Перевагою критеріального методу є:

- визначення оптимальних значень функції мети;
- параметрів оптимізації; оцінка стійкості функції до зміни параметрів в діапазоні точки мінімуму;
- дослідження чутливості рішення задачі при зміні вихідної інформації. [11, 12]

При вирішенні техніко-економічних завдань важливо знати вплив відхилення вихідної інформації на вихідний економічний варіант. Дослідження чутливості дозволить обґрунтувати необхідну ступінь точності вихідної інформації. Особливо добре даному аналізу піддаються канонічні моделі.

Канонічні моделі в енергетиці можуть бути представлені у вигляді поліному

$$Y = A_0 \sum_{i=1}^{n+1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}. \quad (1.19)$$

Критеріальний метод дозволяє дослідження даної функції (1.19) в діапазоні $n+1$ базисної точки - мірному просторі параметрів оптимізації x_j та функції Y . Постійна складова A_0 (1.19) має значення тільки при оцінці повної величини функції, в інших випадках нею можна знехтувати, тоді

$$Y_1 = \sum_{i=1}^{n+1} A_i \prod_{j=1}^n x_j. \quad (1.20)$$

Дуже часто узагальнені константи A_i відомі лише наближено, тому застосовуємо критеріальний метод дозволяє вести дослідження на моделях, представлених в критеріальній формі і які мають вигляд:

$$Y_{*1} = \sum_{i=1}^{n+1} \pi_i \prod_{j=1}^n x_{*j}^{\alpha_{ij}}, \quad (1.21)$$

де π_i - критерій подібності, який визначається як:

$$\pi_i = \frac{A_i}{y_{*i}} \prod_{j=1}^n x_{*j}^{\alpha_{ij}}, \quad i = \overline{1, n+1}, \quad (1.22)$$

де x_{*j} - відносне значення параметрів оптимізації;

α_{ij} - дійсні числа.

y_{*1} - відносна величина змінної частини функції (рис. 1.4)

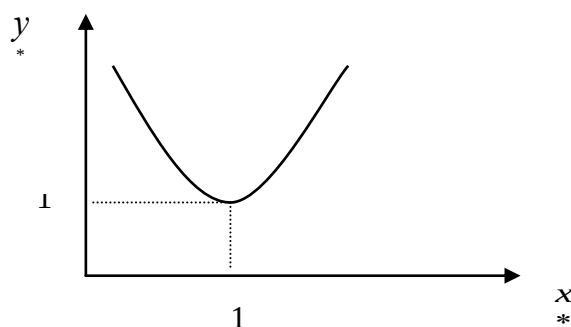


Рисунок 1.4 – Критеріальна форма представлення моделі.

Для визначення критеріїв подібності π_i з (1.22) необхідно знати величину узагальнених констант A_i , заздалегідь вибравши базисне значення функції y_i . У тому випадку, якщо відсутня інформація про A_i , то визначення критеріїв подібності базується на умовах ортогональності і нормування:

$$\sum_{i=1}^{m_1} \pi_i = 1 \quad (1.23)$$

$$\frac{dy}{dx_j} \bigg|_{x_j = x_{j0}} = \frac{y_0}{x_{j0}} \sum \alpha_{ij} \pi_i = 0, \quad j = \overline{1, n} \quad (1.24)$$

Сформулювавши основні ознаки канонічності функції (1.21) необхідно дотримуватися умови – число доданків в поліномі повинно на одиницю перевищувати число змінних $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Систематизування процедури проводиться, аналізуючи матрицю складену із

показників ступеня x_j . Так, як аналогічні матриці використовуються при визначенні критеріїв подібності методом аналізу розмірностей, то вони називаються матриці розмірностей [12].

Розглянемо квадратичну матрицю A_1 порядку $(n+1)$, отриману шляхом приєднання до матриці розмірностей (α_{ij}) стовпця, складеного з одиниць

$$A_1 = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} & 1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n+11} & \alpha_{n+12} & \dots & \alpha_{n+1n} & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.25)$$

Для того щоб функція (1.20) була канонічної необхідно, щоб алгебраїчні доповнення елементів останнього стовпця матриці A_1 були відмінні від нуля і мали один знак. Якщо дотримується умова канонічності, то функція має єдину точку екстремуму x_0 , в якій досягається мінімум

$$d^2 y(x_0) = 0. \quad (1.26)$$

Для аналізу стійкості таких функцій до зміни параметрів оптимізації в межах базисної точки була запропонована апроксимація функції мети (1.21) членами другого порядку розкладання Тейлора в точці мінімуму [126]. В цьому випадку область економічної стійкості представляється приблизно еліпсоїдом. Для аналізу функції з обмеженнями застосовують функцію Логранжа, мінімум якої по змінним збігається з умовою мінімумів функції мети з обмеженнями. Ця функція має вид:

$$L(x) = y(x) + \sum_{k=1}^p \mu_{k0} [q_k(x) - 1], \quad (1.27)$$

де $L(x)$ - функція Логранжа;

$y(x)$ - функція мети;

$q_k(x)$ - кількісні обмеження;

μ_{k0} - невизначені множники Логранжа, значення яких визначається при знаходженні умовного мінімуму.

Функція $y(x)$ з обмеженнями $q_k(x)$ має умовний мінімум якщо система рівнянь:

$$\sum_{i=1}^M \alpha_{ij} \pi_i = 0, \quad j = \overline{1, n} \quad (1.28)$$

отримана з часних похідних функції Логранжа в точці мінімуму, що має хоча б одне позитивне рішення $\pi_i > 0, i = 1, M$ (M - загальне число доданків функції мети і обмежень) [5].

Таким чином, при виконанні умов канонічності, техніко-економічні моделі вирішуються досить просто і практично реалізують усі техніко-економічні завдання критеріального програмування (стійкість, чутливість та ін.) як при заданій, так і при невизначеній вихідній інформації. Ось чому однією з оптимальних форм вирішення техніко-економічних завдань є дане представлення моделей, що задовольняє умовам канонічності і може використовувати для реалізації існуючі алгоритми критеріального методу та прикладні програми ПЕОМ [115]. Але в електроенергетиці не завжди виконуються умови канонічності функції мети, а саме $M_1 \neq n + 1$. Це пов'язано з мірою складності завдання d , тобто $d = M_1 - n - 1$. У разі, коли $M_1 < n + 1$, не має такого рішення, що задовільняло б умові канонічності. З цього витікає, що система однорідних рівнянь або квадратна, або має число рядків більше числа змінних. В цьому випадку повинна існувати лінійна залежність між змінними. Отже, якщо число змінних зменшити, то нова модель можливо стане канонічною, або система рівнянь в даному випадку не матиме рішення. Якщо $M_1 > n + 1$, то система лінійних рівнянь неоднорідна і відноситься до завдань з позитивною мірою складності. В даному випадку буде прямокутна матриця, а з неї завжди можна виділити квадратну матрицю порядку $n + 1$. Причому, якщо алгебраїчні доповнення Δ_i останнього рядка такої матриці відмінні від нуля і мають один знак, то це рівносильно умові існування єдиного позитивного рішення системи

лінійних рівнянь за визначенням критеріїв подібності. При цьому значення отриманих критеріїв подібності π_i ($i = 1, n+1$) виражаються через значення інших критеріїв π_{iM-n-1} подібності. Виходячи з вище викладеного техніко-економічної моделі (1.13-4.15) представлено для відповідного класу напруги і конструкції в критеріальній формі

$$B_{*}^{110} = \pi_1' F_{*}^{\tilde{\epsilon}^{110}} + \pi_2' F_{*}^{-1}; \quad (1.29)$$

$$B_{*}^{330} = \pi_1'' F_{*}^{\tilde{\epsilon}^{330}} + \pi_2'' F_{*}^{-1}; \quad (1.30)$$

$$B_{*}^{750} = \pi_1''' F_{*}^{\tilde{\epsilon}^{750}} + \pi_2''' F_{*}^{-1}, \quad (1.31)$$

де $\pi_1', \pi_2', \pi_1'', \pi_2'', \pi_1''', \pi_2'''$ - критерій подібності для певного класу напруги і конструкції ПЛ;

$\tilde{\epsilon}^{110}, \tilde{\epsilon}^{330}, \tilde{\epsilon}^{750}$ - узагальнені коефіцієнти апроксимації певного класу напруги і конструкції ПЛ;

F_{*} - переріз проводу відповідно до класу напруги, відн.од.

Реалізуючи кожне рівняння критеріальним методом проаналізовано техніко-економічні моделі ПЛ 110 -750 кВ включно і отримано співвідношення в оптимальному варіанті для ПЛ різних конструкцій в відповідному класі напруги (табл. 1.19).

Таблиця 1.19. Співвідношення складових в техніко-економічних моделях ПЛ 110-750 кВ різних конструкцій в оптимальному варіанті

110 кВ	Традиційна ПЛ	$\pi_1' = 0,80, \pi_2' = 0,20$
	КПЛ	$\pi_1' = 0,81, \pi_2' = 0,19$
	КСПЛ	$\pi_1' = 0,75, \pi_2' = 0,25$
330 кВ	Традиційна ПЛ	$\pi_1'' = 0,73, \pi_2'' = 0,27$
	КПЛ	$\pi_1'' = 0,72, \pi_2'' = 0,28$
	КСПЛ	$\pi_1'' = 0,65, \pi_2'' = 0,35$
750 кВ	Традиційна ПЛ	$\pi_1''' = 0,79, \pi_2''' = 0,21$
	КПЛ	$\pi_1''' = 0,79, \pi_2''' = 0,21$

При проектуванні ПЛ змінного струму окрім економічної ефективності необхідно враховувати їх технічні характеристики. Неєкономічні критерії в задачах проектування ПЛ зазвичай мають вирішальне значення. Тому аналізуючи техніко-економічні показники при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ необхідно виконати зіставлення інвестиційних вкладень у ПЛ з економічним еквівалентом підвищення пропускної здатності.

Відповідно з цим було проаналізовано вплив складових ($\pi_1', \pi_1'', \pi_1'''$) техніко-економічних моделей ПЛ 110-750 кВ на еквівалент пропускної здатності (P_n) ПЛ різних конструкцій в оптимальному варіанті. Результати дослідження впливу інвестиційної складової техніко-економічних моделей ПЛ 110-750 кВ з еквівалентом пропускної здатності ПЛ різних конструкцій в оптимальному варіанті представлено на рис.1.5.

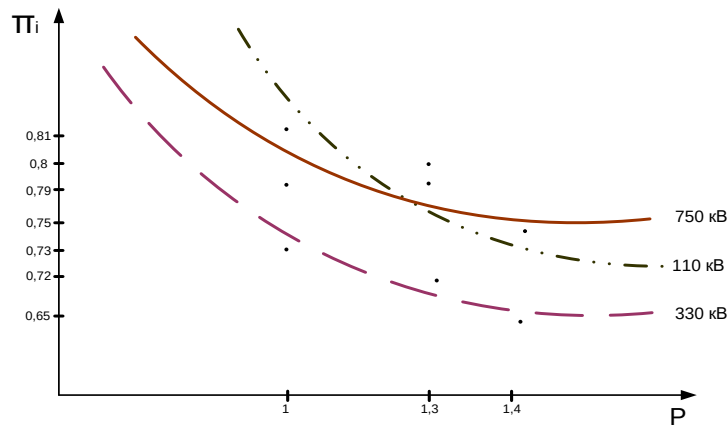


Рисунок 1.5 – Залежність складових техніко-економічних моделей відносно пропускної здатності ПЛ 110-750 кВ в оптимальному варіанті

Список використаних джерел у розділі 1

1. Сборник нормативов удельных капитальных вложений в строительство воздушных линий электропередачи 35 – 750 кВ. Руководящие материалы / Минэнерго СССР, 1986.– 30 с.
2. Лежнюк П.Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом. / П.Д. Лежнюк . Монографія. - Вінниця: Універсум-Вінниця, 2003. - 131 с.
3. Черемісін М.М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності. Навчальний посібник / М.М.Черемісін, В.І. Романченко. // Харків: Факт, 2006.– 167 с.
4. Бондаренко В.Е. Формирование технико-экономических моделей воздушных линий электропередачи в условиях рыночных отношений и анализ их критерияльным методом / В.Е. Бондаренко, Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина // Технічна електродинаміка – 2010. – № 6.– С. 59 – 64.
5. Бондаренко В.О. Системний підхід передпроектної оцінки повітряних ліній в умовах ринкових відносин. / В.О. Бондаренко, Н.М. Черемісін, В.В. Черкашина. Монографія– Харків: Факт, 2013. – 259 с.
6. Ляшенко И.Н. Линейное и нелинейное программирование. / И.Н. Ляшенко, Карагодова Е.В., Черникова Н.В., Шор Н.З. – К: “Вища школа”, 1975 – 372 с.
7. Карманов В.Г. Математическое программирование./ В.Г. Карманов. – М: Наука, 1975 – 270 с.
8. Веников В.А. Электрические сети и системы. Кибернетика электрических систем / Ю.Н. Автахов, В.А. Веников, Ю.М. Горский. – М.: Высшая школа, 1974 – 328 с.
9. Химельбау Д. Нелинейное программирование. / Д. Химельбау – М: “Мир”, 2007 – 267 с.
10. Беллман Р. Динамическое программирование /Р.Беллман–М.:Изд-во илит.,1960–400с.
11. Лежнюк П.Д Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод. / П.Д. Лежнюк, С.В. Бевз. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 177 с.
12. Черемисин, Н. М. Критеріальний метод аналізу техніко-економічних задач в електричних сетях и системах / Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина. – Харьков: Факт, 2014. – 88 с.
13. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). - К.: Міненерго України, 1995. - 34 с.
14. ГКД 340.000.002-97. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми та електричні мережі. - К.: Міненерго України, 1997-54 с.
15. ДБН В.2.5-16-99. Інженерне обладнання споруд, зовнішніх мереж. Визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж, К.:Держбуд України, 1999.– 24с.
16. Александров Г.Н. Передача электрической энергии переменным током. / Г.Н. Александров – М.: Знак, 1998. – 271 с.
17. Постолатий В.М. Управляемые электропередачи / В.М. Постолатий, Е.В. Быкова // Труды института энергетики АН Молдовы – 2007 – № 8 (23) – 234 с.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ПРІОРИТЕТНОГО НАПРЯМКУ ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНІЙ

2.1 Передпроектна оцінка вибору пріоритетного напрямку проектування повітряних ліній змінного струму

Передпроектна оцінка - це комплект документів, необхідний для проходження регламенту у відповідному регіоні і отримання початкової дозвільної документації для створення проекту електроенергетичного об'єкту. Крім того, це матеріали, що дозволяють оцінити проект і сформулювати точні вимоги до подальшого проектування.

Передпроектна оцінка проводиться з метою встановлення принципових (функціональних, конструктивних, технічних та ін.) рішень проекту, що дають загальне уявлення про принцип функціонування проекту, взаємодію як окремих частин, так і проекту в цілому. На основі передпроектної оцінки розробляється бізнес-план інвестиційного проекту і технічне завдання для проектування.

Проведення передпроектної оцінки один із кращих способів заздалегідь оцінити і отримати уявлення про проектуємий електромережевий об'єкт. Цей етап особливо важливий для протяжних об'єктів, якими є ПЛ, оскільки дозволяє уникнути багатьох складнощів в ході подальшого проектування.

На основі проведеної передпроектної оцінки і точно сформульованого технічного завдання проводиться обробка обраного варіанту проекту. Тому, принципово важливо визначити конструктивне виконання об'єкту, оскільки від цього залежать як технічні характеристики так і економічні.

По матеріалам передпроектної оцінки готується дозвільна документація, і тому помилки на цій стадії впливають на подальше проектування і терміни будівництва об'єкту.

Передпроектна стадія є вирішальною для проектування електромережевого об'єкту.

Завдання визначення оптимальних параметрів і габаритів ПЛ вирішуються в першу чергу на передпроектній стадії при розробці техніко-економічного обґрунтування об'єкту.

Враховуючи наявність ринкових відносин процес обґрунтування параметрів і габаритів ПЛ стає складніший не лише в методичному відношенні, а і в дотриманні техніко-економічних вимог. Замовники все частіше висувають підвищені вимоги до розмірів інвестицій, технічних показників проекту і термінів його будівництва, до екологічної безпеки об'єкту, надійності і якості електроенергії, яка транспортується. При цьому необхідно враховувати взаємозв'язок технічних характеристик ПЛ з обмеженістю території під об'єкт, при якому можуть бути досягнуті найкращі економічні показники. Визначити ефективність такого об'єкту, тобто прибуток або чистий дисконтований дохід (ЧДД), а також термін окупності інвестиційних вкладень можливо, розраховавши заздалегідь для кожного варіанту проекту потік грошей у вигляді суми щорічних показників.

Сформовані техніко-економічні моделі дозволяють вирішити дане завдання з позицій економічної ефективності. Але при проектуванні електроенергетичних об'єктів окрім економічної ефективності необхідно враховувати і їх технічні характеристики, екологічну дію. Тому це потребує багатокритерійного рішення задачі з позицій техніко-економічної оцінки і системного підходу при передпроектному аналізі альтернативних варіантів проектування ПЛ.

Проектування ПЛ з урахуванням багатьох критеріїв пов'язане з необхідністю аналізу альтернативних варіантів з урахуванням значної кількості критеріїв і технічних аспектів (єдність процесу виробництва, передачі і споживання електроенергії, обмеження по пропускній здатності при транспортуванні електроенергії, вимоги до надійності електропостачання), що і обумовлює специфіку завдання. У зв'язку з цим існуючі методики вимагають значних зусиль ОПР. Будь то просте рішення, або складно організований багатоетапний план, рішення є актом вибору з безлічі можливих варіантів (альтернатив). Чим більшою є безліч альтернатив, тим вище вірогідність отримання найкращого з можливих рішень.

У загальному випадку процедура ухвалення рішення має дві складових - емоційну (імпульсивні рішення) і раціональну. Домінуючою в теорії ухвалення рішень є гіпотеза раціонального, зокрема, багатокритерійного вибору, коли емоційна складова не береться до уваги [1, 2]

2.2. Методологічні основи ухвалення пріоритетного напрямку проектування повітряних ліній змінного струму на базі методу Т. Сааті

Т. Сааті [3] запропонував мультиплікативну модель обчислення важливості критеріїв, а потім і альтернатив по кожному з обраних критеріїв. Він припустив, що важливість визначається в результаті оцінки експертом, в скільки разів одна альтернатива важливіша за іншу за цим критерієм.

Для вибору пріоритетного напрямку проектування ПЛ є безліч альтернатив вирішення проблеми:

$$A = \{a_i\}_{i=1}^n \quad (2.1)$$

і безліч критеріїв для оцінки корисності альтернатив:

$$Q = \{q_j\}_{j=1}^m, \quad (2.2)$$

Спочатку послідовно розглядаються і обчислюються важливості критеріїв

$$w_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} \quad q_j, j = 1, \dots, m. \quad (2.3)$$

Потім кожній альтернативі a_i ОНР виставляють оцінки x_{ij} по усій безлічі критеріїв (2.2). Оцінки виставляються безпосередньо в балах або в долях важливості. Результати представляються як таблиця рішень (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Таблиця рішень

	a_1	a_2	...	a_n
q_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
...	...	...	...	...
q_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

Для кожного вектора оцінок $\bar{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ обчислюється модель вибору функції мети, і перспективною є та альтернатива, для якої функція мети має значення наближене до оптимального. Для ПЛ функцією мети є мінімум дисконтованих витрат.

На рисунку 2.1 представлено схему процедури ухвалення рішення.

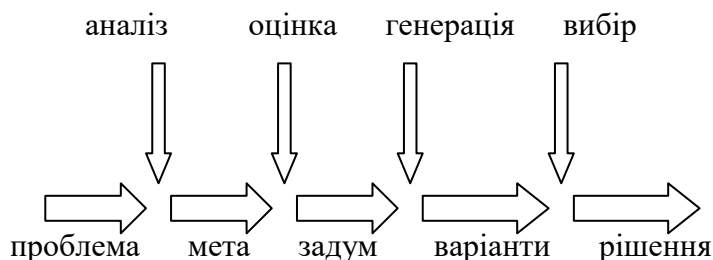


Рисунок 2.1 – Схема процедури ухвалення рішення

Горизонтальні стрілки на рис. 2.1 характеризують елементи циклу ухвалення рішення, вертикальні - дії ОНР. Така схема є реалізацією процесу ухвалення рішення, як раціональної процедури, при якій вибір є останнім етапом.

Схема процесу ухвалення рішення у рамках цієї моделі (рис.2.1) може бути представлена і як процедура відрядкового заповнення ОПР таблиці порівнянь, рядки і стовпці якої мають назви альтернатив вибору пріоритетного напрямку (табл. 2.1). Від ОПР вимагається по рядках таблиці, починаючи з першого, послідовно порівнювати важливість альтернативи a_1 з $a_2, a_3, \dots, a_n$; далі - a_2 з $a_3, a_4, \dots, a_n$ і так до a_{n-1} . Результати порівнянь y_{ij} преставляються у відповідні клітини таблиці порівнянь (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Таблиця порівнянь.

	a_1	a_2	$\dots$	a_n
a_1	y_{11}	y_{12}	$\dots$	y_{1n}
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
a_n	y_{n1}	y_{n2}	$\dots$	y_{nn}

Як правило, значення елементів порівнянь визначаються, як точки на шкалі:

$$y_{ij} = 1, \text{ якщо } a_i \succ a_j, y_{ij} = 0, \text{ якщо } a_i \prec a_j \text{ і } y_{ij} = 0,5, \text{ якщо } a_i \approx a_j. \quad (2.4)$$

Важливість об'єктів, які порівнюються, (спочатку критеріїв, а потім відповідно альтернатив) обчислюються таким чином:

$$w_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m y_{ij}} \quad (2.5)$$

$$w_i' = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^m w_k} \quad i, j \in [1.m] \quad (2.6)$$

Вичислені відповідно до співвідношення (2.6) значення важливості w_i' є оцінками альтернатив a_i за критерієм $q_j : w_i' \rightarrow x_{ij}, i = 1, \dots, n$.

Отримані відповідно до (2.6) значення представляють відповідний рядок табл. 2.1. Після проведення серії з m порівнянь (по числу критеріїв) для кожної альтернативи із заповненої табл. 2.1 визначаються вектори оцінок $\bar{x}_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})$, які згортаються в скалярну оцінку корисності кожної альтернативи a_i , як зваженої суми

$$y_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot w_j, \quad (2.7)$$

де w_j - значення важливості критерія розраховані відповідно до (2.5 - 2.6).

Оцінки важливості альтернатив x_{ij} по кожному з критеріїв визначаються в серії з m процедур порівнянь, в кожній з яких визначається важливість за критерієм q_j відповідно до співвідношень (2.4 - 2.6).

Потім значення m - число критеріїв, замінюється на n - число альтернатив [58].

Альтернативи ранжируються по зниженню важливості w_i , які визначаються як:

$$w_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}, \quad (2.8)$$

де важливість нормується, як

$$w_i' = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^n w_k}. \quad (2.9)$$

Кращою вважається альтернатива з найбільшою важливістю (2.9).

2.3. Аналіз перспективних альтернатив при виборі пріоритетного напрямку проектування повітряних ліній змінного струму

В енергосистемах Росії і Молдови, що межують з енергосистемами України, успішно експлуатуються КПЛ [4] і КСПЛ [5]. Беручи до уваги досвід паралельно працюючих енергосистем при розробці передпроектного техніко-економічного обґрунтування доцільно виконувати порівняльний аналіз цих ПЛ з традиційними ПЛ, які масово використовуються в енергосистемах України [6]. Таким чином, при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ є три перспективні альтернативи: традиційні ПЛ, КПЛ, КСПЛ.

2.3.1. Визначення межі зони електромагнітного впливу при аналізі альтернативних варіантів повітряних ліній змінного струму

Для аналізу альтернативних варіантів методом Т Сааті ці данні не усереднюються, що дозволяє більш точно визначити ширину території для ПЛ відповідної конструкції у своєму класі напруги. В таблицях 2.3. – 2.7. представлено дані для розрахунку території під ПЛ.

Таблиця 2.3. Результати розрахунку межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується для одноланцюгової традиційної ПЛ 750 кВ

Габарит H , м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м
10	38	0,985	56	0,458
12	40	0,984	58	0,498
14	42	0,989	62	0,482
16	44	0,998	64	0,497
20	46	0,988	68	0,492
30	50	0,987	76	0,487
40	50	0,970	78	0,499

Таблиця 2.4. Результати розрахунку межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується для одноланцюгової традиційної ПЛ 330 кВ

Габарит H , м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м
8	18	0,992	28	0,499
10	20	0,957	30	0,456
12	22	0,902	32	0,445
14	22	0,903	32	0,483
16	22	0,949	34	0,457
20	22	0,942	34	0,492
24	22	0,940	36	0,464

Таблиця 2.5. Результати розрахунку межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується для дволанцюгової традиційної ПЛ 330 кВ

Габарит H , м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м
8	18	0,974	26	0,498
10	20	0,957	28	0,463
12	22	0,982	30	0,499
14	24	0,996	34	0,477
16	26	0,991	38	0,451
20	30	0,960	42	0,492
24	32	0,998	48	0,476

Таблиця 2.6. Результати розрахунку межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується для КПЛ 330 кВ

Габарит H , м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м
8	18	0,974	24	0,498
10	20	0,992	28	0,463
12	22	0,998	30	0,499
14	24	0,996	34	0,477
16	26	0,991	36	0,497
20	28	0,999	42	0,499
24	30	0,998	46	0,499

Таблиця 2.7. Результати розрахунку межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується для КСПЛ 330 кВ

Габарит H , м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м	Відстань L_3 , м	E , кВ/м
8	14	0,914	20	0,437
10	16	0,846	22	0,450
12	16	0,957	24	0,494
14	18	0,864	26	0,445
16	18	0,927	28	0,439
20	18	0,984	30	0,471
24	18	0,952	32	0,496

2.3.2 Розрахунок території з урахуванням санітарно-захисної зони альтернативних варіантів повітряних ліній змінного струму.

Розміри території під ПЛ електропередачі залежать від конструкції ПЛ і ширини охоронної та санітарно-захисної зон. Як правило, в охоронній та санітарно-захисній зоні ПЛ змінного струму забороняється постійне перебування людей. В усіх випадках ця територія не залишається у власності енергокомпаній, але вони залишають за собою право вільного доступу до ПЛ для її огляду і ремонту. Ширина території ($Ш_T$) необхідної для ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони складає [7]

$$Ш_T = (2D + a) + 2 L_3, \quad (2.10)$$

де D – відстань між центрами фаз ПЛ, м;

a – відстань між проводами в фазі (шаг розщеплення фази), см;

$L_3 = f(H)$ – відстань від проекції на землю крайнього проводу фази до межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ відповідає нормуємому значенню, в напрямку перпендикулярному до ПЛ змінного струму (табл. 2.4 – 2.7), м. Ширину території ($Ш_T$) необхідної для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням санітарно-захисної зони представлено в таблицях 2.8 – 2.12.

Таблиця 2.8. Ширина території для одного прольоту одноланцюгової традиційної ПЛ 750 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H , м	$Ш_T$, на якій $E \geq 1$ кВ/м, м	$Ш_T$, на якій $E \geq 0,5$ кВ/м, м
10	115	151
12	119	155
14	121	163
16	127	167
18	127	171
20	131	175
24	135	185
30	139	191
40	139	195

Таблиця 2.9. Ширина території для одного прольоту одноланцюгової традиційної ПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H , м	$Ш_T$, на якій $E \geq 1$ кВ/м, м	$Ш_T$, на якій $E \geq 0,5$ кВ/м, м
8	54	74
10	58	78
12	62	90
14	62	90
16	66	86
20	66	86
24	70	90

Таблиця 2.10. Ширина території для одного прольоту дволанцюгової традиційної ПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H , м	$Ш_T$, на якій $E \geq 1$ кВ/м, м	$Ш_T$, на якій $E \geq 0,5$ кВ/м, м
8	54	70
10	58	74
12	62	78
14	66	86
16	70	56
20	78	102
24	82	114

Таблиця 2.11. Ширина території для одного прольоту дволанцюгової КПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H , м	$Ш_T$, на якій $E \geq 1 \text{ кВ/м}$, м	$Ш_T$, на якій $E \geq 0,5 \text{ кВ/м}$, м
8	48	60
10	52	68
12	54	72
14	60	80
16	64	84
20	68	96
24	72	104

Таблиця 2.12. Ширина території для одного прольоту КСПЛ 330 кВ з урахуванням санітарно-захисної зони

Габарит H , м	$Ш_T$, на якій $E \geq 1 \text{ кВ/м}$, м	$Ш_T$, на якій $E \geq 0,5 \text{ кВ/м}$, м
8	40	52
10	46	56
12	44	60
14	48	64
16	48	68
20	48	72
24	48	76

А так, як ПЛ змінного струму є протяжним об'єктом, то при визначенні площі для відводу територій (S_T) під цей об'єкт враховано його довжину. Таким чином, згідно з [7] S_T під ПЛ змінного струму з урахуванням санітарно-захисної зони складає:

$$S_T = ((2D + a) + 2 L_3)L = Ш_T \cdot L, \quad (2.11)$$

де D – відстань між центрами фаз ПЛ, м;

a – відстань між проводами в фазі, см;

L_3 – відстань від проекції на землю крайнього проводу фази до межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ дорівнює значенню, яке нормується, м;

L – довжина ПЛ змінного струму, км.

Розрахунки доводять, що напруженість ЕП ПЛ змінюється в залежності від габариту ПЛ, а це дозволяє при передпроектному аналізі альтернативних варіантів врахувати граничну зміну стріли провису проводу і більш точно визначити межу охоронної і санітарно-захисної зон, що впливають на техніко-економічні показники об'єкту. На рис. 2.2 представлено зображення зони ПЛ 330 - 750 кВ, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується.

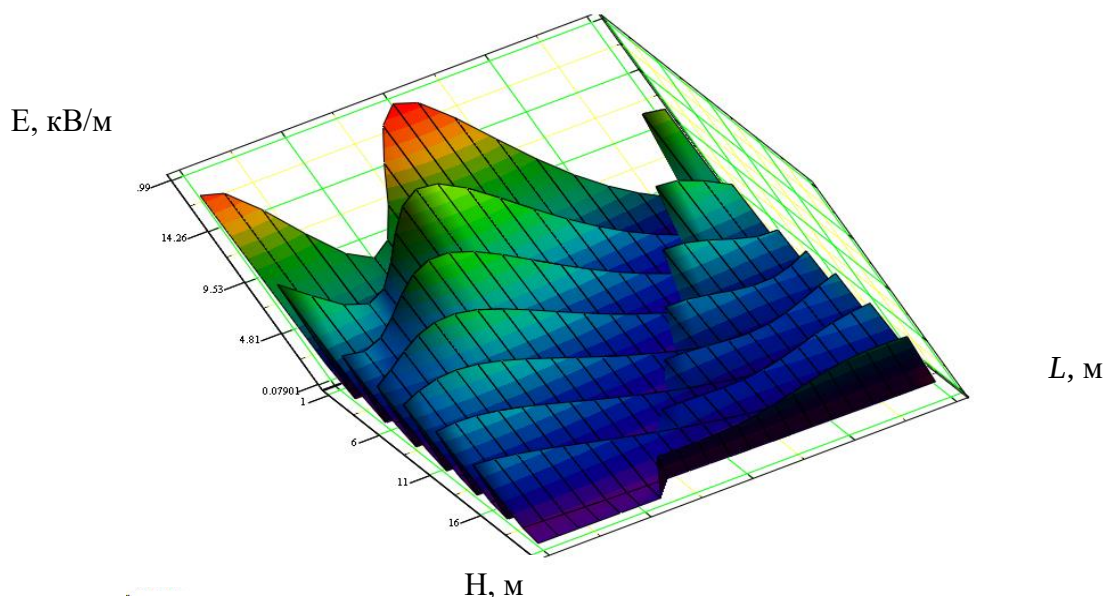


Рисунок 2.2 – Зображення зони, в якій напруженість ЕП ПЛ перевищує значення, яке нормується для ПЛ 330 - 750 кВ

Таким чином, спираючись на отримані розрахунки, площа відводу необхідної території під ПЛ змінного струму з урахуванням санітарно-захисної зони буде складати:

$$S_T = ((2D + a) + 2 L_3)L = III_T \cdot L, \quad (2.12)$$

де D – відстань між центрами фаз ПЛ, м;

a – відстань між проводами в фазі, см;

$L_3 = f(H)$ – відстань від проекції на землю крайнього проводу фази до межі зони, в якій напруженість ЕП ПЛ дорівнює нормуємому значенню (табл.2.4-2.7)

III_T – ширина території необхідної для ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони (табл. 2.8 – 2.12 і рис. 2.2), м;

L – довжина ПЛ змінного струму, км, яка складається з суми довжин зони з відповідним значенням напруженості ЕП ПЛ і визначається як

$$L = \sum_0^n l_i, \quad (2.13)$$

де l_i – довжина зони з відповідним значенням напруженості ЕП ПЛ, м.

Відповідно до розрахунків (ф. 2.12) площа земельної ділянки під ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони має еквіпотенціальну форму. На рисунку 2.3 представлено конфігурацію території з урахуванням санітарно-захисної зони для ПЛ змінного струму.

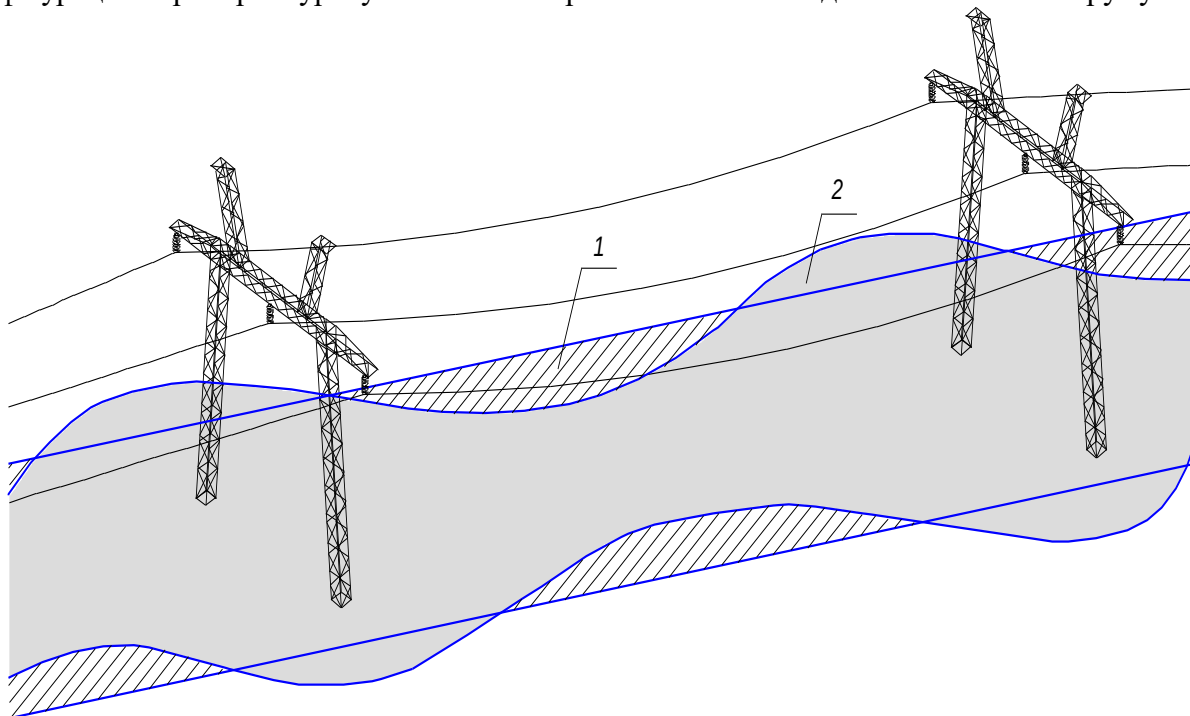


Рисунок 2.3 – Конфігурація території з урахуванням санітарно-захисної зони для ПЛ змінного струму

1 – нормуєма територія для ПЛ з урахуванням с-з зони

2 – розрахована територія для ПЛ з урахуванням с-з зони

Площа території з урахуванням санітарно-захисної зони для одного прольоту ПЛ (рис. 2.3) визначено у відповідності з методикою розрахунку еквіпотенціальної поверхні [8]:

$$S = \int_0^a f(ax^2 + bx + \gamma)dx, \quad (2.14)$$

де a – довжина прольоту ПЛ, м;

a, b, γ – точки на еквіпотенціальній поверхні, визначаються як

$$\begin{aligned}
d'_a &= 2\left(\alpha \frac{a^2}{4} + b \frac{a}{2} + \gamma - y_2\right) \cdot \frac{a^2}{4} + 2(\alpha a^2 + ba + \gamma)a^2; \\
d'_b &= 2\left(\alpha \frac{a^2}{4} + b \frac{a}{2} + \gamma - y_2\right) \cdot \frac{a}{2} + 2(\alpha a^2 + ba + \gamma)a; \\
d'_\gamma &= 2\gamma + 2\left(\alpha \frac{a^2}{4} + b \frac{a}{2} + \gamma - y_2\right) + 2(\alpha a^2 + ba + \gamma)
\end{aligned}
\tag{2.15}$$

Результати розрахунків S_T для одного прольоту ПЛ змінного струму різної конструкції з урахуванням санітарно-захисної зони, згідно ф. 2.12 – 2.15 представлено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13. Площа території для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням санітарно-захисної зони

Конструкція і клас напруги ПЛ	Довжина прольоту ПЛ, м	S_T для одного прольоту ПЛ, м ²
Традиційна одноланцюгова ПЛ 750 кВ	500	58830
Традиційна одноланцюгова ПЛ 330 кВ	350	19530
Традиційна дволанцюгова ПЛ 330 кВ	350	19990
Дволанцюгова КПЛ 330 кВ	350	17730
КСПЛ 330 кВ	350	11820

А так як, на сьогоднішній день, в нормативній документації ширина охоронних та санітарно-захисних зон умовно відкреслюється прямими лініями, то згідно з ф. 2.11 площа території необхідної для одного прольоту ПЛ 750 кВ (провід 5хАС-400/51, відстань між проводами в фазі 60 см, відстань між центрами фаз 19,5 м) довжиною 500 м буде складати 59800 м², а для одного прольоту ПЛ 330 кВ (провід 2хАС-400/51, відстань між проводами в фазі 50 см, відстань між центрами фаз 9 м) довжиною 350 м буде складати 20475 м².

Як видно з таблиці 2.13, розміри території необхідної для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги відрізняється від розмірів території необхідної для одного прольоту ПЛ з прямолінійною формою санітарно-захисної зони.

В таблиці 2.14 показано економію розмірів земельної ділянки необхідної для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням санітарно-захисної зони.

Таблиця 2.14. Економія розмірів земельної ділянки необхідної для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням санітарно-захисної зони

Конструкція і клас напруги ПЛ	Довжина прольоту ПЛ, м	S_T для одного прольоту ПЛ, м ²
Традиційна одноланцюгова ПЛ 750 кВ	500	970
Традиційна одноланцюгова ПЛ 330 кВ	350	945
Традиційна дволанцюгова ПЛ 330 кВ	350	485
Дволанцюгова КПЛ 330 кВ	350	2745
КСПЛ 330 кВ	350	8655

Таким чином, при формуванні перспективних альтернатив, доцільно звернути увагу і на цей факт (табл.2.14).

2.3.3 Визначення вартості території для альтернативних варіантів повітряних ліній змінного струму

Розрахунки р. 2.3.2 науково обґрунтовують необхідні розміри території під ПЛ з урахуванням санітарно-захисної зони. Визначення вартості цієї території дозволить сформулювати перспективні альтернативні варіанти при виборі оптимального напрямку реконструкції та проектування ПЛ з позиції економічної ефективності.

Вартість землі в середньому по Україні становить 0,16025 дол/м². Тоді вартість земельної ділянки для одного прольоту ПЛ 750кВ, санітарно-захисна зона якої відповідає нормативним документам, тобто має прямолінійну форму, буде становити 76664 грн/м², а вартість землі для одного прольоту ПЛ 330 кВ - 26250 грн/м².

Використовуючи розрахунки р. 2.3.2, вартість території для одного прольоту ПЛ різної конструкції з урахуванням санітарно-захисної зони представлено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15. Вартість території необхідної для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням санітарно-захисної зони

Конструкція і клас напруги ПЛ	Довжина прольоту ПЛ, м	Вартість одного прольоту ПЛ, грн/м ²
Традиційна одноланцюгова ПЛ 750 кВ	500	75420
Традиційна одноланцюгова ПЛ 330 кВ	350	25040
Традиційна дволанцюгова ПЛ 330 кВ	350	25620
Дволанцюгова КПЛ 330 кВ	350	22730
КСПЛ 330 кВ	350	15150

Відповідно до проведених розрахунків, економію коштів на вартості території для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням еквівалентної форми санітарно-захисної зони в порівнянні з прямолінійною, яка відповідає нормативним документам, представлено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16. Економія коштів на вартості території необхідної для одного прольоту ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням санітарно-захисної зони

Конструкція і клас напруги ПЛ	Довжина прольоту ПЛ, м	Економія коштів на вартості одного прольоту ПЛ, грн/м ²
Традиційна одноланцюгова ПЛ 750 кВ	500	1244
Традиційна одноланцюгова ПЛ 330 кВ	350	1210
Традиційна дволанцюгова ПЛ 330 кВ	350	630
Дволанцюгова КПЛ 330 кВ	350	3520
КСПЛ 330 кВ	350	11100

Як видно з табл. 2.15 – 2.16, при виборі пріоритетного напрямку реконструкції та проектування ПЛ вартість території може мати одне з вирішальних значень.

Таким чином, результати розрахунку розмірів і вартості території з урахуванням санітарно-захисної зони дозволили визначити перспективні альтернативи з позиції економічної ефективності.

2.4. Визначення техніко-економічних показників в альтернативних варіантах повітряних ліній змінного струму

2.4.1. Визначення інвестиційної складової в техніко-економічних моделях альтернативних варіантів повітряних ліній змінного струму

В техніко-економічну модель ПЛ в умовах ринкових відносин входить інвестиційна (B_1) і технічна складова (B_2). Існуючі ринкові відносини в Україні обумовлюють платне користування землею, тому при розрахунку інвестиційних вкладень (B_1) в ПЛ враховано вартість території по якій проходить ПЛ [9]. Згідно з діючими нормативними документами України [10 - 12] при побудові техніко-економічних моделей ПЛ змінного струму в умовах ринкових відносин прийнято ширину території для 1 км ПЛ відповідного класу напруги, такою, яку необхідно для обслуговування електромережевого об'єкту за умов дотримання правил безпеки.

При розрахунках B_1 в 1 км традиційних ПЛ різних класів напруги в умовах ринкових відносин взято до уваги варіанти виконання ПЛ перерізи проводів яких відповідають ПУЕ. Повна вартість 1 км ПЛ розрахована з урахуванням коефіцієнта інфляції на кінець року і резерва на непередбачені витрати.

При проведенні розрахунків B_1 в 1 км КПЛ різних класів напруги враховано принцип створення КПЛ, який заснований на оптимізації конструкції фаз ПЛ.

КСПЛ конструктивно представляє дволанцюгову або багатоланцюгову ПЛ, тому для коректної оцінки КСПЛ потрібно порівнювати з лініями таких конструкцій. На сьогоднішній

день масово в енергосистемах використовуються дволанцюгові ПЛ. Враховуючи це проведено порівняння КСПЛ з дволанцюговими ПЛ інших конструкцій.

Інвестиційні вкладення в 1 км ПЛ різного конструктивного виконня у відповідному класі напруги представлено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17. Інвестиційні вкладення в 1 км ПЛ 110 – 750 кВ, тис. дол.

Тип ПЛ	U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Інвестиційні вкладення
1	2	3	4	5
Сталеві опори				
Традиційна ПЛ	110	120	1	70,93
			2	104,40
		240	1	78,38
			2	117,15
	330	2x300	1	131,46
			2	201,73
		2x400	1	146,70
			2	234,73
750	5x300	1	367,29	
	5x400	1	396,21	
Залізобетонні опори				
1	2	3	4	5
Традиційна ПЛ	110	120	1	58,53
			2	76,20
		240	1	64,74
			2	108,10
	330	2x300	1	124,37
		2x400	1	132,36
Сталеві опори				
КПЛ	110	120	1	70,45
			2	104,01
		240	1	77,98
			2	116,75
	330	2x300	1	130,6
			2	200,1
		2x400	1	145,8
			2	233,95
	750	5x300	1	366,5
		5x400	1	395,4
Залізобетонні опори				
КПЛ	110	120	1	58,13
			2	76,77
		240	1	64,34
			2	107,73
	330	2x300	1	123,5
		2x400	1	131,61
Сталеві опори				
КСПЛ	110	120	2	103,24
		240	2	115,96
	330	2x300	2	199,37
		2x400	2	233,1
Залізобетонні опори				
КСПЛ	110	120	2	76,0
		240	2	106,9

Як видно з таблиці 2.17, інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ являються майже рівнозначними з інвестиційними вкладеннями в традиційні ПЛ. А інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ мають менші значення в порівнянні з інвестиційними вкладеннями в дволанцюгові традиційні ПЛ і КПЛ.

2.4.2. Визначення технічної складової в математичних моделях альтернативних варіантів повітряних ліній змінного струму

Оскільки мова йде про електроенергетичний об'єкт, тому при аналізі перспективних альтернатив першочергове значення мають його технічні аспекти. Як відомо, у відповідному класі напруги можливо передати певний діапазон потужності (*min-max*) від якого залежать технічні показники ПЛ. В таблиці 2.18 представлено діапазон потужності, яка передається традиційними ПЛ у відповідному до класі напруги [6].

Таблиця 2.18. Діапазон потужності, яка передається традиційними ПЛ змінного струму

Номинальна напруга, кВ	Діапазон потужності <i>min - max</i> , МВт
110	25 – 50
330	300 – 400
750	1800 – 2200

КПЛ дозволяє підвищити пропускну здатність за інших рівних умов на 25-35% в порівнянні з традиційною ПЛ. А КСПЛ підвищує пропускну здатність за інших рівних умов на 20 - 40% в порівнянні з традиційними ПЛ. Це було враховано при розрахунку B_2 техніко-економічної моделі ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги при передачі певної потужності. Значення B_2 в 1 км ПЛ змінного струму відповідного класу напруги з урахуванням діапазону потужності, яка передається, представлено в таблицях 2.19 - 2.20.

Таблиця 2.19. Значення технічної складової техніко-економічних моделей 1 км ПЛ 110–750 кВ при транспортуванні потужності $P_{min} \leq P_{\pi} < 0,5(P_{max} + P_{min})$, тис.дол/кВт

Тип ПЛ	U,кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	B₂
Сталеві опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	10,28
		240	2	5,02
	330	2x300	2	51,90
		2x400	2	39,68
	750	5x300	1	104,49
		5x400	1	78,57
Залізобетонні опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	10,28
		240	2	5,02
Сталеві опори				
КПЛ	110	120	2	16,36
		240	2	7,86
	330	2x300	2	68,56
		2x400	2	52,80
	750	5x300	1	132,03
		5x400	1	98,42
Залізобетонні опори				
КПЛ	110	120	2	16,36
		240	2	7,86
Сталеві опори				
КСПЛ	110	120	2	7,49
		240	2	3,61
	330	2x300	2	32,48
		2x400	2	24,98
Залізобетонні опори				
КСПЛ	110	120	2	7,49
		240	2	3,61

Таблиця 2.20. Значення технічної складової техніко-економічних моделей 1 км ПЛ 110 – 750кВ при транспортуванні потужності $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{п} \leq P_{max}$, тис.дол/кВт

Тип ПЛ	U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	B ₂
Сталеві опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	41,63
		240	2	20,08
	330	2x300	2	75,0
		2x400	2	57,82
	750	5x300	1	128,63
		5x400	1	96,03
Залізобетонні опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	41,63
		240	2	20,08
Сталеві опори				
КПЛ	110	120	2	75,97
		240	2	36,53
	330	2x300	2	118,5
		2x400	2	91,8
	750	5x300	1	188,85
		5x400	1	138,99
Залізобетонні опори				
КПЛ	110	120	2	75,97
		240	2	36,53
Сталеві опори				
КСПЛ	110	120	2	40,82
		240	2	19,68
	330	2x300	2	62,63
		2x400	2	48,71
Залізобетонні опори				
КСПЛ	110	120	2	40,82
		240	2	19,68

В таблицях 2.21 – 2.22 представлено результати розрахунку дисконтованих витрат (В) 1 км ПЛ різної конструкції у відповідному класі напруги з урахуванням діапазону потужності, що передається.

Таблиця 2.21. Дисконтовані витрати в 1 км ПЛ різної конструкції відповідного класу напруги при транспортуванні потужності $P_{min} \leq P_{п} < 0,5 (P_{max} + P_{min})$

Тип ПЛ	U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	В
Сталеві опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	114,68
		240	2	122,17
	330	2x300	2	253,63
		2x400	2	274,41
	750	5x300	1	471,78
		5x400	1	474,78
Залізобетонні опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	86,48
		240	2	113,12
Сталеві опори				
КПЛ	110	120	2	120,37
		240	2	124,61
	330	2x300	2	268,66
		2x400	2	286,75
	750	5x300	1	498,32
		5x400	1	493,82
Залізобетонні опори				
КПЛ	110	120	2	93,13
		240	2	115,59
Сталеві опори				
КСПЛ	110	120	2	110,73
		240	2	119,57
	330	2x300	2	231,85
		2x400	2	258,08
Залізобетонні опори				
КСПЛ	110	120	2	83,49
		240	2	110,5

Таблиця 2.22. Дисконтовані витрати в 1 км ПЛ різної конструкції відповідного класу напруги при транспортуванні потужності $0,5 (P_{max} + P_{min}) < P_{п} \leq P_{max}$

Тип ПЛ	U,кВ	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	В
Сталеві опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	146,03
		240	2	137,23
	330	2х300	2	276,73
		2х400	2	292,55
	750	5х300	1	495,92
		5х400	1	492,24
Залізобетонні опори				
Традиційна ПЛ	110	120	2	117,83
		240	2	128,18
Сталеві опори				
КПЛ	110	120	2	179,98
		240	2	153,28
	330	2х300	2	318,60
		2х400	2	325,75
	750	5х300	1	555,14
		5х400	1	534,39
Залізобетонні опори				
КПЛ	110	120	2	152,74
		240	2	144,26
Сталеві опори				
КСПЛ	110	120	2	144,06
		240	2	135,64
	330	2х300	2	262,0
		2х400	2	281,81
Залізобетонні опори				
КСПЛ	110	120	2	116,82
		240	2	125,58

Як видно з таблиць 2.21 – 2.22, дисконтовані витрати залежать від величини потужності, яку потрібно передати. Тому вибір перспективного варіанту потрібно проводити з урахуванням діапазону потужності, яка передається ПЛ різної конструкції відповідного класу напруги.

2.5. Обґрунтування вибору пріоритетного напрямку сучасних проектування повітряних ліній змінного струму

2.5.1. Вибір перспективного варіанту при ухваленні пріоритетного напрямку проектування ПЛ змінного струму

Як зазначалось раніше, одним із головних технічних чинників в перспективних альтернативах є пропускна здатність ПЛ, а також технологічні втрати потужності під час її транспортування, які залежать від перерізу проводу і потужності, що передається. А для ПЛ 330 кВ і вище обов'язково враховують і втрати на корону.

При формуванні перспективних альтернатив також взято до уваги відносні витрати на одиницю потужності, яка передається. Враховуючи, що КСПЛ конструктивно представляє дволанцюгову або багатоланцюгову ПЛ, порівняльний аналіз проведено між лініями таких конструкцій [4 - 6].

У відповідності з вищевикладеним, проведено порівняльний аналіз перспективних альтернатив з урахуванням діапазону потужності ($P_{п}$), яка передається, що дозволяє визначити перспективний варіант проектування ПЛ у відповідному класі напруги.

Результати порівняльного аналізу перспективних альтернатив представлено в таблицях 2.23 – 2.28.

Таблиця 2.23. Порівняння альтернатив напругою 110 кВ при передачі $P_{min} \leq P_{п} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Номер альтернативи	Пропускна здатність відн. од.	Відносні витрати на одиницю переданої потужності, відн. од.		Технологічні втрати на транспортування електричної енергії, відн. од.		Конструкція
		120 мм ²	240 мм ²	120 мм ²	240 мм ²	
1	1	3,5	3,93	0,05	0,025	Традиційна ПЛ
2	1,25	2,78	3,11	0,06	0,03	КПЛ
3	1,20	2,88	3,23	0,06	0,029	КСПЛ

Таблиця 2.24. Порівняння альтернатив напругою 110 кВ при передачі $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{п} \leq P_{max}$

Номер альтернативи	Пропускна здатність відн. од.	Відносні витрати на одиницю переданої потужності, відн. од.		Технологічні втрати на транспортування електричної енергії, відн. од.		Конструкція
		120 мм ²	240 мм ²	120 мм ²	240 мм ²	
1	1	1,75	1,97	0,1	0,05	Традиційна ПЛ
2	1,35	1,29	1,45	0,13	0,067	КПЛ
3	1,40	1,23	1,38	0,14	0,069	КСПЛ

Таблиця 2.25. Порівняння альтернатив напругою 330 кВ при передачі $P_{min} \leq P_{п} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Номер альтернативи	Пропускна здатність відн. од.	Відносні витрати на одиницю переданої потужності, відн. од.		Технологічні втрати на транспортування електричної енергії, відн. од.		Конструкція
		2х300 мм ²	2х400 мм ²	2х300 мм ²	2х400 мм ²	
1	1	0,56	0,65	0,023	0,017	Традиційна ПЛ
2	1,25	0,44	0,52	0,02	0,019	КПЛ
3	1,20	0,45	0,54	0,02	0,019	КСПЛ

Таблиця 2.26. Порівняння альтернатив напругою 330 кВ при передачі $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{п} \leq P_{max}$

Номер альтернативи	Пропускна здатність відн. од.	Відносні витрати на одиницю переданої потужності, відн. од.		Технологічні втрати на транспортування електричної енергії, відн. од.		Конструкція
		2х300 мм ²	2х400 мм ²	2х300 мм ²	2х400 мм ²	
1	1	0,42	0,49	0,03	0,019	Традиційна ПЛ
2	1,35	0,31	0,36	0,029	0,022	КПЛ
3	1,40	0,3	0,34	0,029	0,023	КСПЛ

Таблиця 2.27. Порівняння альтернатив напругою 750 кВ при передачі $P_{min} \leq P_{п} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Номер альтернативи	Пропускна здатність відн. од.	Відносні витрати на одиницю переданої потужності, відн. од.		Технологічні втрати на транспортування електричної енергії, відн. од.		Конструкція
		5х300 мм ²	5х400 мм ²	5х300 мм ²	5х400 мм ²	
1	1	0,16	0,18	0,014	0,02	Традиційна ПЛ
2	1,25	0,13	0,15	0,014	0,011	КПЛ

Таблиця 2.28. Порівняння альтернатив напругою 750 кВ при передачі $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{п} \leq P_{max}$

Номер альтернативи	Пропускна здатність відн. од.	Відносні витрати на одиницю переданої потужності, відн. од.		Технологічні втрати на транспортування електричної енергії, відн. од.		Конструкція
		5х300 мм ²	5х400 мм ²	5х300 мм ²	5х400 мм ²	
1	1	0,14	0,15	0,014	0,011	Традиційна ПЛ
2	1,35	0,10	0,11	0,016	0,012	КПЛ

В таблицях 2.23 – 2.28 жирним шрифтом відмічено кращу альтернативу, яка є перспективним варіантом ПЛ 110-750 кВ.

Для остаточного вибору перспективного варіанту проектування ПЛ 110-750 кВ використано розробки р.2. Результати визначення перспективного варіанту проектування ПЛ представлено в таблицях 2.29 – 2.34.

110 кВ	Традиційна ПЛ	$\pi'_1 = 0,80, \pi'_2 = 0,20$
	КПЛ	$\pi'_1 = 0,81, \pi'_2 = 0,19$
	КСПЛ	$\pi'_1 = 0,75, \pi'_2 = 0,25$

Таблиця 2.29. Співвідношення складових в розробленій техніко-економічній моделі ПЛ 110кВ різної конструкції при передачі $P_{min} \leq P_{II} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Альтернатива	Тип опор	Кількість ланцюгів/ переріз проводу	π_1	π_2	Конструкція
1	Сталева	2/120	0,91	0,09	Традиційна ПЛ
	з/б	2/120	0,88	0,12	
2	Сталева	2/120	0,86	0,14	КПЛ
	з/б	2/120	0,82	0,18	
3	Сталева	2/120	0,93	0,07	КСПЛ
	з/б	2/120	0,91	0,09	
1	Сталева	2/240	0,95	0,05	Традиційна ПЛ
	з/б	2/240	0,95	0,05	
2	Сталева	2/240	0,93	0,07	КПЛ
	з/б	2/240	0,93	0,07	
3	Сталева	2/240	0,96	0,04	КСПЛ
	з/б	2/240	0,97	0,03	

Таблиця 2.30. Співвідношення складових в розробленій техніко-економічній моделі ПЛ 110кВ різної конструкції при передачі $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{II} \leq P_{max}$

Альтернатива	Тип опор	Кількість ланцюгів/ переріз проводу	π_1	π_2	Конструкція
1	Сталева	2/120	0,72	0,28	Традиційна ПЛ
	з/б	2/120	0,65	0,35	
2	Сталева	2/120	0,58	0,42	КПЛ
	з/б	2/120	0,5	0,5	
3	Сталева	2/120	0,72	0,28	КСПЛ
	з/б	2/120	0,65	0,35	
1	Сталева	2/240	0,85	0,15	Традиційна ПЛ
	з/б	2/240	0,84	0,16	
2	Сталева	2/240	0,76	0,24	КПЛ
	з/б	2/240	0,75	0,25	
3	Сталева	2/240	0,85	0,15	КСПЛ
	з/б	2/240	0,85	0,15	

330 кВ	Традиційна ПЛ		$\pi_1'' = 0,73, \pi_2'' = 0,27$		
	КПЛ		$\pi_1'' = 0,72, \pi_2'' = 0,28$		
	КСПЛ		$\pi_1'' = 0,65, \pi_2'' = 0,35$		

Таблиця 2.31. Співвідношення складових в розробленій техніко-економічній моделі ПЛ 330кВ різної конструкції при передачі $P_{min} \leq P_{II} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Альтернатива	Тип опор	Кількість ланцюгів/ переріз проводу	π_1	π_2	Конструкція
1	Сталева	2/5х300	0,79	0,21	Традиційна ПЛ
2	Сталева	2/5х300	0,74	0,26	КПЛ
3	Сталева	2/5х300	0,85	0,15	КСПЛ
1	Сталева	2/5х400	0,86	0,14	Традиційна ПЛ
2	Сталева	2/5х400	0,81	0,19	КПЛ
3	Сталева	2/5х400	0,9	0,1	КСПЛ

Таблиця 2.32. Співвідношення складових в розробленій техніко-економічній моделі ПЛ 330кВ різної конструкції при передачі $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{II} \leq P_{max}$

Альтернатива	Тип опор	Кількість ланцюгів/ переріз проводу	π_1	π_2	Конструкція
1	Сталева	2/5х300	0,73	0,27	Традиційна ПЛ
2	Сталева	2/5х300	0,63	0,37	КПЛ
3	Сталева	2/5х300	0,76	0,24	КСПЛ
1	Сталева	2/5х400	0,8	0,2	Традиційна ПЛ
2	Сталева	2/5х400	0,72	0,28	КПЛ
3	Сталева	2/5х400	0,83	0,17	КСПЛ
750 кВ	Традиційна ПЛ		$\pi_1''' = 0,79, \pi_2''' = 0,21$		
	КПЛ		$\pi_1''' = 0,79, \pi_2''' = 0,21$		

Таблиця 2.33. Співвідношення складових в розробленій техніко-економічній моделі ПЛ 750кВ різної конструкції при передачі $P_{min} \leq P_{\pi} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Альтернатива	Тип опор	Кількість ланцюгів/ переріз проводу	π_1	π_2	Конструкція
1	Сталева	1/5х300	0,78	0,22	Традиційна ПЛ
2	Сталева	1/5х300	0,74	0,26	КПЛ
1	Сталева	1/5х400	0,83	0,17	Традиційна ПЛ
2	Сталева	1/5х400	0,8	0,2	КПЛ

Таблиця 2.34. Співвідношення складових в розробленій техніко-економічній моделі ПЛ 750кВ різної конструкції при передачі $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{\pi} \leq P_{max}$

Альтернатива	Тип опор	Кількість ланцюгів/ переріз проводу	π_1	π_2	Конструкція
1	Сталева	1/5х300	0,74	0,26	Традиційна ПЛ
2	Сталева	1/5х300	0,66	0,34	КПЛ
1	Сталева	1/5х400	0,8	0,2	Традиційна ПЛ
2	Сталева	1/5х400	0,74	0,26	КПЛ

В табл. 2.29 – 2.34 жирним шрифтом відмічено альтернативи, які максимально наближені до оптимального варіанту у відповідному класі напруги.

Результати аналізу перспективних альтернатив з урахуванням діапазону потужності (P_{π}), яка передається у відповідному класі напруги, і оптимальних варіантів представлено в таблицях 2.35 і 2.36

Таблиця 2.35. Перспективний варіант проектування ПЛ у відповідному класі напруги при транспортуванні потужності $P_{min} \leq P_{\pi} < 0,5(P_{max} + P_{min})$

Напруга ПЛ	Конструкція ПЛ
110 кВ	КПЛ
330 кВ	КПЛ
750 кВ	КПЛ

Таблиця 2.36. Перспективний варіант проектування ПЛ у відповідному класі напруги при транспортуванні потужності $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{\pi} \leq P_{max}$

Напруга ПЛ	Конструкція ПЛ
110 кВ	КСПЛ
330 кВ	КПЛ
750 кВ	Традиційна ПЛ

Проведені дослідження показали:

- при транспортуванні потужності, величина якої знаходиться в діапазоні $P_{min} \leq P_{\pi} < 0,5(P_{max} + P_{min})$ перспективним варіантом проектування ПЛ являються КПЛ (табл. 2.35);
- при транспортуванні потужності, величина якої знаходиться в діапазоні $0,5(P_{max} + P_{min}) < P_{\pi} \leq P_{max}$ перспективний варіант проектування ПЛ залежить від класу напруги (табл. 2.36).

Список використаних джерел у розділі 2

1. Ларичев О.И. Теории и методы принятия решений. / О.И. Ларичев. – М.:Логос, 2002.– 392с.
2. Беляев И.П. Основы теории принятия решений./ И.П. Беляев. – М.: МГСУ, 2005. – 375 с
3. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. / Т.Л. Саати — М.: Из-во ЛКИ, 2008. — 360 с.
4. Александров Г.Н. Передача электрической энергии переменным током. / Г.Н. Александров – М.: Знак, 1998. – 271 с.
5. Постолатий В.М. Управляемые электропередачи / В.М. Постолатий, Е.В. Быкова // Труды института энергетики АН Молдовы – 2007 – № 8 (23) – 234 с.
6. Барбашов И.В. Общая характеристика современных электрических систем и сетей. Учебно-методическое пособие. / И.В. Барбашов – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2003. – 124 с.
7. Чехов В.И. Экологические аспекты передачи электроэнергии. Учебное пособие. / В.И. Чехов, Г.К. Зарудский. – М.:МЭИ, 1991.– 44 с.
8. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике./ М.Я. Выгодский. – М.:Наука, 2006.– 991с.
9. Бондаренко В.О. Системний підхід передпроектної оцінки повітряних ліній в умовах ринкових відносин. / В.О. Бондаренко, Н.М. Черемісін, В.В. Черкашина. Монографія– Харків: Факт, 2013. – 259 с.
10. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). - К.: Міненерго України, 1995. - 34 с.
11. ГКД 340.000.002-97. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми та електричні мережі.- К.: Міненерго України, 1997.-54с.
12. ДБН В.2.5-16-99. Інженерне обладнання споруд, зовнішніх мереж. Визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж, К.:Держбуд України, 1999.– 24с.

ДОДАТОК А

Блок-схема і розрахунок значень коефіцієнтів апроксимованих виразів інвестиційної складової в техніко-економічних моделях повітряних ліній змінного струму.

Приводяться алгоритм розрахунку і блок-схема апроксимації інвестиційної складової техніко-економічних моделей 1 км ПЛ різної конструкції напругою 110-750 кВ виразом aF^6 .

Апроксимація подібним чином дозволяє представити модель ПЛ у вигляді:

$$Y = \sum_{i=1}^{m_1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \quad (\text{A.1})$$

Як видно з (A.1), функція мети Y не містить постійної складової A_0 , що вигідно відрізняє подібного роду побудовану техніко-економічну модель ПЛ від раніше відомих тим, що до цих моделей застосовано метод критеріального аналізу, який дозволяє апроксимувати всю модель в цілому, а не тільки змінну складову моделі, як це робилося раніше.

Для коректної постановки завдання і аналізу його критеріальним методом представлено модель ПЛ адекватною моделю, яка має вигляд:

$$Y(x) \approx \varphi(x) \quad (\text{A.2})$$

Один з шляхів реалізації (Б.2) полягає в заміні частини моделі апроксимованим виразом з достатньою мірою точності, причому в цю частину моделі повинна увійти постійна складова A_0 . Апроксимацію як окремих складових, так і цілих виразів, що входять у функцію мети необхідно виконувати тільки на множині $D = \{x: x > 0, x_\alpha \leq x_j \leq x_\beta\}$, яка є областю визначення вихідної функції мети $\varphi(x)$.

Алгоритм апроксимації інвестиційної складової техніко-економічних моделей повітряних ліній змінного струму

Як вказувалося раніше, інвестиційну складову техніко-економічних моделей ПЛ змінено апроксимуючим виразом $a_i F^{6_i}$. Значення коефіцієнтів a_i і 6_i визначено рішенням системи рівнянь, отриманих в результаті реалізації методу Гауса:

$$\frac{dR}{dA} = 0, \quad \frac{dR}{d6} = 0 \quad (\text{A.3})$$

чи

$$\begin{cases} (n+1)A + 6 \sum_{i=1}^n F_i - \sum_{i=1}^n Y_i = 0 \\ A \sum_{i=1}^n F_i + 6 \sum_{i=1}^n F_i^2 - \sum_{i=1}^n Y_i F_i = 0 \end{cases} \quad (\text{A.4})$$

де $R = \sum_{i=1}^n (Y_i - A - 6F_i)^2$

$$Y_i = \lg y_i, \quad F_i = \lg 6_i$$

Y_i - інвестиційні вкладення в проектування 1км ПЛ певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор;

F_i - переріз проводу.

З отриманої сукупності коефіцієнтів 6_i було вибрано середнє значення коефіцієнта $\tilde{6}$, яким є:

$$\tilde{6}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 6_i \quad (\text{A.5})$$

У відповідності з (А.5) отримано значення коефіцієнтів $\tilde{\epsilon}$ для варіантів ПЛ певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор було перераховано коефіцієнти a_i таким чином, щоб середня відносна похибка по варіанту була як найменша. Тобто, даний розрахунок було виконано з метою зменшення похибки апроксимації. (табл. А.1)

Таблиця А.1 Середні значення похибки апроксимації інвестиційних вкладень в ПЛ

Вид апроксимації	Середня похибка апроксимації, %		
	110 кВ	330 кВ	750 кВ
$K = a_i F^{\tilde{\epsilon}}$	1,54	2,25	2,0

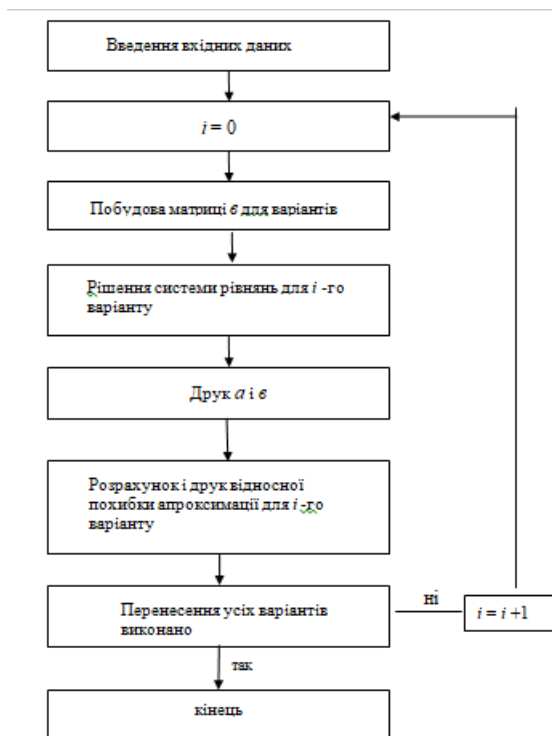


Рисунок А.1 – Блок - схема для автоматизованого розрахунку коефіцієнтів апроксимації та відносної похибки апроксимації.

На рисунку А.1 приведена блок-схема рішення задачі апроксимації розрахунку коефіцієнтів та відносної похибки апроксимації. Розрахунок згідно данної структурної блок – схеми виконувався за допомогою прикладної програми ПЕОМ Mathcad.

В таблицях А.2 – А.6 приведено інвестиційну складову техніко-економічних моделей в проектування 1 км ПЛ певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a_i і ϵ_i .

Таблиця А.2. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 110 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол. / км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\epsilon}$	Коефіцієнти	
					a	ε
110	120	1	70,93	70,88	35,59	0,144
	240	1	78,38	78,41		
	120	2	104,40	104,59	47,18	0,166
	240	2	117,15	116,75		

Таблиця А.3. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 330 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол. / км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\epsilon}$	Коефіцієнти	
					a	ε
330	2х300	1	131,46	131,49	14,96	0,381
	2х400	1	146,70	146,64		
	2х300	2	201,73	201,75	9,98	0,527
	2х400	2	234,73	234,63		

Таблиця А.4. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 750 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол. / км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\epsilon}$	Коефіцієнти	
					a	ε
750	5х300	1	367,29	368,71	81,94	0,263
	5х400	1	396,21	395,44		

Таблиця А.5. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 110 кВ, яку виконано на залізобетонних опорах, тис.дол. / км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^a$	Коефіцієнти	
					a	b
110	120	1	58,53	58,557	29,22	0,145
	240	1	64,74	64,715		
	120	2	76,20	76,183	6,79	0,505
	240	2	108,10	108,113		

Таблиця А.6. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 330 кВ, яку виконано на залізобетонних опорах, тис.дол. / км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^a$	Коефіцієнти	
					a	b
330	2х300	1	124,37	123,96	36,27	0,216
	2х400	1	132,36	132,95		

В таблицях А.7 – А.9 приведені інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ певного конструктивного виконання, класу напруги, і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a_i і $\tilde{b}$. В таблицях А.10 – А.12 приведені значення коефіцієнтів апроксимації a_i і $\tilde{b}$ та середня похибка по варіантам апроксимації

Таблиця А.7. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 110 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{b}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{b}$
110	Сталева	120	1	70,93	70,95	22,49	0,24
		240	1	78,38	78,33	21,03	
		120	2	104,40	104,37	33,08	
		240	2	117,15	117,18	31,44	
	Залізобетонна	120	1	58,53	58,56	18,56	
		240	1	64,74	64,72	17,37	
		120	2	76,20	76,17	24,14	
		240	2	108,10	108,13	29,02	

Таблиця А.8. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 330 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{b}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{b}$
330	Сталева	2х300	1	131,46	131,44	15,93	0,37
		2х400	1	146,70	146,76	15,99	
		2х300	2	201,73	201,75	24,45	
		2х400	2	234,73	234,68	25,57	
	Залізобетонна	2х300	1	124,37	124,33	15,07	
		2х400	1	132,36	132,44	14,43	

Таблиця А.9. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км ПЛ 750 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{b}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{b}$
750	Сталева	5х300	1	367,29	367,23	83,35	0,26
		5х400	1	396,21	396,23	83,43	

Таблиця А.10. Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 110 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		$\delta, \%$
				a'	$\tilde{b}$	
110	Сталева	120	1	22,42	0,24	1,0
		240	1	21,12		2,5
		120	2	33,08		1,5
		240	2	31,5		1,5
	Залізобетонна	120	1	18,56		1,5
		240	1	17,37		1,0
		120	2	24,14		1,5
		240	2	29,08		1,5

Таблиця А.11 Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 330 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		δ, %
				a'	$\tilde{b}$	
330	Сталева	2х300	1	15,93	0,37	1,0
		2х400	1	15,99		3,0
		2х300	2	24,45		1,0
		2х400	2	25,57		2,5
	Залізобетонна	2х300	1	15,07		2,0
		2х400	1	14,43		4,0

Таблиця А.12. Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 750 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		δ, %
				a'	$\tilde{b}$	
750	Сталева	5х300	1	83,37	0,26	3,0
		5х400	1	83,44		1,0

Представлені вище результати розрахунку коефіцієнтів апроксимації інвестиційних вкладень виконано для ПЛ традиційної конструкції.

Аналогічно проведено розрахунок коефіцієнтів апроксимації інвестиційних вкладень для КСПЛ і КПЛ. Оскільки КСПЛ конструктивно представляє дволанцюгову ПЛ, то для коректного аналізу було проведено порівняння КСПЛ з дволанцюговими лініями інших конструкцій. Враховуючи це, розрахунок коефіцієнтів апроксимації інвестиційних вкладень в КСПЛ і КПЛ проведено для дволанцюгових ПЛ відповідного класу напруги.

В таблицях А.13 – А.16 приведено інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ певного конструктивного виконання, класу напруги, і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації.

Таблиця А.13. Значення коефіцієнтів апроксимації a_i і b_i та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 110 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол./км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^b$	Коефіцієнти	
					a	b
110	120	2	103,24	103,54	46,2	0,168
	240	2	115,96	115,93		

Таблиця А.14. Значення коефіцієнтів апроксимації a_i і b_i та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 110 кВ, яку виконано на залізобетонних опорах, тис.дол. / км

U, кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^b$	Коефіцієнти	
					a	b
110	120	2	76,0	75,94	7,21	0,492
	240	2	106,9	106,91		

В таблиці А.15 приведені інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 110 кВ певного типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a' і $\tilde{b}$.

Таблиця А.15. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 110 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'F^{\tilde{b}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{b}$
110	Сталева	120	2	103,24	103,54	21,33	0,33
		240	2	115,96	115,93	18,99	
	Залізобетона	120	2	76,0	75,94	15,85	
		240	2	106,9	106,91	17,52	

В таблиці А.16 приведені інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 330 кВ певного типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a' і $\tilde{b}$.

Таблиця А.16. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КСПЛ 330 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол./км

U,кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\tilde{e}}$	Коефіцієнти	
					a'	$\tilde{e}$
330	2х300	2	199,37	199,33	9,16	0,54
	2х400	2	233,1	233,11	9,17	

В таблицях А.17 – А.20 приведені інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a_i і $\tilde{e}_i$.

Таблиця А.17. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 110 кВ, яку виконано на залізобетонних опорах, тис.дол. / км

U,кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\tilde{e}}$	Коефіцієнти	
					a	$\tilde{e}$
110	120	1	58,13	58,14	28,91	0,146
	240	1	64,34	64,32		
	120	2	76,77	76,7	7,389	0,489
	240	2	107,73	107,77		

Таблиця А.18. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 330 кВ, яку виконано на залізобетонних опорах, тис.дол. / км

U,кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\tilde{e}}$	Коефіцієнти	
					a	$\tilde{e}$
330	2х300	1	123,5	122,73	35,02	0,22
	2х400	1	131,61	131,63		

Таблиця А.19. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 110 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол./км

U,кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\tilde{e}}$	Коефіцієнти	
					a	$\tilde{e}$
110	120	1	70,45	70,47	35,2	0,145
	240	1	77,98	77,92		
	120	2	104,01	103,99	46,75	0,167
	240	2	116,75	116,76		

Таблиця А.20. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 330 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол./км

U,кВ	Перетин проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K_i = aF^{\tilde{e}}$	Коефіцієнти	
					a	$\tilde{e}$
330	2х300	1	130,6	130,3	14,7	0,383
	2х400	1	145,8	145,9		
	2х300	2	200,1	200,0	9,04	0,543
	2х400	2	233,95	234,0		

Таблиця А.21. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 750 кВ, яку виконано на сталевих опорах, тис.дол./км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F^{\tilde{e}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{e}$
750	Сталева	5х300	1	366,5	366,51	83,18	0,26
		5х400	1	395,4	395,05		

В таблицях А.22 – А.24 приведені інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ відповідного класу напруги і типу опор та значення коефіцієнтів апроксимації a_i і $\tilde{e}$.

Таблиця А.22. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 110 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F_i^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
110	Сталева	120	1	70,5	70,52	23,45	0,23
		240	1	104,01	103,96	29,47	
		120	2	77,98	78,02	25,94	
		240	2	116,75	116,7	33,08	
	Залізобетонна	120	1	58,13	58,14	19,33	
		240	1	76,77	76,76	21,76	
		120	2	64,33	64,3	21,38	
		240	2	107,73	107,76	30,55	

Таблиця А.23. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 330 кВ, тис.дол. / км

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F_i^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
330	Сталева	2х300	1	130,6	130,3	14,92	0,38
		2х400	1	145,8	145,9	14,97	
		2х300	2	200,1	200,0	22,89	
		2х400	2	233,95	234,0	24,02	
	Залізобетонна	2х300	1	123,5	122,73	14,05	
		2х400	1	131,62	131,65	13,51	

Таблиця А.24. Значення коефіцієнтів апроксимації та інвестиційні вкладення в проектування 1 км КПЛ 750 кВ, тис.дол. / км.

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм ²	Кількість ланцюгів	Загальна вартість	$K'_i = a'_i F_i^{\tilde{\epsilon}_i}$	Коефіцієнти	
						a'	$\tilde{\epsilon}$
750	Сталева	5х300	1	366,5	366,51	83,19	0,26
		5х400	1	395,4	395,05	83,2	

Сведения об авторах



Черемисин Николай Михайлович, профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента Национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенка (Украина), cheremisin.energy@rambler.ru

Основатель и руководитель научной школы: "Методы и средства повышения эффективности управления и транспорта электрической энергии в электрических сетях".

Автор более 150 научных публикаций, более 30 авторских свидетельств СССР и патентов Украины



Черкашина Вероника Викторовна, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (Украина), cherk34@rambler.ru

Научное направление «Модели и методы технико-экономического анализа воздушных линий электропередачи. Перспективы развития воздушных линий переменного тока».

Автор более 80 научных трудов.