

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРИОРИТЕТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ КРИТЕРИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ****Черкашина В. В.***Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"*

*Критериальным методом выполнен анализ технико-экономических моделей ВЛ с учетом современных рыночных отношений и получены их оптимальные соотношения при выборе приоритетного направления проектирования ВЛ электропередачи разных конструкций в соответствующем классе напряжения.*

**Постановка проблемы.** Модернизация и структурные перестройки в электроэнергетической отрасли в условиях рыночных отношений связаны с решением ряда задач, которые должны рассматриваться на предпроектной стадии для определения приоритетного направления в проектировании воздушных линий (ВЛ) электропередачи. Учитывая ограниченность инвестиционных ресурсов анализ осуществляется при дефиците четких, всесторонне научно обоснованных рекомендаций и методик, что ограничивает возможность оценки принимаемых решений при выборе приоритетного направления для проектирования ВЛ электропередачи. При решении такого рода задач целесообразно руководствоваться системой иерархически построенных и взаимосвязанных технико-экономических моделей разных функциональных уровней при этом стратегия поиска осложняется неполнотой исходной информации и многокритериальностью.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Актуальность и сложность проблемы обусловлена тем, что предпроектная оценка электроэнергетических объектов с учетом многих критериев связана с необходимостью анализа альтернативных вариантов и учета значительного количества критериев и технических аспектов (единство процесса производства, передачи и потребления электрической энергии, ограничения территории при увеличении пропускной способности транспорта электроэнергии, требования надежности электроснабжения и т.д.), что обуславливает специфику задачи. В связи с этим существующие методики [1, 2, 3] не позволяют достаточно эффективно решать такие задачи, или требуется значительные затраты усилий лица, принимающего решения (ЛПР), доработки получаемых решений уже непосредственно в процессе проектирования объекта.

Многими отечественными и зарубежными учеными ведется поиск по повышению эффективности транспорта электрической энергии ВЛ электропередачи, улучшения технико-экономических показателей, уменьшения влияния ВЛ на окружающую среду. И на сегодняшний день уже есть новые разработки, характеризующиеся многообразием технических решений, которые могут найти свое применение в энергетических системах Украины [4, 5, 6]. Технико-экономическая эффективность транспорта электрической энергии зависит от полноты и точности информации, часть которой представляет собой потоки данных с объектов управления об их состоянии и режимах работы, другая часть – поток данных для осуще-

ствления долгосрочного и краткосрочного планирования режимов работы. Поскольку ВЛ электропередачи являются одним из главных структурных элементов электроэнергетических систем ответственным за транспорт электрической энергии, то работы в области создания электропередач нового типа, разработки по усовершенствованию ВЛ электропередачи весьма актуальны. Основное направление по повышению эффективности транспорта электрической энергии базируется на внедрении в практику проектирования ВЛ таких конструкций, как: компактные ВЛ (КВЛ), управляемые самокомпенсирующие ВЛ (УСВЛ), ВЛ выполненные цепями разных классов напряжения (комбинированные ВЛ), ВЛ выполненные изолированными проводами (ВЛИ) [4, 5, 6].

Задачи определения оптимальных параметров и габаритов ВЛ разных конструкций решаются в первую очередь на предпроектной стадии при анализе технико-экономических показателей объекта. При этом необходимо учитывать взаимосвязь технических характеристик ВЛ с ограниченностью территории под объект, при которой могут быть достигнуты наилучшие экономические показатели. В зависимости от условий задачи может быть выбран критерий оптимальности. Если ставится задача отыскания оптимальных технико-экономических связей, то одним из главных критериев является минимум дисконтных затрат. При построении расчетной модели практически не возможно учесть все ее внутренние, зачастую стохастические связи, но так как информация о таких связях порой не полная и чаще всего неопределенная, то формализация задачи оптимальности требует учета дополнительных критериев [6]. Поэтому в качестве инструмента анализа технико-экономических моделей целесообразно применить критериальный метод, позволяющий вести исследования при неполной и неопределенной исходной информации. Реализацией критериального метода является решение по одному из критериев и замена дополнительных критериев системой ограничений [7, 8].

**Цель статьи.** Предлагается критериальным методом выполнить анализ технико-экономических показателей ВЛ электропередачи с учетом современных рыночных отношений для определения долевого участия составляющих технико-экономических моделей в оптимальном варианте при выборе приоритетного направления проектирования ВЛ электропередачи.

**Основные материалы исследования.** При анализе технико-экономических показателей ВЛ электропередачи с учетом современных рыночных отно-

шений одним из главных критериев оптимальных технико-экономических связей является минимум дисконтных затрат [7, 8]. Техничко-экономическую модель ВЛ электропередачи для определения дисконтных затрат (3) в 1 км ВЛ электропередачи можно представить как:

$$Z = Z_1 + Z_2 = (E + p)(a + vF) + (3I^2 c \tau v) \cdot F^{-1}, \quad (1)$$

где  $Z_1$  – инвестиционная составляющая технико-экономической модели ВЛ электропередачи;  
 $Z_2$  – техническая составляющая технико-экономической модели ВЛ электропередачи;  
 $E$  – реальная процентная ставка;  
 $p$  – коэффициент отчислений на амортизацию, ремонт и обслуживание ВЛ;  
 $a$  – постоянная составляющая стоимости 1 км ВЛ, зависящая от типа опор, конструкции ВЛ, класса напряжения, денежные единицы (д.е) / км;  
 $v$  – коэффициент удорожания, учитывающий изменение стоимости 1 км ВЛ в зависимости от сечения провода, д.е/(км·мм<sup>2</sup>);  
 $F$  – сечение провода, мм<sup>2</sup>;  
 $I$  – максимальный ток линии, А;  
 $\rho$  – удельное сопротивление проводникового материала, Ом·мм<sup>2</sup>/ км;  
 $\tau$  – время максимальных потерь, ч/ год;  
 $\beta$  – удельная стоимость потерь электроэнергии, д.е/(кВт·ч).

Составляющие инвестиционных вложений в 1 км ВЛ, которые входят в технико-экономическую модель ВЛ электропередачи (1) учитывают стоимость отвода земельного участка под трассу ВЛ, что является одним из условий анализа технико-экономических показателей в условиях рыночных отношений и описываются линейным двучленом вида:

$$K = a + vF. \quad (2)$$

Аппроксимация стоимостных показателей линейным двучленом предполагает наличие постоянной составляющей в технико-экономической модели ВЛ электропередачи. В зависимости от поставленной задачи доля участия постоянной составляющей функции цели может быть различной. В некоторых задачах она составляет всего несколько процентов от общего значения функции, принятой за 100%, а большая часть приходится на переменную часть. В целом ряде других задач она составляет большую часть функции, тогда оптимизация только переменной составляющей не оправдывает себя. Таким образом, для корректного анализа технико-экономических показателей целесообразно заменить существующие модели (2) моделями, которые не содержат постоянной составляющей в явном виде. Один из путей перехода от существующих методов анализа технико-экономических показателей ВЛ к современным методам возможен при замене части модели аппроксимированным выражением с достаточной степенью точности, причем в эту часть модели должна войти постоянная составляющая [7,8].

Таким образом, для анализа технико-экономической показателей ВЛ электропередачи с учетом рыночных отношений составляющие инвестицион-

ных вложений в 1 км ВЛ (2) необходимо заменить нелинейным аппроксимирующим выражением вида:

$$K_i = a_i F^{\tilde{v}_i}. \quad (3)$$

Для определения коэффициентов  $a_i$  и  $v_i$  в выражении (3) были использованы стоимостные показатели ВЛ электропередачи для классов напряжений 110 – 750 кВ включительно. Для каждого класса напряжения, конструктивного исполнения ВЛ и типа опор были получены значения коэффициентов  $a_i$  и  $v_i$ . Для оптимизации расчетной модели ВЛ электропередачи значение показателя степени  $v_i$  усредняется и заменяется значением показателя степени  $\tilde{v}$  для разных классов напряжения и определяется совокупностью значений  $v_i$ , принадлежащих своему классу напряжения (табл. 1).

Таблица 1 – Значение обобщающих коэффициентов  $\tilde{v}$  для ВЛ разных конструкций в соответствующем классе напряжения

$U$ , кВ	110 кВ	330 кВ	750 кВ
$\tilde{v}$ (традиционная ВЛ)	0.24	0.37	0.26
$\tilde{v}$ (КВЛ)	0.25	0.38	0.26
$\tilde{v}$ (УСВЛ)	0.33	0.54	-

Значения  $\tilde{v}$  были получены без учета вероятности появления ВЛ электропередачи представленной конструкции, класса напряжения и типа опор. Для более точного определения значений  $\tilde{v}$  необходим углубленный анализ нормативных показателей с учетом долевого участия значения показателей степени, соответствующего приоритетному варианту по конструктивному исполнению ВЛ электропередачи, типу опор и классу напряжения.

Если (2) представить аппроксимирующим выражением (3), тогда инвестиционная составляющая технико-экономической модели ВЛ электропередачи, (д.е.), будет иметь вид:

$$Z_1 = (A - 1) \left( 1 + [A^{T_{cl}} - 1]^{-1} \right) a_i F^{\tilde{v}_i}, \quad (4)$$

где 
$$A = \frac{E_{ном} + 100}{\alpha + 100}, \quad (5)$$

где  $E_{ном}$  – номинальная банковская ставка, %;

$\alpha$  – темп инфляции;

$T_{cl}$  – нормативный срок службы объекта, год [8].

Полученная инвестиционная составляющая технико-экономической модели ВЛ электропередачи носит приближенный характер, зависящий от заданной степени точности модели, совокупности действительных точек и учитывает стоимость отвода земельного участка под трассу ВЛ электропередачи.

Исходя из выше представленного, аппроксимирующие выражение (3), которое входит в инвестиционную составляющую технико-экономической модели ВЛ электропередачи (4) можно записать в зависимости от класса напряжения:  $K_{110} = a_i F^{\tilde{v}_{110}}$ ;  $K_{330} = a_j F^{\tilde{v}_{330}}$ ;  $K_{750} = a_k F^{\tilde{v}_{750}}$ .

Таким образом, анализируя технико-экономические показатели ВЛ электропередачи (1) разных конструкций в условиях рыночных отношений расчетные модели можно представить в зависимости от класса напряжения:

$$3 = 3_1 + 3_2 = (A-1) \left( 1 + [A^{T_{ca}} - 1] \right) K_{110} + (3I^2 c_{\text{тв}}) \cdot F^{-1}; \quad (6)$$

$$3 = 3_1 + 3_2 = (A-1) \left( 1 + [A^{T_{ca}} - 1] \right) K_{330} + (3I^2 c_{\text{тв}}) \cdot F^{-1}; \quad (7)$$

$$3 = 3_1 + 3_2 = (A-1) \left( 1 + [A^{T_{ca}} - 1] \right) K_{750} + (3I^2 c_{\text{тв}}) \cdot F^{-1}. \quad (8)$$

Представленные технико-экономические модели ВЛ электропередачи с учетом рыночных отношений предлагается проанализировать для определения долевого участия составляющих в оптимальном варианте при выборе приоритетного направления проектирования ВЛ электропередачи. Для анализа такого рода моделей в условиях неполноты исходной информации используем критериальный метод. Достоинством данного метода является:

- определение оптимальных значений функции цели; параметров оптимизации;
- оценка устойчивости функции к изменению параметров в диапазоне точки минимума;
- исследование чувствительности решения задачи при изменении исходной информации [7, 8].

Согласно [1] технико-экономические модели в энергетике описываются с помощью полиномиальных уравнений нескольких переменных с учетом технических требований к этим переменным и позволяют минимизировать полином вида [7]

$$Y_{(x)} = \sum_{i=1}^{m_1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad (9)$$

где  $A_i$ - положительные обобщенные константы, представляющие исходную информацию об объекте;  
 $x_j$  - параметры оптимизации;  
 $\alpha_{ij}$  - показатели степени, действительные числа;  
 $m_1$  - число слагаемых в полиноме;  
 $n$  - число независимых параметров.

Ограничения, накладываемые на отдельные переменные  $x_j$  и на их комплексы, представляются в виде полиномов аналогичных (9) [7]

$$q_k(x) = \sum_{i=m_{k+1}}^{m_{k+1}} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \leq 1. \quad (10)$$

При анализе технико-экономических показателей важно знать влияние отклонения исходной информации на исходный экономический вариант. Исследование чувствительности позволит обосновать необходимую степень точности исходной информации. Особенно хорошо данному анализу поддаются канонические модели [7, 8].

Канонические модели в энергетике могут быть представлены в виде полинома:

$$Y = A_0 \sum_{i=1}^{n+1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}. \quad (11)$$

Критериальный метод позволяет исследование данной функции (11) в диапазоне  $n+1$  базисной точки – мерном пространстве параметров оптимизации  $x_j$  и функции  $Y$ .

Постоянная составляющая  $A_0$  (11) имеет значение только при оценке полной величины функции, в других случаях нею можно пренебречь, тогда

$$Y_1 = \sum_{i=1}^{n+1} A_i \prod_{j=1}^n x_j. \quad (12)$$

Очень часто обобщенные константы  $A_i$  известны лишь приближенно, поэтому применяемый критериальный метод позволяет вести исследования на критериальных моделях, имеющих вид:

$$Y_{*1} = \sum_{i=1}^{n+1} \pi_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad (13)$$

где  $\pi_i$ - критерий подобия, определяемый как:

$$\pi_i = \frac{A_i}{y_{*i\bar{0}}} \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad i = \overline{1, n+1}, \quad (14)$$

где  $x_{*j}$  - относительное значение оптимизации;

$\alpha_{ij}$  - действительные числа;

$y_{*i}$  - относительная величина части функции.

Для выявления критериев подобия  $\pi_i$  в уравнении (14) необходимо знать величину обобщенных констант  $A_i$ , загодя выбрав базисное значение функции  $y_{i\bar{0}}$ . В том случае, если отсутствует информация об  $A_i$ , то величину критериев подобия определяют из системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m_1} \pi_i = 1 \\ \frac{dy}{dx_j} \Big|_{x_j = x_{j\bar{0}}} = \frac{y_{\bar{0}}}{x_{j\bar{0}}} \sum \alpha_{ij} \pi_i = 0, \quad j = \overline{1, n} \end{cases} \quad (15)$$

Исходя из выше изложенного технико-экономические модели (6), (7), (8) можно представить для соответствующего класса напряжения в критериальной виде

$$3_{*110} = \pi'_1 F_{*}^{\bar{e}110} + \pi'_2 F_{*}^{-1}; \quad (16)$$

$$3_{*330} = \pi''_1 F_{*}^{\bar{e}330} + \pi''_2 F_{*}^{-1}; \quad (17)$$

$$3_{*750} = \pi'''_1 F_{*}^{\bar{e}750} + \pi'''_2 F_{*}^{-1}, \quad (18)$$

где  $\pi'_1, \pi'_2, \pi''_1, \pi''_2, \pi'''_1, \pi'''_2$  - критерий подобия для определенного класса напряжения;

$\tilde{g}^{110}$ ,  $\tilde{g}^{330}$ ,  $\tilde{g}^{750}$  – обобщенные коэффициенты аппроксимации определенного класса напряжения;  
 $F^*$  – сечение провода, отн. ед.

Используя критериальный метод анализа технико-экономических моделей ВЛ электропередачи, реализуем каждое уравнение для определения соотношения в оптимальном варианте проектирования ВЛ разных конструкций в соответствующем классе напряжения (табл. 2).

Таблица 2 - Соотношение составляющих в технико-экономических моделях ВЛ 110-750 кВ разных конструкций в оптимальном варианте

110 кВ	Традиционная ВЛ	$\pi'_1 = 0,81, \pi'_2 = 0,19$
	КВЛ	$\pi'_1 = 0,80, \pi'_2 = 0,20$
	УСВЛ	$\pi'_1 = 0,75, \pi'_2 = 0,25$
330 кВ	Традиционная ВЛ	$\pi''_1 = 0,73, \pi''_2 = 0,27$
	КВЛ	$\pi''_1 = 0,72, \pi''_2 = 0,28$
	УСВЛ	$\pi''_1 = 0,65, \pi''_2 = 0,35$
750 кВ	Традиционная ВЛ	$\pi'''_1 = 0,79, \pi'''_2 = 0,21$

При проектировании ВЛ электропередачи помимо экономической эффективности необходимо учитывать их технические характеристики. Неэкономические критерии в задаче проектирования ВЛ зачастую имеют решающее значение. Поэтому анализируя технико-экономические показатели при выборе приоритетного направления проектирования ВЛ электропередачи необходимо выполнить сопоставление инвестиционных вложений в ВЛ с экономическим эквивалентом повышения пропускной способности (рис. 1).

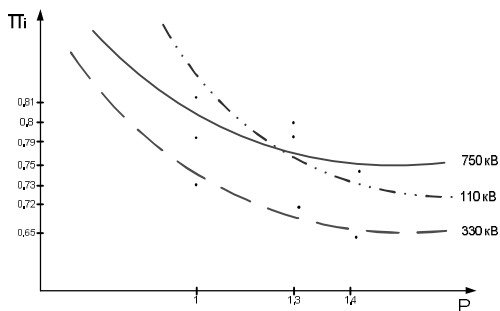


Рисунок 1 – Соотношение инвестиционной составляющей технико-экономических моделей ВЛ 110-750 кВ с эквивалентом пропускной способности ВЛ электропередачи разных конструкций в оптимальном варианте

**Выводы.** Критериальным методом выполнен анализ технико-экономических показателей ВЛ электропередачи с учетом современных рыночных отношений. Получены соотношения составляющих технико-экономических моделей в оптимальном варианте для выбора приоритетного направления проектирования ВЛ электропередачи разных конструкций в соответствующем классе напряжения.

## Список использованных источников

1. Сборник нормативов удельных капитальных вложений в строительство воздушных линий электропередачи 35 – 750 кВ. Руководящие материалы – Москва: Минэнерго СССР, 1986. – 30 с.
2. Определение экономической эффективности капитальных вложений в энергетику / ГКД 340. 000. 002 – 97 – Киев, 1997. – 54 с.
3. Визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж / ДБН В.2.5-16-99 – Київ, 1999.–21 с.
4. Шакарян Ю. Г. Управляемые (гибкие) системы передачи переменного тока (flexible AC Transmission system, FACTS) / Ю. Г. Шакарян– Москва: ОАО "ВНИИЭ", 2009 – 41 с.
5. Постолатий В. М. Управляемые электропередачи / В. М. Постолатий, Е. В. Быкова – Кишинев: Труды института энергетики АН Молдовы, 2007 – Вып № 8 (23) – 234 с.
6. Черемисин Н. М. Критериальный анализ технико-экономических моделей ВЛ в условиях неполноты исходной информации / Н. М. Черемисин, В. И. Романченко – Харьков: ХДТУСГ, 1998. – юбилейный выпуск – С. 21 – 25.
7. Астахов Ю. Н. Критериальный метод и его применение для анализа систем электроснабжения. Учебное пособие / Ю. Н. Астахов, Н. М. Черемисин, Б. М. Ильченко – М., 1986. – 45 с.
8. Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності. Навчальний посібник / М. М. Черемісін, В. І. Романченко – Харків: Факт, 2006.– 167 с.

## Анотація

### ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРИОРИТЕТНОГО НАПРЯМУ В ПРОЕКТИВАННІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ КРИТЕРІАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Черкашина В. В.

*Критериальним методом виконано аналіз технико-економічних моделей ПЛ і отримано їх оптимальні співвідношення при виборі пріоритетного напрямку проектування ПЛ електропередачі різних конструкцій у відповідному класі напруги.*

## Abstract

### OPTIMIZATION OF INVESTMENTS AT CHOICE OF PRIORITY DIRECTION IN PLANNING OF AIR-TRACKS OF ELECTRICITY TRANSMISSION BY CRITERION METHOD

V. Cherkashyna

*A criterion method execute an analysis and optimal correlations of technic - economic models in modern market relations at the choice of priority direction of planning of air-tracks electricity transmission of different constructions in the corresponding class of tension.*