

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**О. Д. Демов**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВПРОВАДЖЕННЯ  
КОМПЕНСУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК  
В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ  
ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2016

УДК 621:311

ББК 31.27

Д30

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 12 від 28.05.2015 р.)

Рецензенти:

**Ю. І. Тугай**, доктор технічних наук

**П. Д. Лежнюк**, доктор технічних наук, професор

**Демов, О. Д.**

Д30 Оптимізація процесу впровадження компенсуювальних установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 92 с.  
ISBN 978-966-641-660-8

У роботі розглядаються питання підвищення ефективності використання компенсуювальних установок шляхом розробки та реалізації системи впровадження установок компенсації реактивної потужності в розподільні електричні мережі на основі їх декомпозиції. Може бути рекомендована інженерно-технічному персоналу енергетичних підприємств та проектних організацій для більш успішного проведення заходів зі зниження втрат електроенергії в розподільних мережах та студентам електротехнічних спеціальностей при вивченні курсів «Електропостачання», «Енергозбереження в системах електропостачання» і «Електричні системи та мережі».

**УДК 621:311**

**ББК31.27**

**ISBN 978-966-641-660-8**

©О. Демов, 2016

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень .....	4
Вступ.....	5
1 Проблеми компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах.....	6
1.1 Аналіз основних положень розрахунку КРП в розподільних електричних мережах.....	6
1.2 Аналіз існуючих методів декомпозиції електричних мереж.....	9
1.3 Вплив живильних мереж на компенсацію реактивної потужності в розподільних мережах .....	11
1.4 Особливості розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній .....	16
Висновки до розділу 1.....	17
2 Основні теоретичні положення впровадження КУ в розподільні електричні мережі .....	19
2.1 Вихідні положення .....	19
2.2 Вибір показників впровадження конденсаторних установок.....	22
2.3 Поетапне впровадження конденсаторних установок .....	28
2.3.1 Поетапне впровадження по КУ за мінімумом втрат .....	29
2.3.2 Поетапне впровадження конденсаторних установок за мінімумом приведених затрат .....	31
2.4 Декомпозиція електричної мережі при розрахунку компенсації реактивної потужності .....	37
2.4.1 Критерій декомпозиції.....	37
2.4.2 Декомпозиція функції втрат активної потужності .....	38
2.4.3 Декомпозиція функції втрат при фінансових обмеженнях....	40
2.4.4 Декомпозиція функції зниження втрат активної потужності на основі формули Тейлора .....	42
2.4.5 Декомпозиція функції приведених затрат .....	45
Висновки до розділу 2.....	49
3 Впровадження КУ в розподільних мережах ЕК .....	50
3.1 Формування функції зниження втрат активної потужності .....	50
3.2 Поетапний розрахунок КРП в розподільних мережах .....	54
3.3 Компенсація втрат реактивної потужності трансформаторів трансформаторних підстанцій 10/0,4 кв .....	62
3.4 Вплив КУ промислових споживачів на КРП в розподільних мережах ЕК .....	68
3.5 Коригування вхідних реактивних потужностей .....	75
3.6 Використання МЕ для КРП в розподільних мережах .....	79
Висновки до розділу 3.....	82
Висновки .....	83
Література .....	84

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- КУ – конденсаторні установки
- ВРП – вхідна реактивна потужність
- ТП – трансформаторна підстанція
- МЕ – місцева електростанція
- ЕК – енергопостачальна компанія
- ВКУ, НКУ – високовольтні та низьковольтні конденсаторні установки
- КРП – компенсація реактивної потужності

## ВСТУП

Установлення компенсувальних установок в розподільних електричних мережах дозволяє значно знизити втрати електричної енергії, що потребує відповідного визначення потужностей КУ і місць їх установлення [1]. В існуючих методах розв'язання цієї задачі [2–4] вважається, що підприємства, на балансі яких знаходяться мережі, мають можливість установити всі КУ одночасно відповідно до результатів розрахунків, а проміжні кроки з впровадження результатів при цьому не розглядаються. В дійсності фінансові можливості енергетичних підприємств, як правило, обмежені, і це унеможливорює процес установлення КУ в усіх вузлах розподільних мереж одночасно, що в свою чергу потребує розподілення їх впровадження в часі (часової декомпозиції) [5, 6].

Вказані методи базуються на розв'язанні задачі розрахунку КРП для всіх розподільних електричних мереж в цілому. Таке розв'язання ускладнено тому, що окремі підприємства електричних мереж, економічно можуть впроваджувати КУ незалежно одне від одного. Це зумовлює необхідність розділення електричної мережі при розрахунку КРП (просторової декомпозиції електричної мережі).

Відсутність системи впровадження КУ в розподільні електричні мережі, яка б враховувала з однієї сторони економічну незалежність окремих частин розподільних мереж, а з іншої – їх фізичну нероздільність, приводить до неповного використання КУ для зниження втрат електроенергії.

Таким чином, виникає задача підвищення ефективності використання компенсувальних установок шляхом розробки та реалізації системи впровадження установок компенсації реактивної потужності в розподільні електричні мережі на основі їх декомпозиції.

Для досягнення цієї мети в монографії розроблено методи декомпозиції, які дозволяють проводити розрахунок КРП в окремих частинах розподільних електричних мереж з врахуванням впливу інших їх частин і, відповідно, забезпечити додаткове зниження втрат електроенергії у вказаних мережах.

Монографія може бути рекомендована інженерно-технічному персоналу енергетичних підприємств та проектних організацій для проведення заходів зі зниження втрат електроенергії в розподільних мережах. Книга може бути також використана студентами електротехнічних спеціальностей при вивченні курсів «Електропостачання», «Енергозбереження в системах електропостачання» та «Електричні системи та мережі».

# **1 ПРОБЛЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ**

Перехід до ринкових форм управління державою поставив вимоги щодо адаптації, уточнення методичних рішень в енергетиці до сучасних техніко-економічних механізмів взаємодії постачальників і споживачів електричної енергії.

В частині розрахунків КРП це означає розробку систем, що будуть стимулювати до оптимального споживання реактивної потужності і відображати реальні затрати на її виробництво і передачу; підвищувати ефективність функціонування всього комплексу пристроїв КРП в електричних мережах як енергосистеми так і її споживачів. Основною складовою цих систем є планування впровадження КУ. Існуючі методи цього планування не в повній мірі враховують техніко-економічні умови генерації, транспортування та споживання реактивної енергії і, відповідно, потребують аналізу та визначення напрямків їх вдосконалення, що і є предметом досліджень у цьому розділі. При проведенні аналізу звертається увага на розв'язання задачі КРП для всіх електричних мереж в цілому, а з іншого боку – на доцільності її розв'язання в окремих частинах мережі з врахуванням впливу інших. Такий підхід потребує аналізу: основних положень розрахунку КРП в розподільних електричних мережах; існуючих методів їх декомпозиції; впливу живильних мереж на компенсацію реактивної потужності в розподільних мережах (рис. 1.1).

## **1.1 Аналіз основних положень розрахунку КРП в розподільних електричних мережах**

Питання зменшення втрат в електричних мережах України є однією з основних задач цих мереж. Ці втрати майже вдвічі перевищують аналогічні показники західних країн [7].

Технологічні втрати активної електроенергії разом з так званими «комерційними втратами» станом на 2014 рік склали 12–14 %. Значного зниження цих втрат можна досягти за рахунок КРП в розподільних електричних мережах. Відомо, що близько 80 % ефекту від заходів зі зниження технологічних втрат в цих мережах приходиться на КРП [1].

Проведення цих заходів забезпечується існуючими методами розрахунку КРП, які розглянуті в роботах [8–34] таких вчених, як О. О. Глазунов, В. А. Веніков, Г. Е. Поспелов, В. Г. Холмський, Н. А. Мельніков, Ю. В. Щербина, В. В. Зорін, Г. М. Каялов, Н. А. Солдаткіна, І. М. Маркович, В. Г. Кузнєцов, Б. С. Рогальський, П. Д. Лежнюк, Ю. І. Тугай, Ю. Є. Варецький, М. С. Сегеда, О. С. Яндульський, Д. Б. Банін.



Рисунок 1.1 – Схема аналізу існуючих методів КРП в розподільних електричних мережах

Основні положення цих робіт наведені в табл. 1.1. Із зазначеного в таблиці зупинимось на основних критеріях оптимізації КРП:

- економічні: максимальне зниження втрат електроенергії, мінімальний термін окупності, мінімум приведених затрат на передачу та генерацію реактивної потужності [3, 15, 16, 24];

- технічні: забезпечення балансу реактивної потужності [9, 25], покращення рівнів напруги [14, 18, 19, 25, 30], збільшення пропускної спроможності [16].

Розв'язання задачі КРП полягає у визначенні таких потужностей і місць установлення КУ, які забезпечують виконання вибраного критерію.

Інвестування впровадження КУ може визначатися, виходячи з інтересів держави. В такому випадку найкращий варіант впровадження КУ визначається за мінімумом приведених затрат на передачу та генерацію реактивної потужності як по мережах ЕК, так і споживачів. Такий підхід доцільно застосовувати, коли всі мережі знаходяться на балансі однієї організації, наприклад, держави і задана нормативна величина економічної ефективності [4, 16, 30, 32, 33]. Але в сьогоdnішніх ринкових умовах розрахунок КРП доцільно проводити у відповідності до показників, які визначають загальний економічний стан підприємства (економічна ефективність використання капітальних вкладень, прибуток, рентабельність) [35–39].

Таким чином, критерії впровадження КУ можуть бути різними в залежності від економічних умов, в яких знаходяться підприємства, і це потребує аналізу економічних показників впровадження та використання КУ в розподільних електричних мережах.

Таблиця 1.1 – Коротка характеристика існуючих методів розрахунку КРП в розподільних електричних мережах

№ п. п.	Ознака методу	Сутність методу
1	За критерієм оптимізації	Забезпечення оптимальних значень показників використання КУ при виконанні технічних обмежень [9, 11, 12, 13, 15, 22, 33]
2	За балансовою приналежністю	Окреме розв'язання задач КРП в розподільних мережах споживачів [16, 23, 24] та енергопостачальних компаній [3, 16, 30]
3	За постановкою	Проектні: вибір місць розташування та потужностей КУ [8–18]; експлуатаційні: підвищення ефективності використання існуючих КУ [21, 22]
4	За використанням математичного апарату	Метод дискретної оптимізації, градієнтний та ітераційний методи [12, 28]
5	Системні, локальні	Системні: розв'язання задачі в розподільних мереж з врахування впливу живильних [3, 4, 20, 22]. Локальні: розв'язання задачі в розподільних мереж без врахування впливу живильних [23, 24]

В ринкових умовах підприємства впроваджують КУ відповідно до свого фінансового становища, що необхідно враховувати при розробці відповідних методів впровадження КУ. Тобто установлення КУ є процесом (послідовністю заходів, направлених на установлення КУ) і виникає питання: як його реалізувати? Очевидно цей процес потрібно розділити в часі (провести його часову декомпозицію).

Фізично будь-яке рішення щодо КРП в одній частині розподільних мережах впливає на розв'язання задачі в інших частинах цих мереж. Відповідно існуючі методи розрахунку КРП базуються на тому, що ці розрахунки потрібно проводити одночасно для всіх електричних мереж. З іншого боку енергетичні підприємства є незалежними економічними суб'єктами, які самостійно вирішують доцільність інвестування різних напрямків своєї діяльності, в тому числі і придбання КУ. Це потребує розділення мережі на частини, тобто її декомпозиції при розв'язанні задачі. Окрім того, проектування КУ в різних частинах розподільних мереж відбувається по-різному і в різний час, що також потребує ділення цих мереж на частини (декомпозиції мережі).

Проведемо аналіз існуючих методів декомпозиції електричних мереж з метою використання їх для розрахунку КРП в розподільних електричних мережах.



## 1.2 Аналіз існуючих методів декомпозиції електричних мереж

Основні положення декомпозиції, які можна використати при розв'язанні задачі КРП, наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 Основні положення декомпозиції, які можна використати при розв'язанні задачі КРП

	Назва методу декомпозиції	Сутність методу
Декомпозиція процесу розвитку мережі (часова декомпозиція)		
1	Часова декомпозиція при оптимізації розвитку мереж	Планування розвитку електричної мережі на основі динамічного програмування [40–42]
2	Елементи часової декомпозиції впровадження КУ	Коригування потужностей КУ проводиться відповідно зміни параметрів мережі [43, 44]
Декомпозиція структури мережі (просторова декомпозиція)		
Методи декомпозиції, які використовуються при оптимізації мереж		
3	Декомпозиції мережі на основі декомпозиції математичної моделі	Спрощення процесу оптимізації шляхом спрощення математичної моделі оптимізації [45–48]
4	Дослідження складних систем частинами (метод Крона, діакоптика)	В основу методу покладено розрахунок режиму електричного кола по частинам, що дозволяє проводити декомпозицію складних систем при їх аналізі [49]
5	Декомпозиція мереж на основі їх ієрархії	Ділення мереж при їх оптимізації на: мережі районів, підприємства електричних мереж, електричні мережі електроенергетичних систем (ЕЕС); електричні мережі єдиної ЕЕС [50–52]
Елементи декомпозиції, які використовуються при розрахунку КРП		
6	Ділення мережі на розподільні та живильні	Розрахунок КРП в розподільних електричних мережах з врахуванням впливу живильних [16, 22, 30]
7	Ділення схеми мережі в точці поточкорозподілу	Оптимальний розподіл реактивної потужності в одних частинах мережі не залежить від параметрів інших частин мережі [53]

Із зазначеного у табл. 1.2 зупинимось на змісті основних методів декомпозиції.

В [40, 41] розроблені принципи планування розвитку електричних мереж на основі динамічного програмування, яке дозволяє значно зменшити кількість варіантів розвитку. При цьому показані переваги дискретного програмування. Математичні моделі розвитку значно

спрощуються через неврахування слабких зв'язків між окремими частинами електричних мереж.

В [42] розглядаються глобальні задачі планування розвитку енергосистем. Процес розвитку розглядається як марківський, що дає можливість застосовувати динамічне програмування. Сформовані основні принципи розвитку енергосистем: системний підхід, критерії оптимізації, математичні моделі оптимізації; прогнозування споживання електроенергії. Розвиток мережі інтерпретується як коригування її схеми та елементів, зумовлене ростом навантажень.

Розв'язання задачі в часі з урахуванням зростання реактивних навантажень запропоноване в [43], а в [44] – з урахуванням розвитку, як мереж підприємства, так і мереж енергосистеми. Але в цих роботах не розглядається оптимізація протягом процесу впровадження.

У [44] показано, що розвиток мереж і зростання навантажень приводить до необхідності корегування потужностей КУ у вузлах мереж. Проте, не обґрунтовується послідовність вузлів, в яких доцільно корегувати КУ.

Таким чином, в існуючих методах оптимізації розвитку мереж враховується їх часова декомпозиція. Також розглядається можливість часової декомпозиції процесу впровадження КУ. Але така можливість науково не обґрунтована.

Існуючі методи декомпозиції структури мереж розділено на такі, які використовуються при розрахунку та оптимізації режимів електричних мереж [45–48] і при розв'язанні задачі КРП в цих мережах [16, 22, 30, 53]. При цьому декомпозиції мережі передують декомпозиція математичної моделі, яка описує досліджуваний процес [45, 54]. Ця математична модель враховує основні параметри процесу оптимізації, нехтуючи певною кількістю факторів, які чинять на оптимізацію незначний вплив [55].

Класичним методом декомпозиції складних систем є метод Крона (діакоптика) [49]. В основу методу покладено розрахунок режиму електричного кола частинами, що дозволяє проводити декомпозицію мереж. Метод в основному орієнтований на розрахунок режиму мережі, а для оптимізаційних задач його застосування не досліджене. Крім того, інваріантність методу щодо втрат потужності є проблематичною, а в нашому випадку ця умова є головною.

При оптимізації режимів електричних мереж найбільш доцільним є їх ділення (декомпозиція) за ієрархічною ознакою: мережі районів, підприємства електричних мереж, електричні мережі електроенергетичних систем (ЕЕС); електричні мережі єдиної ЕЕС [51].

В існуючих методах розрахунку КРП використовуються елементи такої декомпозиції. Мережі діляться на живильні і розподільні. Розрахунок КРП в розподільних електричних мережах проводиться з врахуванням впливу живильних [16, 22, 30]. При цьому найбільш продуктивним може бути композиційне моделювання, яке використовує властивості ієрархічності систем для їх розділення (декомпозиція за слабкими зв'язками), коли отримана при цьому похибка виявляється в зоні невизначеності оптимальних рішень [55].

Ієрархія електричних мереж в певній мірі враховується в існуючих роботах за розрахунком КРП. Наприклад, при певних умовах оптимальний розподіл реактивної потужності в одних частинах мережі не залежить від параметрів інших частин мережі, що дозволяє проводити декомпозицію мережі при розв'язанні задачі КРП [56].

При розрахунку КРП ділення мереж також може проводитися в точках її розподілу потоків енергії, що дозволяє представити електричні мережі при розрахунку КРП деревоподібними підсхемами [53], які отримують живлення від мереж 110 кВ і вище. Таке представлення мережі дозволяє спростити рішення не тільки щодо вибору і розміщенню додаткових КУ, але і щодо регулювання напруги. Але цей підхід необґрунтований.

В [16, 22] декомпозиція проводиться шляхом двоетапного розрахунку КРП. На першому етапі розраховується вплив живильних мереж на процес КРП в розподільних, а на другому проводиться розрахунок цього процесу.

Проведений аналіз існуючих методів декомпозиції при розрахунку та оптимізації режимів електричних мереж показав:

- в існуючих методах розрахунку і оптимізації електричних мереж використовуються методи декомпозиції, в основу яких покладено декомпозицію математичної моделі;
- існуючі методи розрахунку КРП використовують елементи декомпозиції, але вони науково необґрунтовані;
- на КРП в розподільних електричних мережах впливають живильні мережі, що потребує аналізу цього впливу.

### **1.3 Вплив живильних мереж на компенсацію реактивної потужності в розподільних мережах**

Вплив живильних мереж на компенсацію реактивної потужності в розподільних мережах відображено в табл. 1.3. Розглянемо детальніше впливи, описані в таблиці.

Якщо розрахунок КРП проводиться за мінімумом приведених затрат на передачу та генерацію реактивної потужності, то вплив живи-

льних мереж відображається реактивною потужністю, яку доцільно передавати від живильних мереж в розподільні (ВРП). Проведемо аналіз цього впливу для розрахункової схеми, показаної на рис. 1.2.

В розподільних мережах в якості компенсувальних установок використовуємо КУ, які встановлюються на шинах 0,4 кВ трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ з питомими затратами на установлення та експлуатацію  $Z_{КУ}$ .

В цьому випадку матриця оптимальних значень ВРП знаходиться відповідно до [4, 44]:

$$Q_c^{opt} = R^{-1} \cdot C, \quad (1.1)$$

де  $R$  – матриця вузлових активних опорів мережі, сформована по відношенню до вузлів навантаження;  $C$  – стовпчикова матриця, всі елементи якої

$$C = \frac{Z_{КУ} \cdot U_n^2}{2c_0},$$

де  $c_0$  – питома вартість втрат потужності [16];  $U_n$  – номінальна напруга мережі.

Таблиця 1.3 – Вплив живильних мереж при розрахунку КРП в розподільних мережах

№ п. п.	Ознака впливу	Сутність впливу
1	Задана вхідна реактивна потужність для розподільної мережі	Вхідна реактивна потужність визначається за мінімумом затрат на передачу і генерацію реактивної потужності по живильних і розподільних мережах [3, 4, 16, 44]
2	Заданий коефіцієнт потужності для розподільної мережі	Коефіцієнт потужності визначається техніко-економічним станом розподільних мереж [34]
3	Задано рівні напруги на вході в розподільну мережу	Рівні напруги визначаються нормальною роботою споживачів [14]
4	Врахування зменшення втрат активної потужності в живильних мережах при КРП в розподільних	Втрати визначаються через еквівалентні економічні характеристики живильних мереж [20, 30]

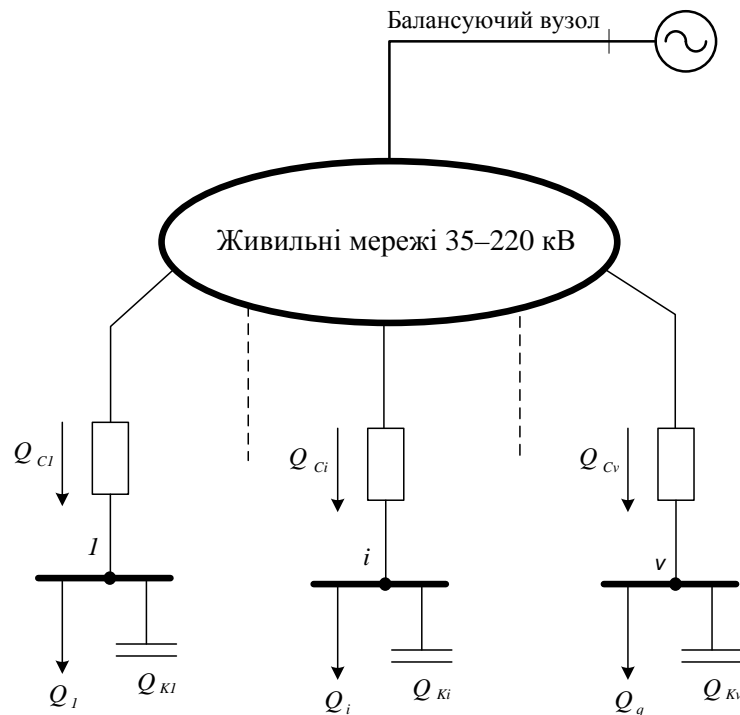


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема для розв’язання задачі за мінімумом приведених затрат на передачу та генерацію реактивної потужності

На рис. 1.2:  $Q_i, Q_{Ci}$  – відповідно, реактивні навантаження та ВРП для  $i$ -го вузла;  $Q_{Ki}$  – потужності КУ, установлені в  $i$ -му вузлі;  $i = 1 \dots v$ .

Відповідно, матриця величин потужностей КУ, які доцільно установити в вузлах мережі, запишеться таким чином:

$$\mathbf{Q}_{КУ} = \mathbf{Q} - \mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}, \quad (1.2)$$

де  $\mathbf{Q}$  – матриця, елементами якої є величини  $Q_i$ .

При визначенні потужності КУ за формулою (1.2) враховуються інтереси, як живильних, так і розподільних мереж.

Цей метод має такі недоліки.

1. В ринкових умовах різні частини мереж знаходяться на балансі різних підприємств, які мають різні економічні інтереси. Це потребує декомпозиції розрахункової схеми.

2. Існуючі методи розрахунку КРП не враховують те, що до мереж ЕК постійно приєднуються нові споживачі, і це потребує коригування ВРП для усіх вузлів електричної мережі.

В [34] вплив живильних мереж на розподільні задається нормованим коефіцієнт потужності, що науково необґрунтовано.

В [14, 52] напруга в вузлах живильних мереж визначається режимом реактивної потужності. Відповідно, ВРП для розподільної мережі визначається необхідним рівнем напруги.

Оскільки основним критерієм розрахунку КРП є зниження втрат, то вплив живильних мереж доцільно визначати зменшенням втрат в цих мережах при КРП в розподільних мережах [16, 30]. Цей розрахунок є громіздким і потребує великого об'єму інформації, що зумовлює необхідність еквівалентування живильних мереж при розрахунку КРП. Еквівалентування проводиться на основі затрат на передавання реактивної енергії по мережах ЕК до розподільних мереж [36]. Проаналізуємо це еквівалентування більш детально.

На рис. 1.3 живильні мережі представлені еквівалентним джерелом реактивної потужності  $M$ , від якого живиться розподільна мережа з реактивним навантаженням  $Q_i$ .

Функція втрат активної потужності в мережах ЕК від реактивного навантаження  $Q_i$ , визначається таким чином:

$$\Delta P(Q_i) = \sigma_i Q_i + \frac{\delta}{2} Q_i^2, \quad (1.3)$$

де  $\sigma_i$  та  $\delta_i$  – перша та друга похідні від функції сумарних втрат активної потужності в мережах енергосистеми  $\Delta P(Q_i)$  по реактивному навантаженню  $Q_i$  [30].

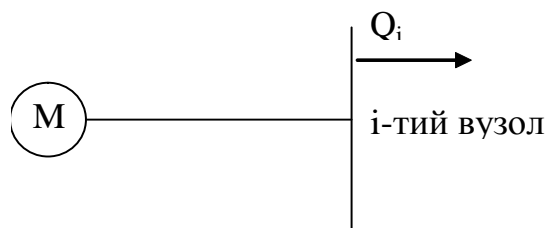


Рисунок 1.3 – Схема підключення розподільної мережі до  $i$ -го вузла енергосистеми

Матриці величин  $\sigma$  та  $\delta$  для мережі енергосистеми визначаються як

$$\sigma = \frac{2}{U^2} \mathbf{RQ}; \quad \delta = \frac{2}{U^2} \mathbf{R}_{kk}, \quad (1.4)$$

де  $R_{kk}$  – діагональні елементи матриці вузлових активних опорів  $\mathbf{R}$ .

З формули (1.4) видно, що економічні характеристики еквівалентного джерела реактивної потужності  $M$  залежать не тільки від реактивного навантаження  $i$ -го вузла, а і від реактивних навантажень інших вузлів енергосистеми.

Вплив живильних мереж визначається також з допомогою економічних еквівалентів реактивної потужності (ЕЕРП).

Існує низка методів з визначення ЕЕРП. В [36] показано, що величину ЕЕРП можна визначити як

$$D_i = \frac{d[\Delta P(Q_i)]}{dQ_i}. \quad (1.5)$$

Відповідно, величину приросту функції  $\Delta P_i(Q_i)$  при зміні  $Q_i$  на величину  $\Delta Q_i$  можна визначати як

$$\delta P_i = D_i \Delta Q_i, \quad (1.6)$$

якщо  $\Delta Q_i \ll Q_{pi}$ , де  $Q_{pi}$  – розрахункове реактивне навантаження  $i$ -го вузла.

При розрахунку величини  $\delta P_i$ , зумовленої навантаженням  $Q_{pi}$ , формула (1.6) дає велику похибку. Крім того в цьому випадку величина  $D_i$  залежить від реактивних навантажень всіх вузлів мережі, що ускладнює розрахунок.

В [57, 58] рекомендується розраховувати середнє значення ЕЕРП:

$$D_{ic} = \frac{\Delta P_{pi}}{Q_{pi}}, \quad (1.7)$$

де  $\Delta P_{pi}$  – втрати активної потужності, створені навантаженням  $Q_{pi}$ .

З формули (1.7) видно, що величина  $D_{ic}$  залежить від величини  $Q_{pi}$ . Тобто при різних значеннях  $Q_{pi}$  для одного і того ж вузла будемо мати різні величини  $D_{ic}$ . Це є недоліком цього підходу, оскільки ЕЕРП характеризує умови передачі потужності  $Q_i$  і не має залежати від величини цієї потужності.

Таким чином, виникає задача вдосконалення методів еквівалентування живильних мереж при розрахунку КРП в розподільних.

#### **1.4 Особливості розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній**

Розподільні мережі знаходяться на балансі енергопостачальних компаній або споживачів. Відповідно, можна виділити два напрямки розв'язання задачі: розрахунок КРП в розподільних мережах ЕК і споживачів. Хоча фізичні процеси КРП відбуваються однаково в цих мережах, вони мають певні техніко-економічні особливості, що впливають на розв'язання задачі.

Реактивні навантаження розподільних мереж ЕК створюють комунально-побутові споживачі, величина яких співмірна з промисловими [59], і задача їх компенсації є актуальною для міських та сільських розподільних мереж ЕК. Але комунально-побутові споживачі, які споживають 20000 кВт×год електроенергії і менше, не платять за реактивну енергію [36] і не проводять заходів з КРП. Відповідно, ці заходи повинні проводити ЕК, які неповною мірою використовують КРП для зниження втрат в своїх розподільних мережах. Основною причиною цього є неврахування впливу живильних мереж при розрахунку економічної ефективності КУ [30].

Крім того, не сприяють впровадженню КУ в розподільні мережі ЕК:

- з одного боку надто дорогі засоби компенсації, в основному імпортного виробництва, а з іншого – занижена вартість втрат, для визначення якої використовують оптовий тариф замість роздрібного, і суттєве зниження розрахункових реактивних навантажень і, відповідно, втрат від перетікань реактивної енергії;
- застосування для розрахунку КРП відомих методик не дозволяє обґрунтувати високий рівень КРП (значні терміни окупності);
- енергопостачальні компанії не можуть установити КУ в усіх навантажувальних вузлах одночасно через дефіцит коштів;
- в існуючих методиках розрахунку КРП не враховується те, що розподільні мережі ЕК живлять одночасно промислові і комунально-побутові споживачі, що дозволяє обґрунтувати більш високий ступінь КРП [44, 59].

Значну частину реактивних навантажень розподільних мереж енергопостачальних компаній (ЕК) становлять втрати реактивної



потужності в трансформаторах підстанцій 10/0,4 кВ. Ці втрати протягом року створюють значні втрати електроенергії у вказаних мережах і тому виникає доцільність їх компенсації. Існуючі методи розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних мережах ЕК [3, 4] не враховують цю обставину, що зумовлює необхідність розробки методу розрахунку компенсації вказаних втрат реактивної потужності.

В розподільних мережах ЕК з'явилося багато місцевих електростанцій. В [34, 60, 61] показано, що їх генератори можуть покривати значне реактивне навантаження розподільних мереж і знижувати втрати електроенергії в мережах 35, 110 кВ.

Зокрема у вказівках [34], за якими проводився розрахунок КРП з 1961 року по 1974 рік, рекомендоване значення коефіцієнта потужності для споживачів, які живились безпосередньо від МЕ, рівнялось 0,85. Тим самим однозначно визначалась доцільність використання цих електростанцій для КРП. Також в інструкції [61] вхідну реактивну потужність для споживачів, які мають синхронні машини, рекомендується знаходити як  $Q_v = Q_\phi - 0,7 \cdot Q_{cm}$ , ( $Q_\phi$  – фактичне реактивне навантаження споживача,  $Q_{cm}$  – реактивна потужність синхронних машин). Наведена формула практично однозначно визначає доцільність використання синхронних генераторів МЕ для КРП.

З іншого боку в існуючих методах з розрахунку КРП [4, 30] не показано, яким чином враховувати вплив живильних мереж при розрахунку вказаного використання МЕ.

Таким чином, виникає необхідність в розробці методу розрахунку впровадження компенсувальних установок в розподільні мережі ЕК, який би враховував взаємний вплив рішень щодо КРП в живильних та розподільних мережах ЕК і наявність МЕ.

## **Висновки до розділу 1**

Проведений аналіз існуючих методів розрахунку КРП в розподільних електричних мережах ЕК показав необхідність розробки системи впровадження компенсувальних установок. Це потребує розв'язання задач, які показані на рис. 1. 4.



Рисунок 1.4 – Сформовані задачі роботи і зв'язки між ними

## 2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КУ В РОЗПОДІЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

На сьогоднішній день відсутні методи розрахунку впровадження КУ (визначення послідовності встановлення КУ та їх потужностей) в розподільні електричні мережі, які б в повній мірі враховували ринкові відносини між енергетичними підприємствами та технічні умови встановлення КУ. Це потребує розробки основних теоретичних положень цього впровадження, які б давали можливість враховувати вказані умови і розробити відповідні методи.

### 2.1 Вихідні положення

Впровадження проектних рішень щодо компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах, одержаних за існуючими методами [4, 16, 24, 30], неможливе в силу технічних та фінансових обмежень і розтягується на тривалий період, що дозволяє розглядати його як процес. Під процесом впровадження КУ будемо розуміти послідовність установаження КУ в тих або інших вузлах електричної мережі в певні моменти часу, які визначаються існуючою системою планування [38].

Перехід електричної мережі з поточного стану в оптимальний представимо функцією економічного показника  $K(A_t, Q_{kt}, Q_t, t)$ , яка залежить від часу  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ , де  $T$  – період впровадження), векторів потужностей КУ та реактивних навантажень, відповідно,  $Q_{kt}, Q_t$ ;  $A_t$  – матриця, елементи якої формуються техніко-економічними характеристиками мережі.

Оскільки впровадження проводиться протягом періоду  $T$ , то задачу доцільно оцінювати за інтегральним значенням показника за цей період:

$$K_{\Sigma} = \int_0^T K(A_t, Q_{kt}, Q_t, t) dt. \quad (2.1)$$

При цьому необхідно забезпечити виконання техніко-економічних умов функціонування мережів, на які впливає установаження КУ

$$\sum_1^n C_t Q_{kt} \langle D_t, \quad (2.2)$$

де  $C_t$  – прямокутна матриця коефіцієнтів, які визначаються параметрами мережі;  $D_t$  – матриця-стовпець, елементи якої визначаються техніко-економічними обмеженнями.

Основними характеристиками впровадження КУ є функції зниження втрат потужності  $\delta P(Q_{kt})$  та енергії  $\delta W(Q_{kt})$  в залежності від потужності КУ  $Q_{kt}$ . Проведемо аналіз цих функцій для елементарної мережі (рис. 2.1).

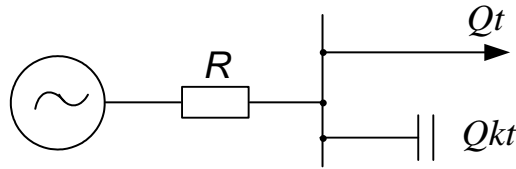


Рисунок 2.1 – Схема елементарної мережі:  $R$  – активний опір мережі,  $Q_t$ ,  $Q_{kt}$  – відповідно, реактивне навантаження мережі та потужність КУ для часу  $t$

Для заданої мережі функція  $\delta W(Q_{kt})$  запишеться таким чином:

$$\delta W(Q_{kt}) = \frac{R}{U_n^2} (2Q_t Q_{kt} - Q_{kt}^2) t. \quad (2.3)$$

На рис. 2.2 показано графіки функцій: а –  $\delta W(Q_{kt}, t)$ ; б –  $\delta P(Q_{kt})$ . З графіка 2.2а видно, що величини зниження втрат електроенергії  $\delta W(Q_{kt}, t)$  залежать, як від потужності КУ  $Q_{kt}$ , так і від тривалості їх використання  $t$ . При  $t = \text{const}$  одержуємо залежність

$$\delta P(Q_{kt}) = \frac{R}{U_n^2} (2Q_t Q_{kt} - Q_{kt}^2), \quad (2.4)$$

графік якої є лінією перерізу поверхні  $\delta W(Q_k, t)$  і показаний на рис. 2.2.б.

Залежність  $\delta W(Q_k, t)$  є сукупністю графіків  $\delta P(Q_{kt})$ , які показують зміну зниження втрат потужності в залежності від потужності КУ для моменту часу  $t$  (етапу впровадження).

Практично  $t$  змінюється дискретно відповідно до існуючої системи планування [38]. Виникає питання, яку потужність КУ необхідно встановити на кожному етапі?

Цю задачу можна розв'язати двома способами:

- забезпечуючи найкраще рішення на кожному етапі;
- приймаючи рішення на кожному з етапів таким, щоб забезпечити найкращий результат за весь період впровадження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
2. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей / В. Г. Холмский. – М. : Высшая школа, 1975. – 280 с.
3. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах / Ю. С. Железко. – М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.
4. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей / И. Н. Ковалев. – М. : Энергоатомиздат, 1990.–200 с.
5. Будзко И. А. Электроснабжение сельськохозяйственных предприятий и населенных пунктов. / И. А. Будзко, М. С. Левин. – М. : Агропромиздат, 1985. – 319 с.
6. Метод впровадження конденсаторних установок в районні електричні мережі / [А. А. Чаленко, А. О. Демов, О. Д. Демов, Хінді Айман Тахер] // Энергетика и электрификация. – 2003. – № 2. – С. 35–39.
7. Павловський В. В. Інженерний розрахунок втрат потужності і енергії в електричних мережах, оснований на моделюванні установившихся режимів. / В. В. Павловський, Г. Е. Куденко // Електричні мережі та системи. – 2004. – № 3. – С. 17–22.
8. Поспелов Г. Е. Потери мощности и энергии в электрических сетях / Г. Е. Поспелов, Н. Сыч. – М. : Энергоиздат, 1981. – 216 с.
9. Мельников Н. А. Электрические сети и системы / Н. А. Мельников. – М. : Энергия, 1969. – 456 с.
10. Мельников Н. А. Реактивная мощность в электрических сетях / Н. А. Мельников. – М. : Энергия. – 1975. – 128 с.
11. Маркович И. М. Режимы электрических систем / И. М. Маркович. – М. : Энергия, 1969. – 352 с.
12. Электрические системы, Т. 2. Электрические сети / под ред. В. А. Веникова. – М. : Высшая школа, 1971. – 438 с.
13. Холмский В. Г. Решение проектной задачи оптимального распределения реактивных мощностей методом потенциалов затрат / В. Г. Холмский, Ю. В. Щербина, С. В. Колесников // Электрические сети и системы. – 1968. – Львов : Высшая школа. – Вып. 4. – С. 69.
14. Мельников Н. А. Регулирование напряжения в электрических сетях / Н. А. Мельников, Л. А. Солдаткина. – М. : Энергия, 1968. – 124 с.

15. Железко Ю. С. Стратегия снижения потерь и повышения качества электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко // Электричество. – 1992. – № 5. – С. 6–12.
16. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях [Утв. Госэнергонадзором СССР 30.08.73]. – М. : Энергия, 1974. – 73 с.
17. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.
18. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи : навч. посіб. / М. С. Сегеда. – Львів : Каменяр, 1999. – 296 с.
19. Варецкий Ю. О. Регулирование напряжения в сети за помощью статического компенсатора / Ю. О. Варецкий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – № 5. – С. 69–73.
20. Економічні еквіваленти реактивної потужності. Математичний та чисельний аналіз. / [О. С. Яндульський, М. Д. Банін, А. М. Боднар, А. В. Гнатовський] // Промелектро – 2004. – № 1. – 22–33 с.
21. Баркан Л. Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. / Л. Д. Баркан. – М. : Энергия, 1978. – 112 с.
22. Рогальський Б. С. Методи розрахунку електроспоживання і компенсуючих установок та системи управління ними (на промислових підприємствах, включаючи нерудні кар'єри): дис. д-ра техн. наук : 05.09.03 / Б. С. Рогальський. – Дніпропетровськ, 1999. – 301 с.
23. Гительсон С. М. Экономические решения при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий. / С. М. Гительсон. – М. : Энергия, 1971. – 256 с.
24. Грейсух М. В. Расчеты по электроснабжению промышленных предприятий / М. В. Грейсух, С. С. Лазарев. – Энергоатомиздат, 1971. – 312 с.
25. Глазунов А. А. Электрические сети и системы: издание четвертое, переработанное и дополненное / А. А. Глазунов, А. А. Глазунов. – М. : Госэнергоиздат, 1960. – 368 с.
26. Зорин В. В. К вопросу об оплате за реактивную электрическую энергию. / В. В. Зорин // Технічна електродинаміка, 2004. – № 1. – 68–72 с.
27. Зорин В. В. Моделирование и оптимизация режимов электрических сетей: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. д-ра техн. наук: спец. 05.14.02 // В. В. Зорин «Електричні станції, мережі та управління ними». – Моск. енерг. ін-т. – М., 1983. – 34 с.
28. Кузнецов В. Г. Оптимизация режимов электрических сетей / В. Г. Кузнецов, Ю. И. Тугай, В. А. Баженов. – К. : Наукова думка, 1992. – 216 с.

29. Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 122 с.
30. Карпов Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / Ф. Ф. Карпов. – М. : Энергия, 1975. – 184 с.
31. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
32. Указания по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий [Утв. Главэлектромонтажем Минмонтажспецстроя СССР приказом № 9–12–17 от 3.10.1984]. – М. : 1984.
33. Основы построения промышленных сетей / [Г. М. Каялов, С. А. Каждан, И. Н. Ковалев, Э. Г. Куренный]. – М. : Энергия, 1978. – 112 с.
34. Руководящие указания по повышению коэффициента мощности в установках потребителей электрической энергии. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 20с.
35. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного споживача та субспоживача) [Затверджено наказом № 1 Міністерства палива та енергетики України від 05.01.2006 р.
36. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами // Офіційний вісник України. – 2002. – № 6. – С. 25–31.
37. Гудко Є. І. Про доцільність установлення конденсаторних батарей у промислових електричних мережах у сучасних економічних умовах / Є. І. Гудко, О. Д. Демов, Л. Б. Терешкевич // Енергетика і електрифікація. – 1997. – № 2. – С. 30–31.
38. Указания по расчету экономической эффективности. Утв. Минэнерго Украины приказом № 1 ПС от 23.02.95. – Министерство энергетики и электрификации. – К. – 51 с.
39. Економіка підприємства. Під ред. С. Ф. Покропивного. В 2 т. – К. : Хвиля-Прес, 1995. – 782 с.
40. Дале В. А. Динамическая оптимизация развития электрических сетей. / В. А. Дале, З. П. Кришан, О. Г. Паэгле. – Рига : Зинатне, 1990. – 248 с.
41. Дале В. А. Динамическое программирование в расчетах развития электрических сетей / В. А. Дале, З. П. Кришан, О. Г. Паэгле. – Рига, 1969. – 120 с.

42. Арзамасцев Д. А. Модели оптимизации развития энергосистем. / Д. А. Арзамасцев, А. В. Липес, А. Л. Мызин. – М. : Высшая школа, 1987. – 272 с.
43. Козырь В. Н. Исследования условия оптимальной компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / В. Н. Козырь. – М. : Моск. энерг. ин-т, 1973. – 29 с.
44. Демов А. Д. Определение входных реактивных мощностей для городских потребителей электроэнергии. дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / А. Д. Демов. – К. : Киевск. политехн. ин-т. –1984. – 140 с.
45. Павловский Ю. Н. Декомпозиция моделей управляемых систем. (Сер. «Математика кибернетика»; № 8) / Ю. Н. Павловский. – М. : Знание, 1985. – 32 с.
46. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981.
47. Крумм Л. А. Анализ и управление установившимися состояниями электроэнергетических систем. / Л. А. Крумм, А. З. Гамм. – Новосибирск : Наука, 1987. –230 с.
48. Горнштейн В. М. Методы оптимизации режимов энергосистем. / В. М. Горнштейн, Б. П. Мирошниченко, А. В. Пономарев. – М. : Энергия, 1981. – 336с.
49. Крон Г. Исследование сложных систем по частям. / Г. Крон. – М. : Наука, 1981. – 542 с.
50. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики / Л. А. Мелентьев. – М. : Высшая школа, 1976. – 336 с.
51. Веников В. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем / В. А. Веников, В. Г. Журавлев, Т. А. Филиппова. – М. : Энергоиздат, 1981. – 464 с.
52. Идельчик В. И. Электрические системы и сети / В. И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
53. Сиуда И. П. Алгоритм расчета мощности компенсирующих устройств в сетях электроэнергетических систем / И. П. Сиуда, В. И. Свешников // Известия академии наук СССР, 1978. – № 2. – С. 148–152.
54. Бусленко Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. В. Коваленко. – М. : Советское радио, 1973 – 440 с.
55. Горбачов В. О. Технології моделювання систем. / В. О. Горбачов. – Харків : Компанія СМІТ, 2005. – 180 с.
56. Журавлев В. Г. Применение принципа сокращения схемы для наиболее выгодного размещения источников реактивной мощности /



В. Г. Журавлев, В. Д. Арион // Промышленная энергетика – 1976. – № 4. – С. 36–39.

57. Концепція компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів та енергопостачальних компаній / [Б. С. Рогальський, О. М. Нанака, А. В. Праховник і ін.] // Энергетика и электрификация. – 2005. – № 6. – С. 23–30.

58. Нанака О. М. Формування умов оптимальності компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів і енергопостачальних компаній. автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / О. М. Нанака. – Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2011. – 12 с.

59. Зорин В. В. Особенности определения мест установки и мощности батарей конденсаторов в узлах городской сети / В. В. Зорин, А. Д. Демов // Республиканский межведомственный научно-технический сборник : Электрические сети и системы. – Львов : Высшая школа, 1981. – Вып. 17. – С. 108–112.

60. Инструкция по системному расчету реактивной мощности в электрических сетях. – М. : Союзтехэнерго, 1981. – С. 112–125.

61. Инструкция по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях // Промышленная энергетика. – 1990. – № 7. – С. 50–55.

62. Омельчук А. О. Обґрунтування раціональних параметрів і режимів джерел реактивної потужності в електричних мережах різних рівнів напруги / А. О. Омельчук, А. М. Скрипник // Энергетика і автоматика. – 2012. – № 4. – С. 1–6.

63. Омельчук А. О. Щодо балансу реактивної потужності в мережах живлення в нових нормативних перетоках реактивної потужності в Україні. / А. О. Омельчук, А. М. Скрипник, В. С. Трондюк // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – № 161. – С. 111–119.

64. Железко Ю. С. Окупаемость конденсаторных установок / Ю. С. Железко. – Электрические станции. – 1977. – Т. 2. – С. 11–13.

65. Демов Олександр. Аналіз економічних характеристик впровадження та використання конденсаторних установок в мережах промислових підприємств / Демов Олександр, Хінді Айман Тахер, Борис Володимир // Праці УІІ Міжнар. конф. «Контроль і управління в складних системах». – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 174 с.

66. Демов О. Д. Планування електроспоживання промислових підприємств та управління ним. Монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 103 с.

67. Электрические системы. Кибернетика электрических систем / [Ю. Н. Астахов, В. А. Веников, Ю. Н. Горский и др.] ; под ред. В. А. Веникова. – М. : Высшая школа, 1974. – 328 с.

68. Астахов Ю. Н. Применение критериального метода в электроэнергетике. / Ю. Н. Астахов, П. Д. Лежнюк. – К. : УМК ВО, 1989. – 139 с.

69. Демов О. Д. Аналіз економічних показників установаження конденсаторних батарей в промислових електричних мережах з урахуванням ринкових умов / О. Д. Демов, Хінді Айман Тахер // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 2. – С. 79–82.

70. Демов О. Д. Аналіз рентабельності використання конденсаторних в промислових електричних мережах. / О. Д. Демов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 1.

71. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1988. – 208 с.

72. Реклейтис Г. Оптимизация в технике. В 2-х книгах. Книга 1 / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел ; пер. с англ. к. т. н. В. Я. Алтаева, В. И. Моторина. – М. : Мир, 1986. – 347 с.

73. Демов А. Д. Перспективное решение вопросов компенсации реактивной мощности в электрических сетях с помощью батарей конденсаторов / А. Д. Демов // Информационные и моделирующие системы в электронике и электроэнергетике. – К. : Наукова думка, 1980. – 140 – 142 с.

74. Демов О. Д. Декомпозиція функції зниження втрат від реактивних навантажень електричних мереж на основі формули Тейлора. / О. Д. Демов, О. В. Слободянюк, О. П. Паламарчук // «Оптимальне керування електроустановками» : міжн. науков.-техн. конф., 2011 р. : тези допов. – Вінниця. – С. 67.

75. Демов О. Д. Декомпозиція функції зниження втрат від реактивних навантажень електричних мереж на основі формули Тейлора / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук // Конференції КУСС-2010 : міжнар. наук.-техн. конф. : тези допов. – Вінниця, 2010. – С. 169.

76. Демов О. Д. Абсолютна та відносна декомпозиції електричних мереж при розрахунку компенсування реактивної потужності в них / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2. – С. 44–49.

77. Демов О. Д. Декомпозиція електричних мереж при розрахуванні компенсування реактивної потужності в них / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук // Вісник національного університету Львівська політехніка, Електроенергетичні та електромеханічні системи. – № 637. – 2009. – С. 24–27.

78. Демов О. Д. Декомпозиція функції втрат активної потужності в електричних мережах при розрахунку компенсації реактивної потужності / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук // Вісник КДУ. – № 3. – 2010. – С. 117–120.

79. Демов О. Д. Декомпозиція електричних мереж при розрахунку компенсації реактивної потужності на основі формули Тейлора / О. Д. Демов, В. С. Закарчевська // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах : міжнар. наук.-техн. конф. : тези допов. – Луцьк, 2012. – С. 133–135.

80. Декомпозиція функції зниження втрат при розрахунку компенсації реактивної потужності на основі формули Тейлора / [В. М. Пірняк, О. Д. Демов, О. В. Слободянюк, О. П. Паламарчук] // Енергетика та електрифікація.– 2012. – № 3. – С. 36–39.

81. Демов О. Д. Використання формули Тейлора для декомпозиції електричних мереж при розрахунку компенсації реактивної потужності на основі. / О. Д. Демов, О. В. Слободянюк, Д. А. Базалицький // Електронний журнал «Наукові праці Вінницького національного університету». – 2012. – № 9. – С. 1–5.

82. Демов О. Д. Компенсація втрат реактивної реактивної потужності в трансформаторах 10/0,4 кВ розподільних мереж енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, А. Б. Миндюк, І. О. Бандура // Оптимальне керування електроустановками : міжнар. наук.-техн. конференція : тези допов. – Вінниця, 2011. – С. 68.

83. Демов О. Д. Розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільні мережі енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, І. О. Бандура, Ю. А. Григораш // Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств : міжнар. наук. сем. : тези допов. – Луцьк, 2010. – С. 65–68.

84. Демов О. Д. Розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільні мережі енергопостачальних компаній при дефіциті коштів/ О. Д. Демов, А. Б. Миндюк, І. О. Бандура // Новини енергетики. – 2011. – Вип. № 38. – 44 с.

85. Демов О. Д. Визначення послідовності місць установлення конденсаторних установок в мережах енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, Ю. А. Григораш, О. І. Бандура // КУСС-2010 : міжнар. наук.-техн. конф. : тези допов. – Вінниця, 2010. – С. 170.

86. Демов О. Д. Компенсація втрат реактивної реактивної потужності в трансформаторах 10/0,4 кВ розподільних мереж енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, А. Б. Миндюк, І. О. Бандура // Новини енергетики. – 2011. – С. 27–31.

87. Толасов А. Г. Потери на транзит электроэнергии и их распределение между участниками энергообмена / А. Г. Толасов // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 20–25.

88. Демов О. Д. Розподіл втрат від передачі реактивної потужності в мережах енергопостачальних компаній між споживачами. / О. Д. Демов, А. Ж. Войнаровський, В. В. Захаров // Промелектро. – 2006. – № 1. – С. 12–15.

89. Дюбин Г. Н. Введение в прикладную теорию игр / Г. Н. Дюбин, В. Г. Суздаль. – М. : Наука, 1981. – 336 с.

90. Демов А. Д. Корректирование входных реактивных мощностей промышленных предприятий. / А. Д. Демов, Н. П. Свиридов // Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Электрические сети и системы». – К. : Вища школа, 1986. – Вып. 22. – С. 61–65.

91. Метод коректування вхідних реактивних потужностей / [О. Д. Демов, М. П. Свиридов, О. П. Паламарчук, В. В. Захаров] // Електронний журнал «Наукові праці Вінницького національного університету». – 2008. – № 1. – С. 1–5.

92. Демов О. Д. Коригування вхідних реактивних потужностей споживачів з урахуванням економічної стійкості / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук // Технічна електродинаміка, 2009. – № 5. – С. 44–47.

93. Демов О. Д. Оптимізація процесу коректування вхідних реактивних потужностей споживачів / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук // КУСС–2008 : міжнар. наук.-техн. конф. : тези допов. – Вінниця, 2008. – 151 с.

94. Використання сільських електростанцій для зниження втрат електроенергії в електричних мережах / [О. Д. Демов, Н. М. Гуменна, О. П. Паламарчук, В. В. Захаров] // Енергетика і електрифікація. – № 8. – 2007. – С. 37–40.

95. Демов О. Д. Використання місцевих електростанцій для компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах енергопостачальних компаній / [О. Д. Демов, О. П. Паламарчук, В. В. Захаров, Н. М. Гуменна] // Промелектро, 2007. – № 3. – С. 23–26.

96. Демов О. Д. Ще раз про доцільність використання місцевих електростанцій для компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах енергопостачальних компаній / [О. Д. Демов, О. П. Паламарчук, В. В. Захаров, Н. М. Гуменна] // Промелектро, 2008. – № 2. – С. 44–46.

*Наукове видання*

**Демов Олександр Дмитрович**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВПРОВАДЖЕННЯ  
КОМПЕНСУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК  
В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ  
ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ**

**Монографія**

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено О. Демовим

Підписано до друку 28.03.2016 р.

Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. др. арк. 5,31.

Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2016-09

Вінницький національний технічний університет,

КІВЦ ВНТУ,

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-85-32.

**publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.**

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.

21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.