

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Підвищення якості електричної енергії в
системах електропостачання сільськогосподарських
споживачів»

Виконав

(підпис)

Савченко С. С.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301М

(Науковий) керівник:

(підпис)

Савойський О. Ю.
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Савченку Сергію Сергійовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів

керівник роботи: Савойський Олександр Юрійович, старший викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «18» березня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Річні звіти базового підприємства, нормативно-технічна документація, наукові та літературні джерела

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1. Аналіз методів підвищення якості електричної енергії

2. Обґрунтування параметрів системи компенсації реактивної потужності для покращення якості електропостачання сільськогосподарських споживачів

3. Охорона праці

4. Економічне обґрунтування

Висновки та пропозиції

Список використаної літератури

Додатки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 04.10.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 11.10.2024 р.	
3	Написання вступу	до 18.10.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 01.11.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 29.11.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 10.01.2025 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 28.02.2025 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 07.03.2025 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 10.03.2025 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 14.03.2025 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 19.03.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Савченко С. С.)

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

(підпис)

(Савойський О. Ю.)

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Савченко С. С. Підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів. Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Дипломна робота присвячена актуальній проблемі підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів. Основний акцент зроблено на методах компенсації реактивної потужності, що дозволяють зменшити втрати електроенергії, покращити параметри якості електричної енергії та підвищити ефективність функціонування електричних мереж.

У першому розділі роботи проведено аналіз особливостей електропостачання сільськогосподарських споживачів та основних факторів, що впливають на якість електроенергії. Розглянуто існуючі методи підвищення якості електричної енергії, включаючи використання компенсувальних пристроїв, фільтрів вищих гармонік, стабілізаторів напруги та інтелектуальних систем управління електроспоживанням. Особлива увага приділена проблемам компенсації реактивної потужності в сільських електричних мережах, де значна відстань між споживачами та недостатня модернізація мереж створюють додаткові труднощі.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню параметрів системи компенсації реактивної потужності. Проведено систематизацію вихідних даних, визначено рівень втрат електроенергії в нормальному режимі роботи мережі, проаналізовано різні типи пристроїв компенсації реактивної потужності та обґрунтовано їх вибір. Розраховано зниження втрат потужності при застосуванні запропонованих заходів та визначено ефективність їх впровадження. Також розроблено рекомендації щодо експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності, що сприятимуть підвищенню енергетичної

ефективності мереж та зменшенню експлуатаційних витрат.

Третій розділ містить аналіз заходів з охорони праці при експлуатації електроустановок та пристроїв компенсації реактивної потужності. Описані основні ризики, пов'язані з експлуатацією електричних мереж, запропоновані методи їх мінімізації та дотримання норм безпеки.

Четвертий розділ містить економічне обґрунтування впровадження системи компенсації реактивної потужності. Проведено розрахунки вартості обладнання, його монтажу та експлуатаційних витрат. Визначено період окупності та економічні вигоди від зменшення витрат електроенергії та покращення якості електропостачання.

Результати дослідження можуть бути використані для модернізації електричних мереж, зменшення витрат електроенергії та підвищення енергоефективності в агропромисловому секторі.

Ключові слова: якість електричної енергії, сільськогосподарські споживачі, компенсація реактивної потужності, енергетичні втрати, електричні мережі, енергетична ефективність, пристрої компенсації, експлуатаційні витрати.

ABSTRACT

Savchenko S. S. Improving the Quality of Electric Power in the Power Supply Systems of Agricultural Consumers. Master's thesis for obtaining the higher education degree "Master" in the specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The master's thesis is devoted to the relevant issue of improving the quality of electric power in the power supply systems of agricultural consumers. The main focus is on reactive power compensation methods, which allow for reducing energy losses, improving power quality parameters, and enhancing the efficiency of electrical networks.

The first chapter of the thesis analyzes the features of power supply for agricultural consumers and the main factors affecting power quality. Existing methods for improving electric power quality are considered, including the use of compensating devices, harmonic filters, voltage stabilizers, and intelligent energy management systems. Special attention is given to the problem of reactive power compensation in rural electrical networks, where long distances between consumers and insufficient modernization of the grid create additional difficulties.

The second chapter is devoted to the justification of the parameters of the reactive power compensation system. The initial data are systematized, the level of energy losses in the normal operating mode of the network is determined, various types of reactive power compensation devices are analyzed, and their selection is justified. The reduction of power losses with the proposed measures is calculated, and the efficiency of their implementation is determined. Recommendations for the operation of reactive power compensation devices are also developed, contributing to increased energy efficiency of the network and reduced operational costs.

The third chapter includes an analysis of occupational safety measures in the operation of electrical installations and reactive power compensation devices. The main risks associated with the operation of electrical networks are described, along

with proposed methods for their minimization and adherence to safety standards.

The fourth chapter provides an economic justification for implementing a reactive power compensation system. The cost of equipment, installation, and operational expenses is calculated. The payback period and economic benefits of reducing energy losses and improving power supply quality are determined.

The research results can be used for the modernization of electrical networks, reduction of energy losses, and enhancement of energy efficiency in the agro-industrial sector.

Keywords: power quality, agricultural consumers, reactive power compensation, energy losses, electrical networks, energy efficiency, compensation devices, operational costs.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	11
1.1. Особливості електропостачання сільськогосподарських споживачів...	11
1.2. Методи підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів	12
1.3. Проблеми компенсації реактивної потужності в сільських мережах....	17
1.4. Висновки до розділу.....	19
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ	21
2.1. Систематизація вихідних даних	21
2.2. Визначення втрат електроенергії в нормальному режимі роботи.....	24
2.3. Вибір типу та потужності пристрою компенсації реактивної потужності.....	26
2.4. Визначення втрат потужності в мережі з компенсацією реактивної потужності.....	29
2.5. Визначення ефективності застосування пристроїв компенсації реактивної потужності.....	31
2.6. Розробка рекомендацій щодо експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності.....	31
2.7. Висновки до розділу.....	33
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	34
4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	39
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	43
ДОДАТКИ	46

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність дослідження проблеми підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів зумовлена зростаючими вимогами до стабільності та надійності енергопостачання. У сучасних умовах сільське господарство активно впроваджує новітні технології, зокрема автоматизовані системи управління, електрифіковані механізми та енергоємне обладнання, які є чутливими до параметрів електроенергії. Відхилення напруги, частоти, гармонійні спотворення, технічні втрати енергії та інші показники низької якості електроенергії можуть спричинити збої в роботі обладнання, підвищене енергоспоживання, скорочення ресурсу електропристроїв та значні фінансові втрати.

Крім того, важливим фактором є зростання використання відновлюваних джерел енергії в аграрному секторі, таких як сонячні та вітрові електростанції, що вимагає ефективної інтеграції цих джерел у мережу без погіршення якості електроенергії. Недостатня увага до проблеми може призвести до нестабільності електропостачання, що є критичним для життєдіяльності сільських господарств, особливо з огляду на безперервні виробничі процеси, такі як зберігання і переробка продукції, утримання худоби та робота іригаційних систем.

Враховуючи ці фактори, дослідження методів і засобів підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів є актуальним та необхідним. Оптимізація параметрів електропостачання сприятиме підвищенню ефективності роботи сільськогосподарських підприємств, зменшенню втрат електроенергії та забезпеченню стабільності енергетичної системи.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та розробка ефективних методів і технічних рішень для підвищення якості та зменшення

втрат електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів..

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі способи та методи підвищення якості електропостачання сільськогосподарських споживачів;
- скласти схематичне зображення з усередненими параметрами електричної мережі 6-10/0,4 кВ;
- провести розрахунок втрат електричної енергії на схемі без компенсації реактивної потужності (КРП);
- визначити потужність і кількість пристроїв компенсації реактивної потужності;
- розрахувати втрати енергії з установкою компенсації реактивної потужності;
- провести економічне обґрунтування ефективності використання нерегульованих конденсаторних батарей.

Об'єктом дослідження є система електропостачання сільськогосподарських споживачів.

Предметом дослідження є методи та технічні засоби підвищення якості та зменшення втрат електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів.

Практичне значення отриманих результатів. Результати можуть бути використані при модернізації існуючих електромереж сільськогосподарських підприємств, проектуванні нових систем електропостачання, а також у впровадженні автоматизованих систем контролю та регулювання параметрів електроенергії. Практичне впровадження досліджених заходів сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, подовженню терміну служби електрообладнання та підвищенню продуктивності аграрного виробництва.

Апробація результатів роботи. Основні результати дослідження були представлені та обговорені на міжнародній науково-практичній конференції, за результатами роботи якої опубліковано дві тези доповіді [1, 2].

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1. Особливості електропостачання сільськогосподарських споживачів

Особливості електропостачання сільськогосподарських споживачів визначаються специфікою аграрного виробництва, розосередженістю споживачів на значних територіях, сезонністю навантажень та використанням широкого спектра електрообладнання. Сільськогосподарські підприємства включають різні об'єкти, такі як тваринницькі комплекси, зерносховища, іригаційні системи, тепличні господарства, переробні цехи та адміністративні будівлі, кожен із яких має свої вимоги до якості та надійності електропостачання.

Електричні мережі в сільській місцевості часто характеризуються великою довжиною ліній електропередачі, що спричиняє значні втрати напруги та зниження її стабільності. Крім того, значна частина електрообладнання, такого як електродвигуни, зварювальні установки, насоси та холодильні установки, створює нерівномірні навантаження та реактивну потужність, що негативно впливає на параметри електроенергії.

Сезонність сільськогосподарських робіт також суттєво впливає на режими електроспоживання. У періоди активної польової діяльності, зокрема під час посівної та збиральної кампаній, спостерігається різке зростання навантаження, що може перевищувати середньорічні показники в кілька разів. Водночас у зимовий період енергоспоживання багатьох об'єктів суттєво зменшується. Такі коливання ускладнюють оптимальне проектування систем електропостачання та регулювання параметрів мережі.

Ще одним важливим аспектом є інтеграція відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних і вітрових електростанцій, які активно впроваджуються у сільському господарстві для зменшення залежності від централізованого

електропостачання. Однак їх робота створює додаткові виклики, зокрема нестабільність генерації, необхідність зберігання електроенергії та балансування навантажень.

Враховуючи ці особливості, системи електропостачання сільськогосподарських споживачів вимагають впровадження заходів для підвищення якості електроенергії, зокрема стабілізації напруги, компенсації реактивної потужності та мінімізації впливу гармонійних спотворень. Це дозволить забезпечити надійну роботу електрообладнання, зменшити втрати електроенергії та підвищити ефективність аграрного виробництва [3, 4].

1.2. Методи підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів

Методи підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів охоплюють широкий спектр технічних рішень, спрямованих на мінімізацію негативного впливу нестабільності параметрів електроенергії. Основними проблемами, що потребують вирішення, є коливання напруги, гармонійні спотворення, несиметрія фаз, короткочасні перебої електропостачання та значні втрати електроенергії в розгалужених сільських електромережах. Кожен із цих факторів негативно впливає на роботу електрообладнання, зменшуючи його ефективність і знижуючи термін служби [5].

Колівання напруги є однією з найпоширеніших проблем у сільських електромережах, що виникає внаслідок великої протяжності ліній електропередачі, нерівномірного розподілу навантаження, роботи потужних електродвигунів та нестабільної генерації відновлюваних джерел енергії. Зміни напруги можуть викликати порушення роботи електропристроїв, особливо систем автоматизації та електронного обладнання. Одним із ефективних способів стабілізації напруги є використання автоматичних регуляторів напруги, які дозволяють підтримувати її в заданих межах шляхом

зміни коефіцієнта трансформації або введення коригуючої напруги. Додатково застосовуються стабілізатори напруги, які компенсують відхилення та захищають обладнання від перепадів напруги [6].

Гармонійні спотворення, що виникають через роботу нелінійних електроприймачів, таких як частотні перетворювачі, електродвигуни, випрямлячі та електронні пристрої, можуть призводити до перегріву кабельних ліній, додаткових втрат електроенергії та зниження надійності роботи мережі. Для боротьби з цим явищем застосовуються пасивні та активні фільтри гармонік. Пасивні фільтри, що складаються з індуктивно-ємнісних контурів, налаштовуються на певні гармонійні частоти та поглинають їх. Активні фільтри більш ефективні, оскільки аналізують поточний спектр гармонік у мережі та генерують компенсуючі струми, що нейтралізують спотворення [7].

Несиметрія фаз є особливо критичною проблемою для сільськогосподарських споживачів, оскільки нерівномірне розподілення навантаження між фазами може викликати перенавантаження однієї з фаз, спричиняючи зниження ефективності роботи трифазних електродвигунів, їх перегрів та зменшення терміну служби. Усунути цю проблему можна за допомогою автоматичних балансувальних пристроїв, які забезпечують рівномірний розподіл навантаження між фазами, або трансформаторів із регульованими відводами, що дозволяють компенсувати перекоси фазної напруги [8].

Короткочасні перебої електропостачання є ще однією серйозною проблемою, особливо для тваринницьких комплексів, систем зрошення та підприємств, що працюють у безперервному режимі. Їх можна компенсувати шляхом впровадження джерел безперебійного живлення (ДБЖ), які забезпечують короткочасну автономну роботу критично важливих систем під час відключення електроенергії. Для довготривалого резервного живлення застосовуються дизельні та газові генератори, які автоматично вмикаються у разі зникнення напруги в мережі [9].

Важливим напрямом підвищення якості електроенергії є впровадження інтелектуальних систем керування (Smart Grid), які дозволяють здійснювати моніторинг параметрів електроенергії в режимі реального часу, прогнозувати зміни навантаження, оптимізувати розподіл електроенергії та вчасно реагувати на аварійні ситуації. Такі системи включають сучасні мікропроцесорні пристрої, автоматизовані вимикачі та регулятори, що підвищують ефективність роботи електромережі та зменшують втрати електроенергії [10, 11].

Найбільш ефективним, перспективним і водночас найдешевшим методом підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів є компенсація реактивної потужності. Реактивна потужність виникає через роботу індуктивних навантажень, таких як асинхронні електродвигуни, трансформатори, електрозварювальне обладнання, що призводить до перевантаження мережі, збільшення втрат електроенергії та зниження ефективності її використання. Компенсація реактивної потужності здійснюється за допомогою конденсаторних батарей, синхронних компенсаторів або статичних вар-компенсаторів (SVC), які нейтралізують вплив індуктивних навантажень та зменшують струмові навантаження в мережі. Використання автоматичних компенсаторів реактивної потужності дозволяє динамічно регулювати рівень компенсації відповідно до зміни навантаження, що сприяє стабілізації напруги, підвищенню коефіцієнта потужності та зменшенню експлуатаційних витрат [12, 13].

Оскільки компенсація реактивної потужності є найдоступнішим методом, що не потребує значних капіталовкладень та швидко окупається за рахунок зниження споживання електроенергії, вона залишається найбільш перспективним рішенням для покращення якості електропостачання сільськогосподарських споживачів. Її впровадження забезпечує значне підвищення ефективності роботи електрообладнання, зменшення

навантаження на мережу та покращення надійності енергопостачання в аграрному секторі [14-16].

1.3. Аналіз способів та методів компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності в електричних мережах є важливим етапом забезпечення стабільності та ефективності функціонування енергосистеми. Це дозволяє знизити навантаження на трансформатори, зменшити втрати енергії та підвищити коефіцієнт потужності, що є важливим для збереження ресурсів. У цьому контексті можна виділити кілька основних методів компенсації реактивної потужності, таких як використання конденсаторних установок, синхронних компенсаторів, статичних вар-компенсаторів (SVC) та активних фільтрів.

Конденсаторні установки є найбільш поширеним методом компенсації реактивної потужності в електричних мережах, оскільки вони прості в установці та обслуговуванні, а також мають високу ефективність при невеликих навантаженнях. Конденсатори компенсують індуктивну реактивну потужність, що дозволяє зменшити її загальну величину в системі. Вони є економічно доступними і дозволяють швидко адаптувати систему до змін навантаження. Основними перевагами є простота конструкції, низька вартість і зручність у використанні. Однак вони мають і недоліки, такі як ризик перенавантаження при раптових змінах навантаження, а також потребу в автоматичних пристроях для регулювання навантаження в умовах змінних умов [16, 17]. Крім того, ефективність конденсаторних установок обмежена при великих коливаннях навантаження.

Синхронні компенсатори працюють за принципом генерації реактивної потужності, що надається або поглинається в залежності від потреби. Ці пристрої є більш складними, ніж конденсаторні установки, і дозволяють точніше регулювати рівень реактивної потужності шляхом змінювання кута між струмом і напругою в мережі. Основною перевагою є точність контролю

та стабільність роботи в різних режимах мережі. Вони дозволяють досягти високої ефективності в стабільних умовах, однак їхнє встановлення та обслуговування є дорогими. Крім того, синхронні компенсатори потребують кваліфікованого персоналу для управління та технічного обслуговування, а також займають багато місця, що може бути проблемою для сільських мереж [18].

Статичні вар-компенсатори (SVC) є ще одним методом компенсації реактивної потужності, який використовує силову електроніку для динамічного регулювання реактивної потужності. Вони швидко реагують на зміни в навантаженні і здатні забезпечити стабільність напруги в мережі в реальному часі. Переваги SVC включають високу ефективність і точність компенсації, особливо в умовах змінних навантажень. Водночас вони мають високу вартість установки та експлуатації, а також вимагають складного обслуговування і постійних налаштувань [19, 20]. Для сільських мереж цей метод може бути економічно не доцільним через високу вартість і складність реалізації.

Активні фільтри використовуються для компенсації не тільки реактивної потужності, але й гармонік, які часто виникають у мережах з нелінійними навантаженнями. Вони використовують силову електроніку для створення компенсаційного струму, що нейтралізує потоки гармонік і зменшує реактивну потужність. Активні фільтри мають високу точність компенсації і здатні покращити якість електричної енергії. Однак їх встановлення та експлуатація є дорогими, а складні системи управління і обслуговування можуть бути непридатними для сільських мереж [21].

Загалом, кожен із методів має свої переваги і недоліки. Однак для сільських електричних мереж оптимальним варіантом залишається використання конденсаторних установок. Це пояснюється їх економічною ефективністю, простотою в обслуговуванні та здатністю швидко адаптуватися до змін у навантаженні. Хоча синхронні компенсатори і статичні вар-компенсатори можуть забезпечити більш точне і динамічне регулювання

реактивної потужності, їх висока вартість та складність встановлення робить ці методи менш привабливими для сільських мереж. Використання активних фільтрів є ефективним для одночасної компенсації гармонік і реактивної потужності, але також є занадто дорогим для таких мереж.

1.3. Проблеми компенсації реактивної потужності в сільських мережах

Протягом тривалого часу питання компенсації реактивної потужності (КРП) в розподільчих електричних мережах напругою 0,4 – 6(10) кВ не отримували належної уваги. Це пояснювалося тим, що побутове навантаження мало переважно активний характер завдяки особливостям використовуваних електроприладів (лампи розжарювання, електричні плити, обігрівачі тощо). Однак сьогодні ситуація змінилася кардинально: характер навантаження значно трансформувався через масове використання нових електричних пристроїв, таких як мікрохвильові печі, кондиціонери, люмінесцентні світильники, комп'ютери та інші, які разом з активною потужністю споживають і значну кількість реактивної потужності.

Сьогодні питання компенсації реактивної потужності в сільських електричних мережах майже не обговорюється, оскільки немає затверджених методик, стандартів або рекомендацій для розрахунку, налаштування та встановлення відповідних систем компенсації у точках споживання в сільських електричних мережах. Споживачі зазвичай не усвідомлюють важливість реактивної енергії в мережі та її негативний вплив, що призводить до низької зацікавленості у вирішенні цієї проблеми.

Для побутових споживачів не існує жодних обмежень щодо використання реактивної енергії, а також не здійснюється моніторинг споживання реактивної потужності в непромисловому секторі. Ліміти коефіцієнта реактивної потужності встановлюються лише для споживачів з приєднаною потужністю понад 100 кВт. Важливим є поетапне вирішення трьох основних

завдань, пов'язаних із покращенням якості електроенергії та компенсацією реактивної потужності: забезпечення нормативних рівнів таких показників як коливання напруги, асиметрія напруг та вищі гармоніки.

У розподільчих мережах для побутових споживачів, де зазвичай спостерігається однофазне навантаження, що змінюється в залежності від індивідуального режиму, застосування пристроїв компенсації реактивної потужності трапляється рідко. Проте, з огляду на те, що за останні десять років споживання електроенергії збільшилося втричі, потреба в компенсації реактивної потужності стала більш очевидною, ніж будь-коли раніше.

В розподільчих мережах комунально-побутового та сільськогосподарського секторів оптимізація енергетичних втрат і забезпечення нормативних рівнів напруги для споживачів є прерогативою енергопостачальних організацій. Однак, через низку об'єктивних та суб'єктивних причин, ці організації неохоче інвестують у закупівлю конденсаторних батарей, хоча економічно доцільним є встановлення не менше 0,5 кВАр потужності конденсаторних батарей на кожен кВт встановленої потужності електростанцій.

Попередні розрахунки показали, що близько 70% всієї потужності компенсуючих установок (КУ) слід встановлювати в мережах 0,4 кВ, а 25% – у мережах 6–10 кВ. Таке розподілення забезпечує мінімальні загальні витрати на КУ і зменшення втрат електроенергії в усіх мережах в цілому.

У ринкових умовах неможливо зобов'язати власника мережі витратити кошти на КУ, виходячи з того, що це оптимальне рішення для зменшення загальних втрат у його мережах та в мережах енергопостачальної компанії, при цьому він не несе додаткових витрат. Тому наразі вимоги до максимально допустимого споживання реактивної потужності для споживачів визначаються лише з технічної точки зору, виходячи з можливості її передачі без порушення допустимих рівнів напруги в мережах. Визначення економічно обґрунтованої потужності КУ для мереж 6-10 кВ здійснюється з урахуванням параметрів самої мережі.

Як було зазначено у розділі 1, заходи з компенсації реактивної потужності на сьогодні вже широко впроваджуються, однак питання вибору місця для установки конденсаторних батарей (КБ) на сьогодні залишається відкритим. На даний момент найбільш реальним місцем для їх установки є шини кожної трансформаторної підстанції 6-10/0,4 кВ, але питання, на яких саме шинах (0,4 чи 6-10 кВ) установка КБ буде найбільш ефективною, є актуальним.

1.4. Висновки до розділу

Особливості електропостачання сільськогосподарських споживачів зумовлені різноманітністю об'єктів, таких як тваринницькі комплекси, теплиці та зерносховища, які потребують стабільного і якісного постачання електроенергії. Найкращим методом компенсації реактивної потужності для сільськогосподарських споживачів є використання конденсаторних батарей. Це рішення дозволяє ефективно компенсувати реактивну потужність, знижуючи навантаження на мережу та покращуючи стабільність електропостачання. Конденсаторні батареї сприяють підвищенню коефіцієнта потужності, що дозволяє зменшити втрати енергії та забезпечити більш стабільну роботу електричних мереж.

Для визначення оптимального місця розміщення компенсуючих пристроїв на шинах ТП 6-10 кВ або на шинах 0,4 кВ, у роботі поставлено наступні завдання:

- скласти схематичне зображення з усередненими параметрами електричної мережі 6-10/0,4 кВ;
- провести розрахунок втрат електричної енергії на схемі без компенсації реактивної потужності (КРП);
- визначити потужність і кількість пристроїв компенсації реактивної потужності;
- розрахувати втрати енергії з установкою компенсації реактивної потужності;

- провести економічне обґрунтування ефективності використання нерегульованих конденсаторних батарей;
- надати практичні рекомендації щодо вибору місця для установки конденсаторних батарей на ТП.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ

2.1. Систематизація вихідних даних

Компенсація реактивної потужності (КРП) шляхом використання батарей статичних конденсаторів (БСК) є одним із найефективніших методів зниження втрат електроенергії та потужності в сільських електромережах напругою 6-10/0,4 кВ. Проте фактичне застосування БСК у розподільчих мережах залишається мінімальним.

Питання розташування нерегульованих конденсаторних батарей можна вирішити за допомогою спрощеної (стилізованої) електричної схеми, а згодом застосувати отримані результати до реальної мережі.

Для того щоб надати рекомендації щодо вибору оптимального місця встановлення компенсувальних установок (КУ) на шинах 0,4 або 10 кВ, необхідно провести аналіз спрощеної схеми, визначити необхідну потужність КУ та вибрати найбільш ефективне місце для їх розміщення.

Розглянемо типову спрощену схему електропостачання комунально-побутового навантаження через розподільний та живильний фідери напругою 10 кВ, які живляться від знижувальної підстанції 110/10 кВ до трансформаторного пункту 10/0,4 кВ (рис. 2.1).

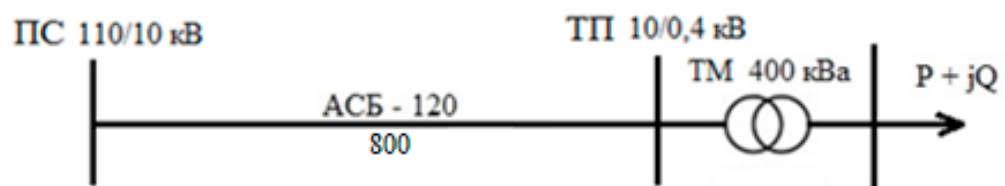


Рис. 2.1. Спрощена (стилізована) електрична схема мережі 10 кВ

Для проведення досліджень було прийнято наступні характеристики системи: трансформаторна підстанція (ТП) 10/0,4 кВ отримує живлення від підстанції (ПС) 110/10 кВ за допомогою лінії 10 кВ, загальна протяжність якої становить 800 метрів. На ТП 10/0,4 кВ встановлено трансформатор серії ТМ потужністю 400 кВА. Відомості, необхідні для визначення втрат потужності, наведені в табл. 2.1 та табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Параметри спрощеної (стилізованої) електричної схеми мережі 10 кВ

Довжина, м	Марка проводу	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R, Ом	X, Ом
800	АСБ-120	0,253	0,081	0,206	0,064

Таблиця 2.2. – Параметри ТП 10/0,4 кВ

Номінальна потужність, кВА	R, Ом	X, Ом	$\Delta P_{кз}$	$\Delta P_{хх}$
400	1,24	3,86	5,5	1,05

Для аналізу добових змін електричних навантажень були використані усереднені графіки, що відображають характерні режими споживання в літній та зимовий періоди (рис. 2.2 та рис. 2.3).

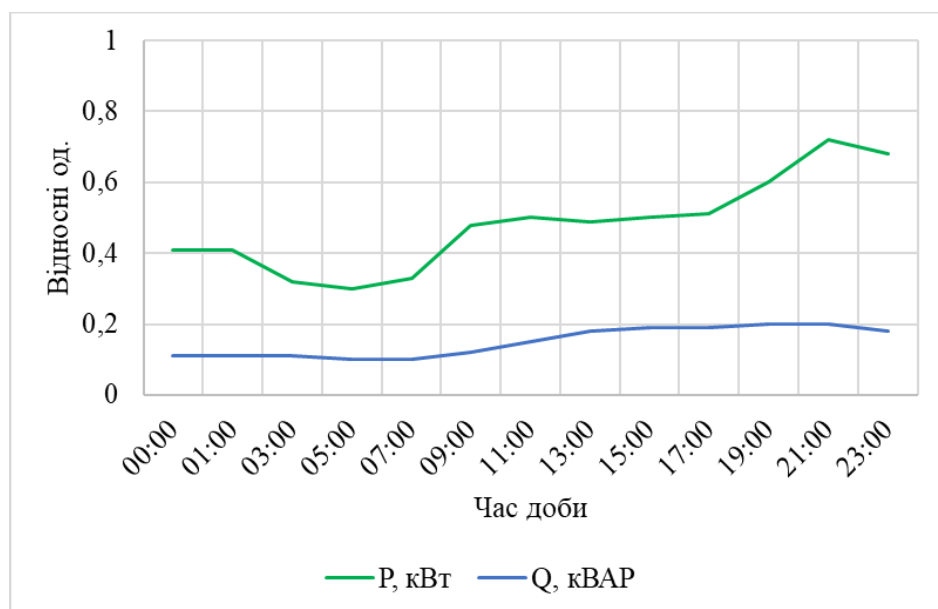


Рис. 2.2. Усереднений добовий графік навантаження в літній період

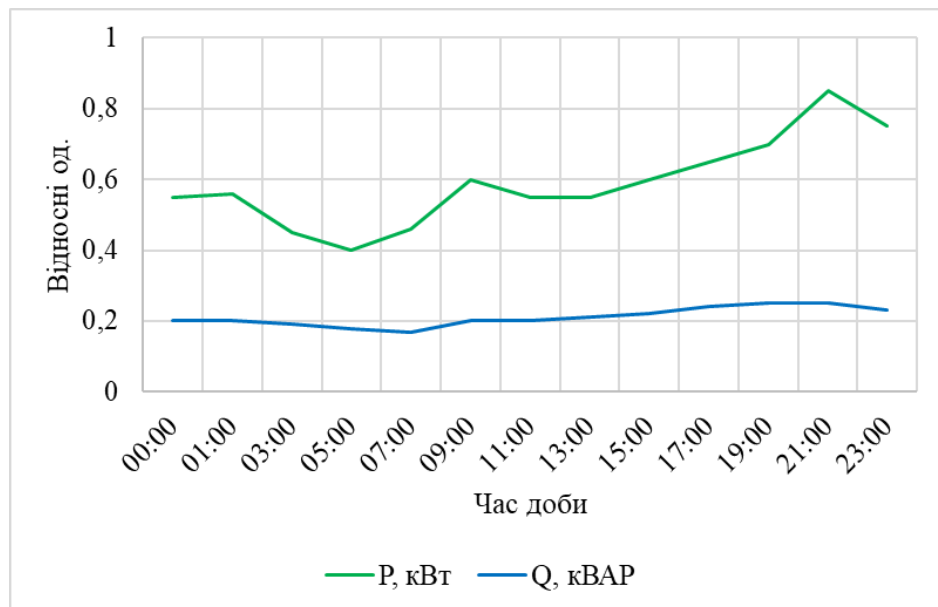


Рис. 2.3. Усереднений добовий графік навантаження в зимовий період

Наведені графіки сформовані на основі даних РЕМ шляхом підсумовування середніх значень та подані у відносних одиницях. Отримані графіки можуть бути застосовані виключно для моделювання та розрахунку електричних мереж напругою 6-10/0,4 кВ.

На основі усереднених графіків було побудовані графіки навантаження для досліджуваної ТП 10/0,4 кВ потужністю 400 кВА (рис. 2.4 та рис. 2.5.).

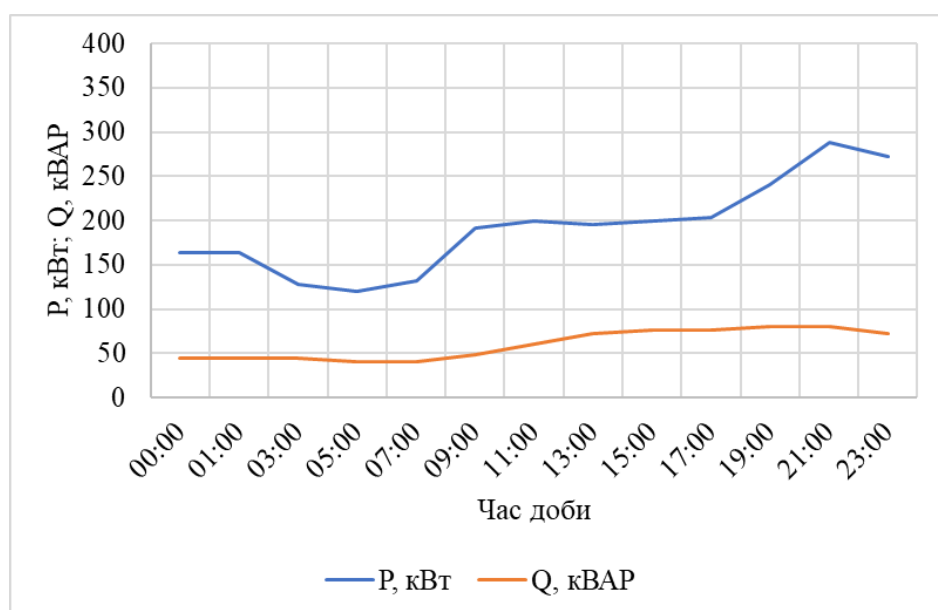


Рис. 2.4. Добовий графік навантаження для досліджуваної ТП 10/0,4 кВ у літній період

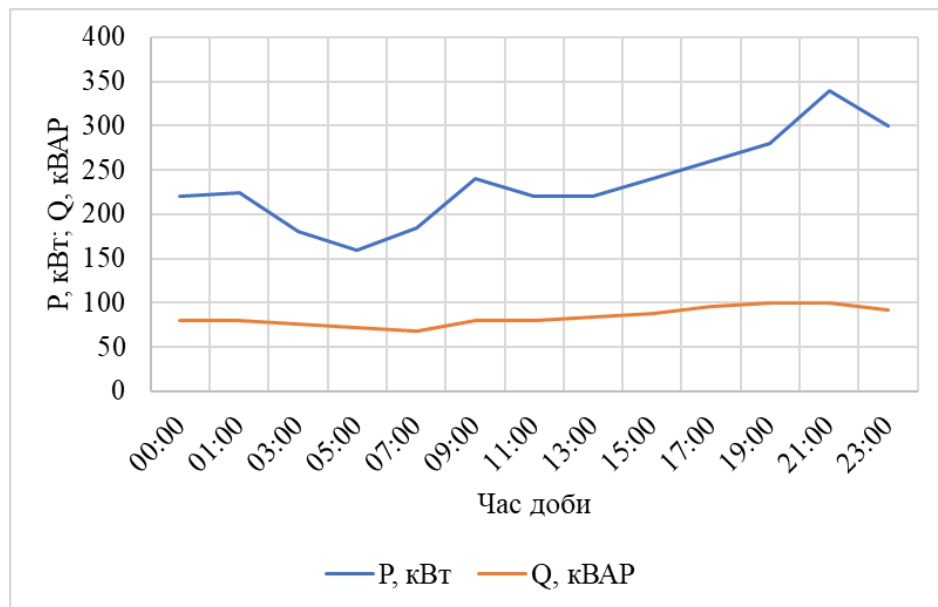


Рис. 2.5. Добовий графік навантаження для досліджуваної ТП 10/0,4 кВ у зимовий період

Аналіз добових графіків (рис. 2.4 та рис. 2.5.) показує, що реактивна потужність змінюється досить рівномірно, тоді як активна потужність має іншу динаміку протягом доби.

Зокрема, в інтервалі з 08:00 до 17:00 споживання активної потужності залишається стабільним. Однак з 18:00 до 24:00 спостерігається різке зростання навантаження, що зумовлене активним використанням побутових електроприладів. Це призводить до значного підвищення споживання та навантаження на мережу.

У період з 01:00 до 07:00 спостерігається помітне зменшення споживання як активної, так і реактивної потужності. У цей час електроенергію в основному споживають ті користувачі, чий рівень споживання залишається майже незмінним протягом доби.

2.2. Визначення втрат електроенергії в нормальному режимі роботи

На першому етапі необхідно визначити втрати електричної енергії для спрощеної схеми рис. 2.1 в нормальному режимі роботи.

Втрати електричної енергії в мережі визначаються як сума втрат в лінії та трансформаторах:

$$\sum \Delta W = \Delta W_{л}(T) + \Delta W_{TP}(T), \quad (2.1)$$

де $\Delta W_{л}$ – втрати в лініях, кВт;

ΔW_{TP} – втрати в трансформаторах, кВт.

Втрати в лініях визначають за виразом:

$$\Delta W_{л} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U^2} \cdot R. \quad (2.2)$$

Втрати в трансформаторах:

$$\Delta W_{TP} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{к} \left(\frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{ном. TP}} \right)^2. \quad (2.3)$$

де ΔP_{xx} – втрати холостого ходу, кВт;

$\Delta P_{к}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт.

Відповідно до виразів (2.1)-(2.3) у нормальному режимі роботи без застосування компенсації реактивної потужності втрати в мережі становитимуть:

- у літній період:

$$\Delta W_{л} = \frac{\sqrt{186^2 + 65,3^2}}{0,4^2} \cdot 0,206 = 273,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta W_{TP} = 0,83 \cdot 5,5 \left(\frac{\sqrt{186^2 + 65,3^2}}{400} \right) = 2,2 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta W_{літо} = 273,8 + 2,2 = 276 \text{ кВт}.$$

- у зимовий період:

$$\Delta W_{л} = \frac{\sqrt{241,8^2 + 80,6^2}}{0,4^2} \cdot 0,206 = 328,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta W_{TP} = 0,83 \cdot 5,5 \left(\frac{\sqrt{241,8^2 + 80,6^2}}{400} \right) = 2,9 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta W_{зима} = 348,2 + 2,9 = 351,1 \text{ кВт}.$$

Загальні втрати за рік знайдемо за виразом:

$$\sum \Delta W_{рік} = 200 \Delta W_{зима} + 165 \Delta W_{літо}; \quad (2.4)$$

$$\sum \Delta W_{рік} = 200 \cdot 351,1 + 165 \cdot 276 = 115760 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.3. Вибір типу та потужності пристрою компенсації реактивної потужності

Аналіз добових графіків навантажень показує, що компенсація реактивної потужності нерегульованими конденсаторними батареями на рівні понад 50% призводить до негативного ефекту – збільшення втрат у години нічного провалу, що викликає перекомпенсацію в трансформаторах. Тому потужність нерегульованої конденсаторної батареї визначається відповідно до

добового графіка навантаження. Оптимальний рівень компенсації реактивної потужності не повинен перевищувати 50% від максимального значення Q_n , зафіксованого протягом доби, та не має бути більшим за мінімальне значення Q_n .

При виборі засобів компенсації та налаштуванні їх роботи в розподільчій мережі важливо дотримуватись умови:

$$Q_{KV} \leq Q_{\min} \leq 50\% \cdot Q_{\max} \cdot \quad (2.5)$$

Відповідно до графіка навантажень для літнього сезону, тобто по мінімальному споживанню реактивної потужності (рисунок 2.4), визначено оптимальну потужність нерегульованих конденсаторних батарей згідно з номенклатурою установок серії УКРМ і зведено технічні дані в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. – Технічні параметри обраних пристроїв компенсації реактивної потужності

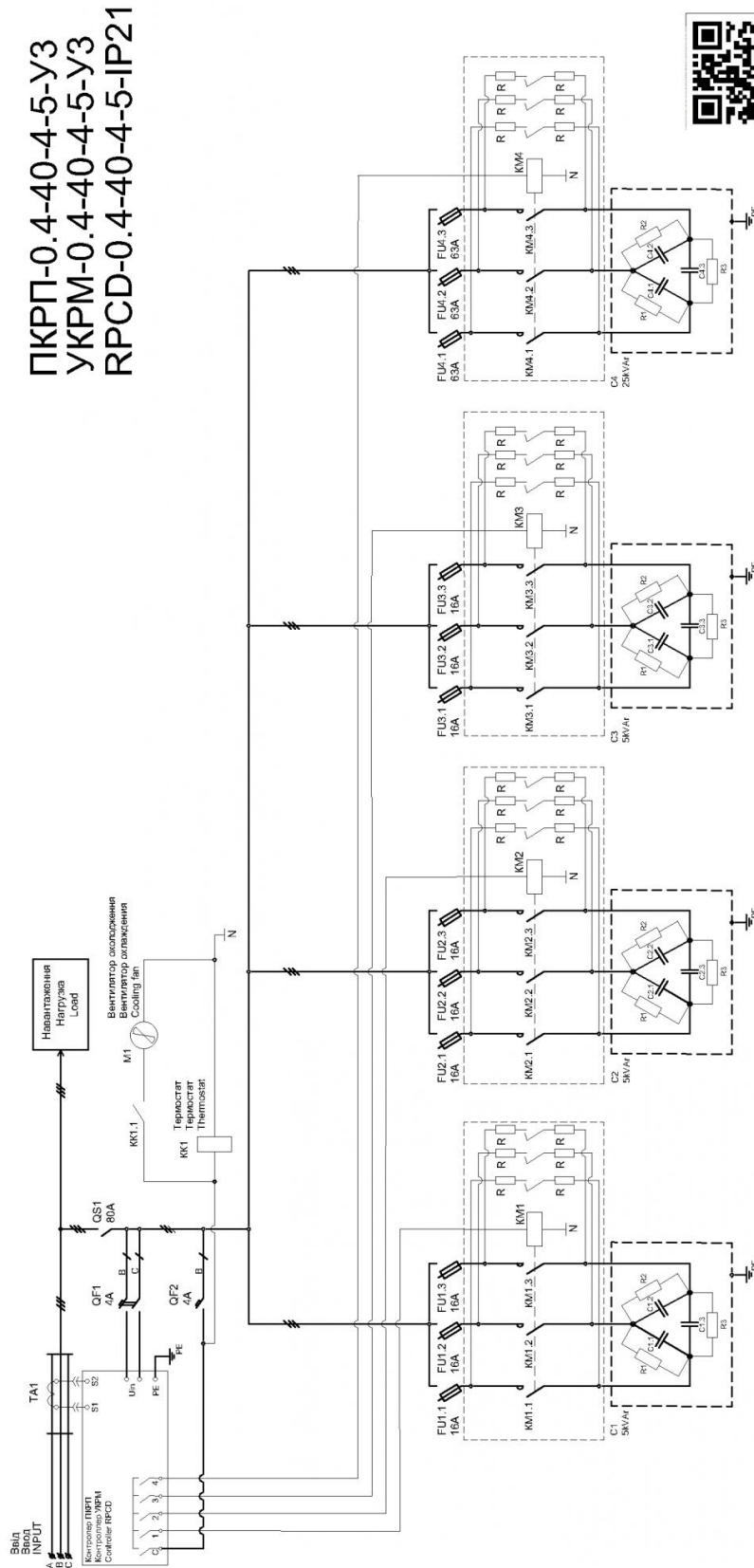
Місце монтажу	Тип	Номінальна напруга, кВ	Номінальна потужність, кВАР	Вартість, грн
Шини 0,4 кВ	УКРМ-04-40-2,5-21У3	0,4	40	63000

Загальний вид установки УКРМ-04-40-2,5-21У3 наведено на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Загальний вид установки УКРМ-04-40-2,5-21У3

Схема електрична принципова установки УКРМ-04-40-2,5-21У3 наведена на рис. 2.7.



www.ig.in.ua

Рис. 2.7. Схема електрична принципова установки УКРМ-04-40-2,5-21У3

2.4. Визначення втрат потужності в мережі з компенсацією реактивної потужності

Визначення втрат потужності в мережі з компенсацією реактивної потужності на шинах 10 кВ виконуємо за методикою, яка наведена у пункті 2.2.

Відповідно до виразів (2.1)-(2.4) у випадку застосування компенсації реактивної потужності на шинах 10 кВ втрати в мережі становитимуть:

- у літній період:

$$\Delta W_{л} = \frac{\sqrt{186^2 + (65,3 - 40)^2}}{0,4^2} \cdot 0,206 = 241,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta W_{TP} = 0,83 \cdot 5,5 \left(\frac{\sqrt{186^2 + (65,3 - 40)^2}}{400} \right) = 2,14 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta W_{літо} = 241,7 + 2,14 = 243,8 \text{ кВт}.$$

- у зимовий період:

$$\Delta W_{л} = \frac{\sqrt{241,8^2 + (80,6 - 40)^2}}{0,4^2} \cdot 0,206 = 315,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta W_{TP} = 0,83 \cdot 5,5 \left(\frac{\sqrt{241,8^2 + (80,6 - 40)^2}}{400} \right) = 2,8 \text{ кВт};$$

$$\sum \Delta W_{зима} = 315,7 + 2,8 = 318,2 \text{ кВт}.$$

Загальні втрати за рік знайдемо за виразом:

$$\sum \Delta W_{рік} = 200 \cdot 318,5 + 165 \cdot 243,8 = 103927 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.5. Визначення ефективності застосування пристроїв компенсації реактивної потужності

Визначення ефективності застосування пристроїв компенсації реактивної потужності ґрунтується на аналізі їх впливу на електроенергетичну систему, зокрема на зниження втрат електроенергії, покращення коефіцієнта потужності, стабілізацію напруги та підвищення економічної ефективності експлуатації обладнання.

Основними критеріями оцінки є зменшення навантаження на джерела живлення, оптимізація розподілу електроенергії в мережі та мінімізація витрат на оплату реактивної енергії. Додатково враховуються показники надійності та довговічності роботи компенсуювальних пристроїв, їхній вплив на гармонійний склад струму та рівень електромагнітних завад.

На основі проведених розрахунків визначаємо зниження втрат електроенергії після компенсації:

$$\Delta W = 115760 - 103927 = 11833 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таким чином, впровадження пристроїв компенсації реактивної потужності в мережі дозволило скоротити втрати електричної енергії в електричній мережі на 10,2 %, що становить 11833 кВт·год на рік. Крім цього, зниження рівня реактивної потужності в мережі буде призводити до кращої стабілізації напруги в мережі, зменшення втрат напруги по довжині лінії, що значно впливатиме на якість електропостачання сільськогосподарських споживачів.

2.6. Розробка рекомендацій щодо експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності

Експлуатація пристроїв компенсації реактивної потужності потребує комплексного підходу, що включає регулярні профілактичні огляди, випробування, технічне обслуговування та ремонт. Для забезпечення стабільної та ефективної роботи обладнання необхідно здійснювати періодичну перевірку стану конденсаторних батарей, реакторів та інших елементів системи компенсації. Профілактичні огляди дозволяють виявити ознаки зносу, пошкоджень або перегріву обладнання, що дає змогу запобігти аварійним ситуаціям.

Випробування пристроїв компенсації реактивної потужності мають проводитися відповідно до нормативних вимог та включати перевірку електричних параметрів, діагностику ізоляції, а також тестування на стійкість до перевантажень. Особливу увагу слід приділяти контролю стану контакторів, реле та інших комутаційних елементів, оскільки їх несправність може призвести до порушення роботи всієї системи.

Технічне обслуговування передбачає періодичну очистку обладнання від пилу та забруднень, підтягування контактних з'єднань, заміну пошкоджених або зношених елементів, перевірку роботи системи автоматичного керування. Важливим аспектом є контроль температурного режиму та рівня гармонік у мережі, оскільки їх відхилення можуть впливати на ефективність роботи пристроїв компенсації.

Ремонтні роботи проводяться у разі виявлення несправностей, які не можуть бути усунені в ході звичайного технічного обслуговування. Залежно від характеру пошкоджень ремонт може включати заміну окремих елементів або повну реконструкцію обладнання. У разі серйозних відмов доцільно проводити детальний аналіз причин несправності та впроваджувати заходи для їх недопущення у майбутньому.

Таким чином, комплексний підхід до експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності забезпечує їхню безперебійну та ефективну роботу, знижує ризики аварій та сприяє економії електроенергії в системі електропостачання..

2.7. Висновки до розділу

Використання батарей статичних конденсаторів (БСК) для компенсації реактивної потужності є ефективним методом зниження втрат електроенергії в сільських електричних мережах. Розрахунки показали, що компенсація реактивної потужності дозволяє значно зменшити втрати електроенергії в лініях та трансформаторах, особливо в зимовий та літній періоди, що сприяє підвищенню енергоефективності.

Оптимальний вибір типу та потужності компенсуючих установок, таких як УКРМ-04-40-2,5-21У3, забезпечує ефективну компенсацію реактивної потужності без перевантаження системи. Це дозволяє знизити втрати електричної енергії на 10,2% (11833 кВт·год на рік), що підвищує економічну ефективність електропостачання.

Розроблено рекомендації щодо експлуатації пристроїв компенсації, які включають регулярне технічне обслуговування, що забезпечує стабільну роботу системи і знижує ймовірність аварійних ситуацій. Загалом, застосування таких систем не лише зменшує втрати енергії, але й поліпшує якість електропостачання, що є критично важливим для енергозбереження в сільському господарстві.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності. Організація охорони праці при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності має важливе значення для забезпечення безпеки працівників, адже ці пристрої працюють з високими напругами, що може бути небезпечно без належного контролю та підготовки.

Перше, що має бути визначено, - це планування заходів з охорони праці. План повинен включати всі аспекти безпеки: від загальних вимог до конкретних заходів, пов'язаних із роботою з електричним обладнанням. Важливо також враховувати фінансування цих заходів, що може здійснюватися через відповідні статті бюджету підприємства, зокрема на закупівлю засобів індивідуального захисту, навчання та атестацію працівників.

Що стосується організації навчання, то кожен працівник має бути забезпечений відповідними програмами навчання, які містять основи безпеки при роботі з електричними пристроями. Крім того, повинні бути розроблені інструкції з охорони праці, які описують необхідні заходи безпеки, та журнали реєстрації інструктажів, де фіксується проходження інструктажів працівниками. Важливим етапом є також атестація працівників на предмет їх знань у галузі охорони праці, що забезпечує відповідальність за правильне виконання своїх обов'язків.

Забезпечення працівників спецодягом та засобами індивідуального захисту є важливою складовою в організації охорони праці. Це включає у себе не тільки наявність необхідного одягу, але й засобів для захисту від електричних ударів, таких як рукавички та черевики з ізоляцією. Також має бути організоване належне санітарно-побутове забезпечення, що включає чисті та безпечні умови для роботи працівників, доступ до питної води, санітарних приміщень та засобів гігієни.

Відповідальність посадових осіб за роботу з охорони праці повинна бути чітко визначена. Кожен керівник чи відповідальна особа несе персональну відповідальність за забезпечення безпеки працівників, за виконання інструкцій, проведення навчань та інструктажів, а також за контроль за дотриманням вимог охорони праці. Вони повинні регулярно проводити перевірки та аудит робочих місць на предмет дотримання норм безпеки [22].

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності. При роботі з пристроями компенсації реактивної потужності існує ряд шкідливих та небезпечних факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я та безпеку працівників. Одним із основних небезпечних факторів є високий рівень напруги, з яким працюють ці пристрої. Оскільки компенсаційні установки часто використовуються в електричних мережах з високими напругами, неправильне їх використання чи пошкодження обладнання можуть призвести до електричних ударів, що є серйозною загрозою для життя працівників.

Іншим важливим фактором є електромагнітне поле, яке виникає при роботі пристроїв компенсації реактивної потужності. Тривале перебування в такому полі може спричинити різноманітні негативні впливи на здоров'я, зокрема порушення роботи нервової системи, погіршення сну та інші функціональні розлади. Крім того, можливі перешкоди в роботі електронних пристроїв та інших систем, що працюють поруч, що може створювати додаткові небезпеки.

Важливим є також ризик виникнення пожеж. При роботі з електричними пристроями компенсації реактивної потужності можливе виникнення короткого замикання чи перегріву, що може призвести до пожежі або вибуху. Особливо небезпечним є це для об'єктів, де є займисті матеріали чи речовини.

Шумові навантаження – ще один шкідливий фактор, який виникає під час роботи з цими пристроями. Часто електричні установки створюють низькочастотний шум, який може викликати стомлення, головний біль,

порушення слуху або навіть серцево-судинні проблеми за умови тривалого впливу.

Не менш важливим є ризик механічних травм, пов'язаний з необхідністю обслуговувати та налаштовувати великі та важкі елементи обладнання. Працівники можуть зазнати травм при роботі з нещільно закріпленими частинами чи під час аварійного відключення обладнання.

Важливо також враховувати фактори, які впливають на загальні умови праці, такі як неправильне освітлення, недостатня вентиляція чи низька температура в робочих приміщеннях. Нестандартні умови можуть сприяти розвитку професійних захворювань, таких як хвороби органів дихання або порушення зору.

Тому забезпечення безпеки при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності потребує комплексного підходу до ідентифікації і усунення цих шкідливих та небезпечних факторів..

Рекомендації щодо впровадження безпечних умов праці при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності. Впровадження безпечних умов праці при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності є важливим аспектом для запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Для забезпечення безпеки працівників необхідно враховувати кілька ключових рекомендацій.

По-перше, слід забезпечити належне навчання працівників. Всі працівники, які працюють з такими пристроями, повинні проходити обов'язкові інструктажі та навчання з охорони праці. Це включає в себе ознайомлення з технічною документацією, роз'яснення правил безпечної експлуатації обладнання та методів реагування на аварійні ситуації. Особливу увагу потрібно приділяти навчанню працівників щодо правильної роботи з електричними мережами та електричним обладнанням, а також застосуванню засобів індивідуального захисту.

По-друге, організація технічного обслуговування та перевірки обладнання повинна бути регулярною та комплексною. Всі пристрої

компенсації реактивної потужності повинні проходити періодичні огляди, перевірки на наявність дефектів та своєчасну заміну зношених деталей. Для цього потрібно створити графік технічного обслуговування та вести відповідну документацію про виконані роботи.

По-третє, необхідно забезпечити належне обладнання робочих місць. Це включає встановлення відповідного освітлення, вентиляції, а також забезпечення комфортних умов для праці. Потрібно також контролювати температуру в приміщеннях, де працюють працівники, щоб уникнути перегріву або переохолодження. Важливою умовою є також забезпечення достатньої кількості вільного простору навколо обладнання для безперешкодного доступу до всіх його частин.

По-четверте, слід забезпечити працівників необхідними засобами індивідуального захисту (СІЗ), такими як ізоляційні рукавички, комбінезони, захисні окуляри та взуття, які захищають від електричних ударів та інших механічних пошкоджень. Всі ці засоби повинні регулярно перевірятися на відповідність стандартам безпеки та своєчасно оновлюватися.

Крім того, важливим аспектом є наявність чітких інструкцій і планів дій на випадок аварійних ситуацій. Усі працівники повинні бути ознайомлені з алгоритмами дій у разі короткого замикання, перегріву чи інших надзвичайних ситуацій. Також повинні бути встановлені засоби для попередження і локалізації можливих пожеж, такі як вогнегасники, системи автоматичного пожежогасіння та протипожежні виходи.

Окрему увагу варто приділяти контролю за електромагнітними випромінюваннями. Для цього потрібно використовувати відповідні засоби моніторингу рівня електромагнітного поля та в разі необхідності проводити заходи для його зменшення, зокрема використання екранів чи інших захисних конструкцій.

Нарешті, важливо, щоб на кожному етапі роботи була чітко визначена відповідальність посадових осіб за охорону праці. Керівники та відповідальні за безпеку працівники повинні здійснювати постійний контроль за

дотриманням усіх норм і стандартів, проводити інструктажі, контролювати використання засобів захисту та технічного обслуговування обладнання..

Висновки до розділу. У розділі розглянуто основні аспекти організації безпечних умов праці при роботі з пристроями компенсації реактивної потужності, а також можливі шкідливі та небезпечні фактори, що можуть виникати під час їх експлуатації. Аналіз показав, що для забезпечення безпеки необхідно впроваджувати комплексний підхід, який включає належне навчання працівників, регулярне технічне обслуговування обладнання, а також забезпечення відповідними засобами індивідуального захисту та іншими умовами праці, які відповідають вимогам безпеки. Важливим є також контроль за шкідливими впливами, такими як електромагнітне поле та шум, а також своєчасне реагування на аварійні ситуації. Виконання цих рекомендацій дозволить значно знизити ризики травмування та професійних захворювань, а також підвищити ефективність роботи з обладнанням.

4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Економічне обґрунтування використання систем компенсації реактивної потужності для покращення якості електропостачання сільськогосподарських споживачів полягає в тому, щоб зменшити витрати на електричну енергію, зменшити навантаження на енергетичну інфраструктуру та підвищити ефективність роботи електричних установок [23, 24].

У сільському господарстві, де часто використовуються енергомісткі установки, такі як насосні станції, системи зрошення, електричні двигуни та інші пристрої, що споживають реактивну потужність, компенсація реактивної потужності є важливим елементом для забезпечення стабільної роботи енергосистеми. Реактивна потужність не виконує корисної роботи, але необхідна для підтримки магнітного поля в електричних машинах. Якщо її надмірна кількість потрапляє в систему, це призводить до перевантаження ліній та трансформаторів, що в свою чергу веде до збільшення втрат енергії, підвищення тарифів на електропостачання і зниження якості електричної енергії.

Запровадження систем компенсації реактивної потужності дозволяє не лише зменшити втрати енергії в електричних лініях, а й оптимізувати електричне навантаження, що веде до зниження вартості споживаної енергії. Компенсація допомагає знижувати навантаження на трансформатори та інші елементи електричних мереж, що забезпечує більш стабільну та якісну подачу енергії до споживачів. Це особливо важливо для сільськогосподарських підприємств, де перерви в електропостачанні можуть призвести до значних втрат продукції та зниження ефективності виробничих процесів.

Використання таких систем дозволяє оптимізувати роботу електроустановок і знизити потребу в додаткових капітальних витратах на модернізацію енергетичної інфраструктури. Економічні вигоди від впровадження систем компенсації реактивної потужності для сільськогосподарських підприємств можуть бути суттєвими, зокрема через

зниження витрат на енергопостачання та зменшення обсягів штрафних платежів за перевищення ліміту реактивної потужності, що встановлюються енергопостачальними компаніями [25, 26].

Річна економія коштів за рахунок зменшення втрат:

$$E_p = C \cdot \Delta W, \quad (4.1)$$

де C – вартість електроенергії, грн/кВт·год.

$$E_p = 6 \cdot 11833 = 70998 \text{ грн}$$

Термін окупності встановлення пристрою компенсації реактивної потужності:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p}. \quad (4.2)$$

$$T_{ок} = \frac{63000}{70998} \approx 1 \text{ рік.}$$

Таблиця 4.1 – Техніко-економічна ефективність становлення пристроїв компенсації реактивної потужності

Показники	Варіанти	
	Існуючий	Після впровадження КУ
Витрати на придбання та монтаж КУ, грн	-	63000
Втрати електричної енергії в системі, кВт·год	304848	288534
Зниження втрат за рахунок впровадження конденсаторної установки, кВт·год	-	11833
Вартість електроенергії, грн/кВт·год	6	6
Річна економія коштів за рахунок зменшення втрат, грн	-	70998
Термін окупності ККУ, років	-	1

Висновки до розділу. Впровадження систем компенсації реактивної потужності для сільськогосподарських підприємств є економічно вигідним, оскільки дозволяє знизити річні витрати на електричну енергію. У досліджуваній системі за рахунок впровадження конденсаторної установки

(КУ), втрати електричної енергії в системі зменшилися на 11 833 кВт·год. Це призводить до економії 70 998 грн на рік, при вартості електроенергії 6 грн/кВт·год. Вартість придбання та монтажу КУ складає 63 000 грн, що забезпечує термін окупності системи всього 1 рік. Такі показники свідчать про високу ефективність впровадження систем компенсації реактивної потужності, що дозволяє не тільки знизити витрати на електроенергію, але й зменшити навантаження на енергетичну інфраструктуру, підвищуючи стабільність і якість електропостачання.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У дипломній роботі розглянуто питання підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів. Особлива увага приділена аналізу існуючих методів покращення якості електроенергії, зокрема компенсації реактивної потужності в сільських мережах, що є важливим аспектом для стабільної роботи електричних систем. Запропоновано систему компенсації реактивної потужності, що дозволяє зменшити втрати енергії, підвищити ефективність електропостачання та зменшити експлуатаційні витрати.

У ході дослідження були визначені оптимальні параметри для вибору та розрахунку потужності пристроїв компенсації, а також ефективність їх застосування в сільських мережах. Крім того, розглянуто економічні аспекти реалізації таких пристроїв, що забезпечують не лише технічні переваги, але й економію енергетичних ресурсів.

У досліджуваній системі за рахунок впровадження конденсаторної установки (КУ), втрати електричної енергії в системі зменшилися на 11 833 кВт·год. Це призводить до економії 70 998 грн на рік, при вартості електроенергії 6 грн/кВт·год. Вартість придбання та монтажу КУ складає 63 000 грн, що забезпечує термін окупності системи всього 1 рік.

Робота також включає аналіз умов праці та безпеки при експлуатації таких систем. За результатами проведеного дослідження сформульовані практичні рекомендації щодо впровадження систем компенсації реактивної потужності, що дозволяють покращити якість електричної енергії для сільськогосподарських споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савченко, С. С., Савойський, О. Ю. (2024). Підвищення якості електричної енергії в системах електропостачання сільськогосподарських споживачів. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.2., Суми: СНАУ, 61.
2. Савченко, С. С., Савойський, О. Ю. (2024). Особливості електропостачання сільськогосподарських споживачів. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.2., Суми: СНАУ, 83-84.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT). Інститут електродинаміки Національної Академії наук України. Чинний від 01.10.2014.
4. ПУЕ: 2017 Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
5. Mollah, M. A. S., & Zobaa, A. F. (2014). Power quality improvement in distribution systems using dynamic voltage restorers. *Electric Power Systems Research*, 113, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.05.010>
6. Mohan, N., & Undeland, T. M. (2003). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. 2nd ed. John Wiley & Sons.
7. Bollen, M. H. J., & Hassan, F. (2005). *Signal Processing of Power Quality Disturbances*. IEEE Press.
8. Dugan, R. C., & McGranaghan, M. F. (2002). *Electrical Power Systems Quality*. 2nd ed. McGraw-Hill.
9. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. (2010). IEEE Std 519-2014, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
10. He, H., & Wang, L. (2016). Research on reactive power compensation strategy for voltage stability improvement in electrical power systems. *Power System Protection and Control*, 44(16), 19-27. <https://doi.org/10.4152/pspc.2016.04.004>

11. Liu, Y., & Dong, Z. (2017). Optimal reactive power compensation in smart grids for improving voltage stability. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 87, 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.01.032>
12. Wang, J., & Li, F. (2018). Investigation on the application of energy storage systems for reactive power compensation in electrical grids. *Energy Reports*, 4, 450-457. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.03.001>
13. Zhang, H., & Wang, Y. (2019). A review of active power filters for power quality improvement in power distribution systems. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 14(3), 1167-1177. <https://doi.org/10.5370/JEET.2019.14.3.1167>
14. Ghosh, A., & Ledwich, G. (2002). *Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices*. Springer Science & Business Media.
15. Berenji, B., & Bakhshai, A. (2018). Review of harmonic filtering techniques and their application in power systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(5), 3978-3987. <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2768502>
20. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. (Редакція станом на 20.01.2018).
16. Taha, M. F., & Omar, A. M. (2021). Reactive power compensation in power systems using flexible AC transmission systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 130, 106948. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106948>.
17. Sathish, S., & Lakshminarayanan, S. (2020). Optimization of reactive power compensation in distribution systems with distributed generation. *Energy Reports*, 6, 1484-1494. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.07.033>.
18. Amin, M. M., & Liu, J. (2022). Optimal placement of reactive power compensators in radial distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 204, 107658. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107658>.
19. Tian, X., & Li, Z. (2019). Study of compensation methods of reactive power in distribution network. *IEEE Access*, 7, 135775-135785. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941368>.
20. Pavlovic, S., & Mijatovic, I. (2020). Application of static VAR compensator in electrical networks. *Energy*, 206, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118097>.

21. Jin, W., & Zhang, L. (2018). Power quality improvement in distribution systems using hybrid compensation method. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6(1), 132-141. <https://doi.org/10.1007/s40565-018-0347-6>.

22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНПАОП 0.00–1-1.21-98. К.: АТ «Київська книжкова фабрика».

23. Журило, І. В., & Полтавець, М. М. (2017). Економіка та організація виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Кропивницький: ЦНТУ.

24. Tian-Qing, S., Xiao-Hua, W., & Ma, X. (2009). Relationship between the economic cost and the reliability of the electric power supply system in city: A case in Shanghai of China. *Applied Energy*, 86(10), 2262–2267. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.008>.

25. Ghiasi, M. (2019). Technical and economic evaluation of power quality performance using FACTS devices considering renewable generations. *Renewable Energy Focus*, 29, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.02.006>.

26. Conrado, B. R., De Souza, W. A., Liberado, E. V., Paredes, H. K., Brandao, D. I., & Moreira, A. C. (2022). Towards technical and economic feasibility of power quality compensators. *Electric Power Systems Research*, 216, 109020. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.109020>.

ДОДАТКИ