

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

Матеріали XLV науково-технічної конференції  
підрозділів Вінницького національного  
технічного університету (НТКП ВНТУ–2016)

**02-11 березня 2016 року**

Збірник доповідей

Вінниця  
ВНТУ  
2016

УДК 001  
М34

**Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України**

Головний редактор: В. В. Грабко  
Відповідальний за випуск: С. В. Павлов

Робоча група з підготовки конференції:

Голова робочої групи: проректор з наукової роботи ВНТУ Павлов С. В.;

Заступник голови робочої групи: начальник НДЧ ВНТУ Богачук В. В.;

Члени робочої групи:

заступники деканів факультетів з наукової роботи;

заступник директора ІнЕБМД з наукової роботи;

директор ІРВЦ Власюк А. І.;

начальник відділу з питань інтелектуальної власності Кондратьєва Л. М.;

провідний інженер відділу з питань інтелектуальної власності Петросюк Т. А.

М34 Матеріали XLV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2016) [Електронне мережне наукове видання] : збірник доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2016.

ISBN 978-966-641-743-8

Збірник містить тексти доповідей XLV регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників підприємств м. Вінниці та Вінницької області з загально-інженерних, технічних, гуманітарних та фундаментальних наук.

НТКП ВНТУ проводиться у вигляді конференцій навчальних інститутів, факультетів, конференції Головного центру виховної роботи та конференції гуманітарних підрозділів. Кожна конференція має власну тематику, оргкомітет, строки проведення пленарних та секційних засідань, та складається з однієї або кількох секцій.

**УДК 001**

**ISBN 978-966-641-743-8**

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2016

## Зміст

<b>НТК ВНТУ. Факультет електроенергетики та електромеханіки .....</b>	<b>2218</b>
<b>Пленарне засідання</b>	
<i>Володимир Володимирович Кулик</i> ПІДСУМКИ З НАУКОВОЇ РОБОТИ ФАКУЛЬТЕТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ .....	2219
<i>Олександр Дмитрович Демов</i> РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ЇХ ДЕКОМПОЗИЦІЇ .....	2222
<i>Олександр Євгенович Рубаненко</i> ОПЕРАТИВНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ .....	2224
<b>Секція електричних станцій і систем</b>	
<i>Андрій Володимирович Пищечук</i> ПОФІДЕРНИЙ АНАЛІЗ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10(6) КВ .....	2228
<i>Андрій Валентинович Атаманський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ .....	2230
<i>Віталій Михайлович Склярчук</i> ВПЛИВ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ .....	2232
<i>Ірина Анатоліївна Бартецька</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ .....	2234
<i>Сергій Васильович Кравчук</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА РЕЖИМ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ .....	2236
<i>Ірина Олександрівна Гунько, Петро Дем'янович Лежнюк</i> УЗГОДЖЕНЕ КЕРУВАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ .....	2239
<i>Василь Федорович Кириченко</i> МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ .....	2241
<i>Владислав Віталійович Гордієвський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОВОЛЬТАІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ .....	2243
<i>Ірина Олександрівна Гунько</i> УЗГОДЖЕНЕ КЕРУВАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ .....	2246
<i>Сергій Репка</i> ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З АСИНХРОНІЗОВАНИМИ ТУРБОГЕНЕРАТОРАМИ, ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ .....	2248
<i>Максим Ігорович Свіридов</i> АНАЛІЗ ГРОЗОЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ .....	2251
<i>Василь Олександрович Корчмарчук</i> КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ .....	2253
<i>Дмитро Олександрович Поліщук</i> ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ .....	2255
<i>Віталій Анатолійович Дмуховський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ КОНДЕНСАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ СМА $166/\sqrt{3}$ .....	2257
<i>Юлія Володимирівна Малогулко, Яна Валентинівна Пташинська</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ З АСИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ .....	2259
<i>Андрій Сергійович Мельничук</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШУНТУЮЧИХ РЕАКТОРІВ .....	2263
<i>Юлія Володимирівна Малогулко</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ .....	2265
<i>Олена Вікторівна Сікорська</i> ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ В ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ МЕРЕЖ ВИЩОЇ НАПРУГИ .....	2269
<i>Євгеній Віталійович Дучков, Володимир Васильович Нетребський</i> ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ГАМІЛЬТОНА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ .....	2272
<i>Юрій Юрійович Півнюк</i> МОДЕЛЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ВІДНОСНИХ СПАДІВ НАПРУГИ .....	2274
<i>Анна Миолаївна Герей</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТКАНЬ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТЕЙ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ЗАСОБАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ .....	2276

<i>Денис Павлович Ковальчук, Віра Володимирівна Тетя</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ .....	2279
<i>Андрій Олександрович Матвеев</i> ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВО-РОЗПОДІЛЬЧИМИ СИСТЕМАМИ .....	2281
<i>Максим Ігорович Панянчук</i> ПРОЕКТУВАННЯ СОЯНЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ .....	2283
<i>Вадим Михайлович Вавико</i> ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ .....	2285
<i>Наталія Юрївна Бурлак</i> СПОСІБ УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ СОЛЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СПОЖИВАЧІВ ЕНЕРГІЇ .....	2287
<i>Артур Валерійович Ситник, Петро Дем'янович Лежнюк</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ .....	2289
<i>Юрій Юрійович Півнюк</i> ЗАЛУЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ БАТАРЕЙ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З АСИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ .....	2291
<i>Марія Сергіївна Костяєва</i> ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ .....	2293
<b>Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту</b>	
<i>Дарина Олексіївна Гаврилюк, Олександр Дмитрович Демов, Віталій Андрійович Коноплицький</i> РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ОСНОВІ ГРАЛЬНИХ МЕТОДІВ .....	2295
<i>Максим Вікторович Панасюк</i> ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ .....	2297
<i>Віталій Андрійович Коноплицький</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	2299
<i>Іван Миколайович Маліванчук</i> ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ІННОВАЦІЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ .....	2301
<i>Дмитро Богданович Солоненко</i> ОЦІНЮВАННЯ ЗБИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ПРИ ПОРУШЕННІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	2303
<i>Михайло Володимирович Агафонов</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИБОРУ ДАНИХ ІЗ ЕЛЕКТРОННИХ ТАБЛИЦЬ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТНИХ ФУНКЦІЙ РОБОЧОГО ЛИСТА EXCEL .....	2305
<i>Дмитро Едуардович Ковальчук</i> ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНВЕСРА .....	2307
<i>Олександр Дмитрович Демов</i> РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ЇХ ДЕКОМПОЗИЦІЇ .....	2309
<i>Марія Юрївна Москвіцова, Олександр Дмитрович Демов</i> ГРАДІЄНТНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ .....	2311
<i>Інна Анатоліївна Філіпська</i> СУЧАСНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ВІМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЇЇ ЯКОСТІ .....	2314
<i>Наталія Василівна Терешкевич</i> ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗНАНЬ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИКЛАДАННІ СПЕЦІАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН В НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ ПІ РІВНЯ АКРЕДИТАЦІЇ .....	2317
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Денис Валерійович Пакула</i> ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ .....	2319
<i>В'ячеслав Павлович Станіславов</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	2321
<i>Леонід Борисович Терешкевич, Олександр Олексійович Хоменко</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 кВ .....	2323
<i>Анатолій Володимирович Гнатюк</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ УМОВ ДОПУСТИМОЇ РОБОТИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРОЦЕСОРА EXCEL .....	2327
<i>Андрій Олександрович Воробей</i> ВИБІР РЕЖИМУ РОБОТИ НЕЙТРАЛІ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6–35 кВ .....	2329
<i>Ярослав Анатолійович Янковецький</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ М.ВІННИЦЯ .....	2331
<i>Юрій Вікторович Ніколай</i> АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ БАТАРЕЙ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	2343
<i>Kolja Y. Svirgyn</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ ПРИ ОБРИВІ ПРОВОДУ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КАР'ЄРІВ .....	2345
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Марина Вікторівна Олійник</i> МЕТОДИ ВИБОРУ ВАРІАНТУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ .....	2347
<i>Валентин Петрович Біленький</i> ТАРИФНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ АГРОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	2350
<b>Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань</b>	
<i>Валерій Федорович Граняк</i> ЛЮМІНІСЦЕНТНИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ БЕЗКОНТАКТНОГО ВІМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОЛЮСНИХ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН .....	2352
<i>Сергій Олександрович Биковський, Вячеслав Губейович Мадьяров, Самоїл Шулімович Кацив</i> ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ОБОРОТНИХ ГІДРОАГРЕГАТІВ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ .....	2354
<i>Юрій Григорович Ведміцький</i> ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ 1-ГО І 2-ГО ПОРЯДКІВ ЯК ЗАСТУПНИХ ІНФОРМАТИВНИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ ВІБРОШВИДКОСТІ ТА ВІБРОЗМІЩЕННЯ .....	2356
<i>Юрій Григорович Ведміцький</i> ІНТЕГРАЛЬНІ ВІБРОПРИСКОРЕННЯ В ТЕОРІЇ ВІБРОКОНТРОЛЮ. СУТНІСТЬ І АЛЬТЕРНАТИВА .....	2359
<i>Андрій Миколайович Коваль</i> ПОРІВНЯННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИВОДІВ РІЗНИХ ТИПІВ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТУ .....	2362
<b>Секція електромеханічних систем автоматизації</b>	
<i>Юрій Володимирович Шевчук</i> ПРОГРАМНО – АПАРАТНИЙ КОНТУР ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ САЕП ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРА .....	2365
<i>Андрій Сергійович Горбань, Олександр Сергійович Кметюк</i> РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ .....	2367

<i>Вадим Сергійович Бомбик</i> КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТАТОРА ТА КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОЇ МАШИНИ .....	2369
<i>Юрій Володимирович Шевчук, Владислав Вькторович Іщук, Андрій Костянтинівич Гнатюк</i> ВЕБ ТЕХОЛОГІЇ В РОБОТОТЕХНІЦІ .....	2371
<i>Микола Миколайович Мошноріз, Олег Віталійович Руденко</i> МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕНТИЛЬНИХ ДВИГУНІВ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ .....	2373
<i>Микола Миколайович Мошноріз, Олександр В'ячеславович Паланюк</i> МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ AUTOCAD ELECTRICAL ДЛЯ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ .....	2375
<i>Михайло Птерович Розводюк, Руслан Олександрович Беседін, Олег Леонідович Тимошенко</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ .....	2378
<i>Сергій Бабій Миколайович, Роман Сергійович Білозор</i> СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНОЮ УСТАНОВКОЮ ІЗ ЗВОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА ТИСКОМ .....	2382
<i>Аліна Миколаївна Ратушина</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ УНІВЕРСАЛЬНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ .....	2385
<i>Микола Миколайович Мошноріз, Андрій Валерійович Гавриляк</i> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ПАКЕТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ .....	2387
<i>Михайло Петрович Розводюк, Олександр Миколайович Янчук</i> ВІРТУАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ .....	2390
<i>Сергій Миколайович Бабій, Тетяна Василівна Кириловська</i> КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ВРІВНОВАЖЕНОГО ЛІФТА В MATLAB .....	2393
<i>Дмитро Петрович Проценко, Богдан Юрійович Нич, В'ячеслав Сергійович Горобчук</i> ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА LABVIEW ДЛЯ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ .....	2397
<i>Олег Васильович Дідушок</i> ПРО ЗАДАЧУ КОМПЛЕКСНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ .....	2399
<b>Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів</b>	
<i>Олександр Борисович Мокін, Борис Іванович Мокін, Віталій Анатолійович Лобатюк</i> МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ У ФАЗІ СТВОРЕННЯ ТЯГИ ЛИШЕ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ .....	2401
<i>Олександр Борисович Мокін, Борис Іванович Мокін, Віталій Анатолійович Лобатюк</i> ДЕКОМПОЗИЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ .....	2404
<i>Богдан Андрійович Бойко, Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанак</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ТА УСТАТКУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС З ПІДВИЩЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРИ .....	2406
<i>Борис Іванович Мокін, Ірина Олександрівна Чернова</i> ЕКВІВАЛЕНТНІ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ З ОПЕРАЦІЄЮ ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ У ПРАВІЙ ЧАСТИНІ .....	2409
<i>Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанак</i> УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК .....	2411
<i>Олександр Анатолійович Паянок</i> СХЕМА РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСА ІЗ НАКОПИЧУВАЧЕМ ЕНЕРГІЇ НА БОРТУ .....	2413
<i>Марина Василівна Груба, Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанак</i> ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ АДМІНІСТРАТИВНИХ БУДІВЕЛЬ .....	2416
<i>Володимир Васильович Богачук</i> ОПТИЧНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛО-ГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ .....	2419
<i>Олександр Борисович Мокін</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОБТІ-КАЧІВ ДЛЯ БЕЗРЕДУКТОРНИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ .....	2421
<i>Артем Олегович Товкач, Володимир Васильович Богачук</i> ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСОМ ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ .....	2424

## **XLV Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки**

### **Оргкомітет**

#### **Голова оргкомітету**

В. О. Леонтєв, ВНТУ, Україна

#### **Заступник голови оргкомітету**

В. В. Кухарчук, ВНТУ, Україна

#### **Члени оргкомітету**

В. В. Грабко, ВНТУ, Україна

В. М. Кутін, ВНТУ, Україна

П. Д. Лежнюк, ВНТУ, Україна

Б. І. Мокін, ВНТУ, Україна

О. Є. Рубаненко, ВНТУ, Україна

О. Б. Мокін, ВНТУ, Україна

### **Секції**

Пленарне засідання

Секція електричних станцій і систем

Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Секція електромеханічних систем автоматизації

Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

## ПРО СТАН НАУКОВОЇ РОБОТИ НА ФАКУЛЬТЕТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Наведено коротку характеристику досягнень факультету електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету за період 2013-2015 р.р. Наведено основні характеристики наукової та інноваційної діяльності на факультеті. Визначено недоліки у науковій роботі та напрямки щодо підвищення її ефективності.*

**Ключові слова:** наукова робота, інноваційна діяльність, організація, координація

### **Abstract**

*Brief description of the achievements of the faculty of electrical energy and power mechanics Vinnytsia National Technical University for the period 2013-2015 is given. The main characteristics of research and innovation at the faculty provided. Deficiencies in scientific work and directions to improve its effectiveness defined.*

**Keywords:** research, innovation, organization, coordination

На факультеті ЕЕЕМ створено ефективну систему організації та координації наукової роботи, що забезпечує належний рівень науково-дослідної та інноваційної діяльності викладачів, співробітників, аспірантів, магістрів та студентів.

Інноваційна наукова діяльність факультету електроенергетики та електромеханіки (ФЕЕЕМ) забезпечується значним кадровим потенціалом факультету, до складу якого входять 10 докторів наук і 52 кандидати наук. Серед співробітників два Заслужених діячі науки і техніки України (професор Лежнюк П.Д., професор Мокін Б.І.) та один Лауреат державної премії Ради Міністрів СРСР (професор Кутін В.М.). Середній відсоток викладачів з науковим ступенем та вченим званням становить 80,3%, на випускних кафедрах – 89,6%, а на кафедрах ЕСС та ВЕТЕСК – 100%.

Питання стану та активізації наукової роботи постійно заслуховуються на засіданнях Ученої ради факультету, систематично розглядаються на засіданнях кафедр. На кафедрах факультету відпрацьована технологія регулярного проведення наукових семінарів, попередніх захистів дисертацій, магістерських кваліфікаційних робіт тощо. На факультеті проводиться постійно діючий семінар «Електричні мережі енергосистем з нетрадиційними та відновлюваними джерелами електроенергії» Наукової Ради Національної академії наук України з проблеми «Наукові основи електроенергетики».

Провідні вчені факультету є членами 6 спеціалізованих Учених рад по захисту кандидатських та докторських дисертацій, 8 редколегій наукових фахових видань, 2 науково-методичних комісій МОН України тощо.

У 2000 році співробітниками кафедри ФГН за підтримки Міжнародного фонду "Відродження" було засновано журнал «Сентенції». На даний час це фахове видання у галузі філософії виходить два рази на рік і користується популярністю серед дослідників модерної філософії. З 2014 року на факультеті працює корпункт наукових видань «Енергетика та електрифікація» та «Электрические сети и системы», які є популярними серед науковців та практиків енергетичної галузі. На базі факультету раз на два роки проводиться міжнародна науково-технічна конференція «Оптимальне керування електроустановками», у якій приймають участь українські та закордонні науковці.

Щороку студенти ФЕЕЕМ стають переможцями та призерами Всеукраїнських олімпіад та конкурсів наукових робіт, курсових та дипломних проектів, у звітний період призерами стали 12 студентів факультету (Дідушок О.В., Колмачов К.І., Лаура Я.П., Півнюк Ю.Ю., Рубаненко І.Є., Тимошенко О.Л., Хоменко О.О. та ін.).

На кафедрах факультету сформувалися та успішно працюють наукові колективи, які очолюють професори Грабко В.В., Кутін В.М., Кухарчук В.В., Лежнюк П.Д., Мокін Б.І., Хома О.І.

На факультеті успішно працює спеціалізована вчена рада з захисту кандидатських дисертацій за

двома спеціальностями: 05.09.03 та 05.14.02, де протягом звітнього періоду захистили дисертації 20 здобувачів (серед них 8 співробітників факультету).

За звітний період (2013-2015 рр.) науковцями факультету захищено 10 кандидатських та 1 докторська дисертація, керівниками яких були проф. Грабко В.В. (1), проф. Кухарчук В.В. (2), Лежнюк П.Д. (3 канд. та 1 докт.), проф. Мокін Б.І. (1), проф. Хома О.І. (2), доц. Рубаненко О.Є. (1). Над докторськими дисертаціями працюють 7 науковців, з яких 3 навчаються у докторантурі. Над кандидатськими дисертаціями працюють 29 осіб, серед яких 11 співробітників факультету. В аспірантурі навчається 20 осіб. Докторант кафедри ЕСС Бондаренко Є.А. (наук. конс. проф. Кутін В.М.) представив до захисту докторську дисертацію.

Ефективно виконуються науково-дослідні роботи на замовлення, обсяг фінансування яких у 2013-2015 рр. становив 1615 тис. грн., в т.ч. 1146 тис. грн. за держбюджетним замовленням. Активно в цьому напрямку працюють колективи науковців під керівництвом проф. Кухарчука В.В. та проф. Лежнюка П.Д. До виконання досліджень залучаються аспіранти, магістри та бакалаври інституту.

За результатами наукових досліджень у 2013-2015 рр. науковцями ФЕЕЕМ було опубліковано понад 770 наукових праць, серед них: 24 монографії, з яких кафедра ЕСС підготувала – 6, ТЕЕВ – 5, ЕМСАПТ – 4, ВЕТЕСК – 3, ЕСЕЕМ – 3, ФГН – 3; 51 підручник або навчальний посібник, з яких кафедрою ЕСС підготовлено – 18, ТЕЕВ – 14, ФГН – 8, ВЕТЕСК – 5, ЕМСАПТ – 4, ЕСЕЕМ – 2; 373 статті (в т.ч. 39 – зі студентами), серед них: 233 – у фахових виданнях, 223 – у виданнях, що внесені до наукометричних баз даних. Отримано 158 патентів та авторських свідоцтв на твір (в т.ч. 56 – із студентами). Найбільш активна робота по патентуванню винаходів ведеться на кафедрах ЕМСАПТ, ТЕЕВ та ВЕТЕСК (професори Кутін В.М., Кухарчук В.В., Мокін О.Б.).

Викладачі, аспіранти, магістранти та студенти беруть активну участь в роботі міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій, семінарів та виставок. За звітний період було проведено Міжнародні науково-технічні конференції «Оптимальне керування електроустановками» (2013 та 2015 рр.), а також міжнародну конференцію «Політика мудрої толерантності» (2015 р.). На них було зроблено 262 доповіді, з них 34 – за участю студентів. На щорічних НТК ВНТУ студентами факультету на засіданнях секцій було зроблено більше 460 доповідей.

Науковці кафедр ФЕЕЕМ співпрацюють з провідними науковими центрами та науково-дослідними установами України та інших країн. Підтримуються плідні зв'язки з Інститутом електродинаміки НАН України, Інститутом відновлюваної енергетики НАН України, Інститутом загальної енергетики НАН України, НТУУ «Київський політехнічний інститут», НУ «Львівська політехніка», НТУ «Харківський політехнічний інститут», ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» та іншими профільними університетами України. Підтримуються наукові зв'язки з Всесвітнім інститутом інженерів з електроніки та електротехніки ІЕЕЕ, Технічним університетом «Московський енергетичний інститут» (РФ), Благовіщенським технічним університетом (РФ), Технічним університетом Молдови, Камерунським технічним університетом, Всеросійським НДІ електроенергетики (РФ), Санкт-Петербурзьким технічним університетом (РФ), Томським технічним університетом (РФ), Інститутом проблем управління (РФ), Омським університетом залізничного транспорту (РФ), Університетом Свентокшишська політехніка (Польща), Міжнародним центром СІВР (Франція), Університетом Sorbona (Франція), фірмами Schneider Electric та Simiensi.

Аналіз наукової діяльності ФЕЕЕМ за 2013-2015 рр. свідчить про позитивну динаміку практично за всіма основними показниками, що є результатом відповідального ставлення керівництва факультету, завідувачів кафедр, всіх науковців та студентів, збалансованості всіх форм наукової діяльності – магістратури, аспірантури, наукових колективів кафедр.

Разом з тим, наукова діяльність факультету за звітний період не позбавлена певних недоліків:

- слід активізувати роботу щодо залучення госпдоговірної тематики;
- недостатня увага приділяється завідувачами кафедр фундаментальним дослідженням, підготовці і захисту докторських дисертацій;
- співробітниками недостатньо активно висвітлюються результати наукових досліджень в іноземних виданнях та виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus та Web Of Science;
- на кафедрах факультету відсутні комплексні держбюджетні дослідження з іншими ВНЗ та інститутами Академії наук України;
- науковці кафедр факультету недостатньо активно беруть участь в конкурсах на здобуття міжнародних грантів.



## Висновки

1. На кафедрах ФЕЕЕМ завдяки високому науковому потенціалу науково-педагогічних працівників, завідувачів кафедр та організаційним заходам деканату наукова діяльність здійснюється на достатньому рівні та відповідає вимогам вищої освіти.

2. Необхідно підвищити вимоги до наукових керівників щодо більш ретельного відбору претендентів для навчання в магістратурі та аспірантурі, дотримання термінів захисту дисертацій, доведення науково-дослідних розробок до технічної реалізації.

3. Необхідно активніше використовувати сучасні рекламні можливості для презентації та висвітлення наукових досягнень і розробок, зокрема, збільшити кількість публікацій у наукових виданнях, що цитуються у науково-метричних базах Scopus та Web Of Science.

4. Необхідно активізувати роботу щодо участі в конкурсах на отримання міжнародних грантів, а також щодо збільшення обсягів НДР з госпдоговірним фінансуванням.

**Кулик Володимир Володимирович** — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: kulyk\_vv@mail.ua

**Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Asist. professor, Associate professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: kulyk\_vv@mail.ua.

# РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ЇХ ДЕКОМПОЗИЦІЇ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано метод декомпозиції електричної мережі, який дозволяє проводити поетапний розрахунок компенсації реактивної потужності в окремих підсистемах електричної мережі з урахуванням впливу інших підсистем. Запропонований метод базується на декомпозиції функції зниження втрат активної потужності, що дозволяє спростити розрахування компенсації реактивної потужності для всіх електричних мереж в цілому. Проведено аналіз декомпозиції електричної мережі та приведено приклад розрахунку компенсації реактивної потужності в електричній мережі на основі декомпозиції.

**Ключові слова:** декомпозиція, компенсація реактивної потужності, електричні мережі.

## Abstract

A method of decomposition of electric network, which allows to carry out the step-by-step calculation of reactive power compensation in the individual subsystems of electric network taking into account the influence of other subsystems is proposed. The proposed method is based on the decomposition of function reduction of active power losses, which allows to simplify the calculation of reactive power compensation for all electric networks on the whole. The analysis of decomposition of electric network is carried out and the example of calculation of reactive power compensation in an electric network based on decomposition is shown.

**Keywords:** decomposition, reactive power compensation, electric networks.

## Вступ

Зменшення втрат електроенергії в електричних мережах (ЕМ) можна досягнути за рахунок компенсації реактивної потужності (КРП) в них. Оскільки ЕМ є фізично єдиним цілим, то основою існуючих методів розрахунку КРП є підхід, який базується на проведенні таких розрахунків для всієї ЕМ [1]. Розв'язувати задачу таким чином складно, оскільки ЕМ є ієрархічною системою, в якій її окремі частини можуть проводити розрахування КРП відповідно до своїх економічних інтересів.

Таким чином, метою роботи є розробка методу декомпозиції ЕМ при розв'язанні задачі КРП, що дозволяє спростити розрахування КРП для всіх ЕМ в цілому.

## Результати дослідження.

Декомпозиція ЕМ потребує декомпозиції функції показника КРП. Оскільки таким показником у більшості випадків є функція зниження втрат активної потужності від вектора потужностей КУ  $\delta P(Q_K)$ , то розглянемо декомпозицію цієї функції.

Функція  $\delta P(Q_K)$  визначається на основі формули Тейлора [2]

$$\delta P(Q_K) = \frac{2}{U_n^2} \times \left( \sum_{i=1}^n Q_{Ki} \times R_{ii} \times Q_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{Ki} \times R_{ij} \times Q_j - \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^n Q_{Ki}^2 \times R_{ii} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{Ki} \times Q_{Kj} \times R_{ij} \right), (1)$$

де  $U_n$  – номінальна напруга мережі;  $Q_i$ ,  $Q_j$  – реактивні навантаження відповідно  $i$ -го та  $j$ -го вузлів.  $R_{ii}$  – вхідний опір  $i$ -го вузла;  $R_{ij}$  – взаємний опір  $i$ -го та  $j$ -го вузлів;  $i, j = 1, \dots, n, i \neq j$ ;  $Q_{Ki} \times Q_{Kj}$  – потужності КУ, установлені в  $i, j$ -их вузлах

Формула (1) відображає декомпозицію функції зниження втрат  $\delta P(Q_K)$ . Вона дає можливість розділити цю функцію на дві складові: перша складова  $\delta P(Q_{Ki})$  враховує зниження втрат активної потужності, зумовлене тільки потужністю  $Q_{Ki}$ ; друга складова  $\delta P(Q_{Ki}, Q_{Kj})$  – зниження втрат активної потужності, зумовлене спільною дією КУ  $Q_{Ki}$  і  $Q_{Kj}$ .

Декомпозиція функції  $\delta P(Q_K)$  дозволяє відокремити зі всієї схеми ЕМ ту її частину, яка бере участь у розрахунку компенсації реактивного навантаження  $i$ -го вузла, що дозволяє проводити аналіз зниження втрат, зумовлених кожною КУ окремо [3].

На основі запропонованої декомпозиції здійснюється поетапний розрахунок КРП [4, 5]. Кожний етап складається з кроків. Один крок розв'язання задачі заключається у розрахунку зниження втрат при установленні КУ в  $i$ -ому вузлі. Максимальне зниження втрат на  $l$ -ому етапові розрахунку визначається покроковим перебором всіх можливих місць установлення КУ:

$$\delta P_l^{\max} = \max_{i=1}^n (\delta P_{l,i}), \quad (2)$$

де  $l=1, \dots, q, \dots, z$ ;  $z$  – кількість етапів розрахунку КРП;  $q$  – проміжний етап розрахунку КРП.

Сума величин  $\delta P_l^{\max}$  на  $q$ -ому етапові дозволяє знайти максимальне зниження втрат за всі попередні етапи, включаючи  $q$ -ий етап, за рахунок установленної потужності  $Q_{Kq}$ :

$$\delta P_{\Sigma}^{\max}(Q_{Kq}) = \sum_{l=1}^q \delta P_l^{\max}, \quad (3)$$

$$\text{де } Q_{Kq} = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n Q_{Ki,l}.$$

Наявність залежності  $\delta P_{\Sigma}^{\max}(Q_{Kq}) = f(Q_{Kq})$  дозволяє знайти максимально можливе зниження втрат від заданої сумарної потужності КУ  $Q_{K3}$ ,  $\delta P_3^{\max} = f(Q_{K3})$  і навпаки - оптимальну сумарну потужність КУ  $Q_{K\Sigma}^o$  для забезпечення заданої величини втрат  $f_3$ :

$$Q_{K\Sigma}^o = f_3^{-1}(Q_{K3}), \quad (4)$$

де  $f_3^{-1}(Q_{K3})$  значення функції, оберненої до  $f(Q_{K3})$  при заданій величині втрат  $f_3$  [4, 5].

Відповідно приведених положень проведено поетапний розрахунок КРП в розподільній мережі, який показав можливість зменшення об'єму інформації при розв'язанні задачі.

## Висновки

На основі формули Тейлора розроблена модель декомпозиції функції зниження втрат активної, що дозволяє проводити розрахунок КРП в окремій підсистемі ЕМ з врахуванням усіх інших підсистем і відповідно зменшити затрати на реалізацію цього розрахунку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. В 2-х книгах. Книга 1 / пер. с англ. к.т.н. В.Я. Алтаева, В.И. Моторина. – Москва: Мир, 1986. – 347с
3. Демов О.Д., Паламарчук О.П. Декомпозиція електричних мереж при розрахуванні компенсації реактивної потужності в них // Вісник національного університету Львівська політехніка, Електроенергетичні та електромеханічні системи. № 637. – 2009. – С. 24-27.
4. Демов О.Д., Миндюк А.Б., Бандура І.О. Розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільній мережі енергопостачальних компаній при дефіциті коштів // Новини енергетики – 2011. – № 4. - С. 38 - 44.
5. Демов О.Д., Хінді Айман Тахер Поетапне впровадження конденсаторних установок в електричні мережі промислових підприємств // Технічна електродинаміка. – 2002. – № 2. – С. 55–58.

**Олександр Дмитрович Демов** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: demov@yandex.ru.

**Demov Alexander D.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: demov@yandex.ru.

# ОПЕРАТИВНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*В роботі розглянуто метод розрахунку оптимальних коефіцієнтів трансформації трансформаторів з регуляторами під напругою з врахуванням їх технічного стану визначеного за результатами оперативного діагностування, використовуючи який можливо оцінити доцільність здійснення керуючих впливів і зменшити втрати активної потужності та витрати на ремонт в разі їх відмови.*

**Ключові слова:** трансформатори з регуляторами під напругою, технічний стан, оперативне діагностування, керуючі впливи, втрати активної потужності, витрати на ремонт.

## *Abstract*

*In the paper, the method for calculating the optimal transformation coefficients transformers with voltage regulators when considering their technical condition determined by the results of the operational diagnostics using which may estimate the feasibility implement control actions and reduce active power losses and repair costs in the event of failure.*

**Key words:** transformers regulators energized technical condition, rapid diagnostics, control actions, active power losses, cost of repairs.

## Вступ

Від рівня розвитку та якості функціонування енергетичної галузі залежить робота і розвиток народного господарства, добробут громадян та економічна безпека держави. Електропостачання споживачів в Україні централізоване і здійснюється від електричних мереж об'єднаних між собою електроенергетичних систем. В будь-який момент часу енергосистема знаходиться у стані, який визначається його параметрами. Сукупність станів енергосистеми і процесів переходу з одного стану в інший є її режимом, який характеризується параметрами, наприклад, електричними: напругами та навантаженнями підстанцій, струмами в лініях електропередач (ЛЕП), коефіцієнтами трансформації трансформаторів і т.п. Нормальна робота енергосистем можлива лише за умови чітко функціонуючої системи оперативно-диспетчерського керування режимами ЕЕС, широкого впровадження засобів автоматизації такого керування, що потребує вдосконалення методів та засобів їх інформаційної підтримки. В наш час перед енергетичною галуззю стоять задачі підвищення енергетичної ефективності [1], надійності і якості електропостачання. Одним зі шляхів підвищення ефективності є зменшення втрат електричної потужності під час її транспортування за умови врахування поточного технічного стану експлуатованого обладнання.

## Оперативне діагностування високовольтного обладнання

Одним з головних видів високовольтного обладнання електроенергетичних систем (ЕЕС), яке приймає участь в оптимальному керуванні їх нормальними режимами є силові трансформатори оснащені регуляторами під напругою (РПН). Такі трансформатори є складними системами з огляду на їх побудову, умови забезпечення надійної та якісної роботи їх вузлів (ізоляції, РПН, високовольтних ввідів, системи охолодження і т. п.). Враховуючі безперервний, в більшості випадків, режим роботи трансформаторів та їх вплив на якість реалізації оптимальних режимів ЕЕС необхідно вирішувати завдання вдосконалення методів та засобів визначення поточного стану такого виду високовольтного обладнання. Актуальність поставленого завдання зростає в умовах експлуатації трансформаторів які виготовлені понад 30 років тому, що значно перевищує їх паспортний ресурс. Однак мають місце пошкодження не лише застарілих трансформаторів, а і нових, наприклад, пошкодження трансформатора АТЗ в Південно-Західній електроенергетичній системі, або семи трансформаторів ТОВ «Барлінек Україна» м. Вінниця.

Визначення технічного стану обладнання в першу чергу здійснюється оперативно-диспетчерським персоналом під час керування режимами ЕЕС тому може бути віднесено до оперативного діагностування (ОД). Проведення оперативного діагностування високовольтних

уводів в умовах неповноти даних на момент визначення поточного стану високовольтного уводу (ВУ) пов'язано з необхідністю продовження експлуатації зношеного електрообладнання (ЕО) енергопідприємств.

Ознаками ОД [2] є наявність даних про поточні значення функціональних параметрів, які надходять від моніторингових систем і водночас результатів періодичного контролю.

З метою врахування великої кількості результатів поточного та періодичного контролю діагностичних параметрів під час керування режимами ЕЕС пропонується використовувати інтегральний показник – загальний залишковий ресурс силового трансформатора високовольтного вимикача і т. п. Для цього пропонується використовувати методи та засоби нейро-нечіткого моделювання, вдосконалюючи, як методи періодичного контролю, так і поточного.

### Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС

Відомо, що під час експлуатації, енергетичне підприємство планує виведення обладнання в капітальний ремонт, вартість якого прогнозована.

Виведення трансформатора в капітальний ремонт через планову кількість років ( $T_{\text{бас}}$ ) безаварійної експлуатації (12 років) передбачає певний перелік робіт і очікувану їх вартість  $V_{\text{кр.пл.}}$ . Так, наприклад, для трансформаторів класу напруги 330/110 кВ потужністю  $V_{\text{пл}}=125-250$  МВА вартість (В) такого ремонту складає від 200 до 300 тис. гривень. Пропонуємо вважати, що виведення трансформатора в розширений поточний ремонт вимагає позапланових витрат.

Ці витрати на ремонт можуть зростати на вартість  $\Delta V_1$  заміни пошкоджених вузлів трансформатора та додаткових робіт, з цим пов'язаних, що не передбачені при «типовому» плановому капітальному ремонті (ПКР).

$$\Delta V_1 = \sum_{i=1}^n \left( V_i \cdot e^{\gamma_i \cdot k_{\text{рес.}i}^{\beta_i}} \right) \quad (1)$$

де  $V_i$  - вартість заміни  $i$ -того пошкодженого вузла трансформатора та додаткових робіт, з цим пов'язаних;  $n$  - кількість пошкоджених вузлів, які потребують позапланової заміни;  $k_{\text{рес.}i}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу  $i$ -того вузла, що потребує позапланової заміни;  $\gamma$ ,  $\beta$  - коефіцієнти, які характеризують вплив коефіцієнту залишкового ресурсу на очікувану вартість позапланового ремонту або заміни  $i$ -того вузла трансформатора (визначаються шляхом обробки статистичних даних). Також витрати на ремонт можуть зростати на вартість  $\Delta V_2$  (порівняно з очікуваними) в разі розширеного поточного (замість планового капітального) ремонту трансформатора, який не відпрацював планову кількість років:

$$\Delta V_{2j} = 1 - e^{\alpha_j (T_j - 1)}, \quad (2)$$

де  $j$  - номер трансформатора,  $T_j$  - час, який  $j$ -й трансформатор пропрацював після введення в експлуатацію або після останнього капітального (розширеного поточного) ремонту до моменту керування режимом,  $\alpha_j$  - коефіцієнт, який характеризує інтенсивність зростання вартості  $\Delta V_2$ , який залежить від конструкції трансформатора, умов та режиму експлуатації (визначається дослідним шляхом).

При цьому варто зазначити те, що виведення трансформатора з експлуатації відбувається внаслідок не лише спрацювання засобів релейного захисту, протиаварійної та інших видів автоматики, а і особою, яка відповідає за безаварійну експлуатацію за результатами контролю діагностичних параметрів, значення яких інколи лише наближається до граничних.

В контексті створення сучасних SMART Grids та з метою безпечної, надійної, якісної та економічної експлуатації ЕЕС потрібно керування перетіканням активної потужності здійснювати найбільш надійним і впливовим на режим трансформатором. Тому пропонується враховувати коефіцієнт (ефективності дії для кожного трансформатора) обмеження регульовального ефекту

$$k_{\text{обм.}i} = (1 - k_{\text{рес.}i}) \cdot V_{\text{кр.}j}, \quad (3)$$

де  $V_{\text{кр.}j}$  - коефіцієнт зростання вартості ремонту  $j$ -того трансформатора

$$V_{\text{кр.}j} = \frac{\Delta V_{1,j} + \Delta V_{2,j}}{\Delta V_{1,j} + V_{\text{кр.пл.},j}}. \quad (4)$$

Знаючи параметри схеми та нормального режиму визначаємо оптимальні коефіцієнти трансформації:

$$k_{a, \text{опт}} = 1 - \text{diag}(\text{Re}(-N_{kzb} \cdot Z \cdot C_e \cdot J)) \cdot Ub^{-1} \cdot Ezr_a, \quad (5)$$

$$k_{p, \text{о.о}} = -\text{diag}(\text{Im}(-N_{kzb} \cdot Z \cdot C_e \cdot J)) \cdot Ub^{-1} \cdot Ezr_p, \quad (6)$$

де  $N_{kzb} \cdot Z \cdot C_e \cdot J$  – базові контурні ЕРС,  $Ezr_a, Ezr_p$  – оптимальні зрівнювальні ЕРС у відносних одиницях (активна та реактивна складова). Враховуючи дискретний характер перемикачів РПН, похибки вимірювальних трансформаторів, похибки каналів передавання даних, та рекомендації [3], приймаємо зону нечутливості втрат активної потужності до регулювальних впливів - 3% [4]. Визначаємо скореговані оптимальні коефіцієнти трансформації (вектор-стовбці  $k'_{a, \text{опт}}$  та  $k'_{p, \text{опт}}$ ) та положення РПН, за умови мінімальної кількості перемикачів (з метою збереження комутаційного ресурсу РПН) для «введення» трансформатора в трьох відсоткову зону нечутливості втрат сумарної активної потужності в вітках схеми, до зміни положення РПН трансформатора

Визначаємо втрати активної та реактивної потужності в вітках схеми, при скорегованих оптимальних коефіцієнтах трансформації, для початкового режиму

$$\Delta S_{\Sigma \text{віт}} = \Delta P_{\Sigma \text{віт}} + j\Delta Q_{\Sigma \text{віт}} = 3 \cdot \sum_{j=1}^m \Delta S_{\text{віт}, j}, \quad (7)$$

де  $\Delta S_{\text{віт}} = \text{diag}(\Delta U_{\text{віт}}) \cdot \hat{I}_{\text{віт}}$  – вектор-стовбець втрат повної потужності в вітках схеми, а  $\Delta U_{\text{віт}} = M_{\Sigma} \cdot U_{\text{вуз}}$  – вектор-стовбець фазних напруг у вузлах,  $\hat{I}_{\text{віт}}$  – вектор-стовбець струму у вітках,  $j = 1..m$  – номер вітки в схемі,  $m$  – кількість віток в схемі,  $U_{\text{вуз}}$  – вектор-стовбець фазних напруг у вузлах, при скорегованих оптимальних коефіцієнтах трансформації початкового режиму.

Визначаємо напруги у вузлах та втрати потужності, для нових навантажень з попередніми коефіцієнтами трансформації, та загальносистемні втрати активної та реактивної потужності у вітках. Перехід з неоптимального в оптимальний режим, можна здійснити переключенням РПН трансформатора. Далі пропонується визначити очікуване квазі-зменшення втрат з урахуванням цих коефіцієнтів. Для досягнення бажаного режиму здійснюється регулювання трансформатором. Знаходимо зменшення втрат потужності у вітках схеми, проте врахувавши коефіцієнт обмеження регулювального ефекту, зменшення втрат

Знаходимо втрати активної потужності в вітці, яка містить трансформатор, як елемент вектора-стовбця втрат повної потужності в вітках схеми за виразом:

$$P_{\alpha} = \text{Re}(S_{\alpha}) \quad (8)$$

де  $S_{\alpha} = \Delta U_{\alpha} \cdot \hat{I}_{\alpha}$  - вектор-стовбець втрат потужності у вітках, що містять трансформатори,  $\Delta U_{\alpha}$  -  $\epsilon$ -к-тим елементом вектора-стовбця фазних напруг у вузлах, а  $\hat{I}_{\alpha}$  - струм віток з трансформаторними зв'язками,  $\alpha$  - номер рядка, що відповідає першій вітці з трансформаторними зв'язками, в векторі-стовбці  $\Delta S_{\text{віт}}$ .

Знаходимо активну потужність квазі-втрат в  $k$ -тій вітці, за виразом:

$$\Delta P_{\text{кваз.}\alpha} = \text{Re}(\Delta U_{\alpha} \cdot \hat{I}_{\alpha}) \quad (9)$$

Знаходимо величину квазі-опору в  $k$ -тій вітці:

$$Z_{\alpha} = \frac{\Delta S_{\alpha}}{\hat{I}_{\alpha}^2}; \quad (10)$$

де  $\alpha = k + \beta$ , де  $k$  - номер рядка першої вітки, що містить трансформатор в векторі-стовбці  $\Delta S$ ,  $\beta$  - коефіцієнт зміни порядкового номера вітки, що містить трансформатор, змінюється від 0 до  $(\psi - 1)$ , а  $\psi$  - це кількість віток, що містять трансформатори.

За таким алгоритмом, відповідно до рівняння (10), знаходимо квазі-опори інших віток, що містять трансформатори. Визначаємо параметри режиму, для схеми з квазі-опорами опорамі, та оптимальні скореговані коефіцієнти трансформації.

Метою оптимального керування є знаходження мінімуму функції загальносистемних втрат потужності, яка знаходиться за виразом:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \rightarrow \min.$$

## Висновки

Запропоновано метод ранжування трансформаторів з метою визначення кращого з них та кількості перемикачів його РПН з метою мінімізації сумарних втрат активної потужності в ЛЕП ЕЕС з урахуванням зростання очікуваної вартості ремонту трансформаторів від регулювання РПН шляхом використання результатів розрахунку нормального режиму з врахуванням поточного стану трансформаторів в квазі-опорах трансформаторних віток схеми за результатами оперативного діагностування силових трансформаторів з РПН.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О. Інформатизація та інтелектуалізація систем керування в електроенергетиці: деякі підсумки за останні роки / Олександр Кириленко, Артур Праховник // *Технічна електродинаміка: спеціальний випуск* – 2010. – С. 10 –17.
2. Лежнюк П. Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П. Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О. В. Нікіторович // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – №3. – С.33–36. – ISSN 1607–7970.
3. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. – М.: Изд-во *НИЦ ЭНАС*, 2002. – 216 с.
4. Железко Ю. С. Расчёт и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчётов / Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М. : ЭНАС, 2008. – 280 с. – ISBN 5 –93196–264–6.

**Рубаненко Олександр Євгенійович** – к.т.н., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. E-mail: [rubanenko@bk.ru](mailto:rubanenko@bk.ru).

**Alexander Y. Rubanenko** – Ph(D), associate professor of electrical plants and systems chair, Vinnytsya National Technical University, Vinnytsia. E-mail: [rubanenko@bk.ru](mailto:rubanenko@bk.ru).

## ПОФІДЕРНИЙ АНАЛІЗ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10(6) КВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Робота присвячена аналізу методів розрахунку втрат електроенергії в розподільних електричних мережах, а також дослідженню можливостей їх застосування для пофідерного аналізу втрат з використанням натурального експерименту.*

**Ключові слова:** втрати електроенергії, пофідерний аналіз, електричні мережі.

### **Abstract**

*Work devoted to the methods of calculating energy losses in distribution electrical grids and research opportunities for their use feeder loss analysis using a model experiment.*

**Keywords:** Electricity losses, feeder analysis, electrical networks.

### **Вступ**

Відомо, що за рахунок складності електричних мереж (ЕМ), істотно нерівномірного графіка відпуску електроенергії споживачам, великої кількості перемикань, що виконуються для підтримання працездатності ЕМ та забезпечення безперервного живлення споживачів визначення втрат електроенергії у таких мережах є достатньо складною задачею [1-3]. У загальному вигляді балансові втрати електроенергії у розподільних електричних мережах можуть бути подані у вигляді двох складових технічної та комерційної [4]. Обґрунтування припущень та вибір методів розрахунку для розв'язання конкретної задачі виконується, головним чином, виходячи з характеристик наявного інформаційного забезпечення [5]. Таким чином, наявний обсяг і якість даних про стан та режими роботи ЕМ є визначальним фактором для забезпечення належної адекватності результатів розрахунку втрат електроенергії в них. Основним призначенням пофідерного аналізу балансів електроенергії та розрахунку втрат в ЕМ є підвищення ефективності роботи енергетичних підприємств, у тому числі, за рахунок зменшення втрат електроенергії у мережах. Отже, дослідження, що скеровані на забезпечення необхідної адекватності та точності пофідерного аналізу втрат електроенергії в ЕМ є достатньо актуальними.

Метою роботи є аналіз методів визначення втрат електроенергії в розподільних мережах та дослідження можливості їх застосування для пофідерного аналізу втрат з урахуванням наявного інформаційного забезпечення.

### **Результати дослідження**

За відсутності достатнього інформаційного забезпечення щодо параметрів поточного режиму ЕМ та стану комутаційної апаратури єдиним можливим шляхом визначення та нормування втрат електроенергії було застосування статистичних методів та методів еквівалентування, хоча такий підхід має ряд суттєвих недоліків [4]. Запровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) забезпечує передумови використання більш гнучких та точних методів для розв'язання даної задачі [3]. В залежності від повноти та періодичності оновлення інформації про навантаження елементів електричної мережі за розрахунковий період для визначення втрат може використовуватись низка методів [4]. Схемотехнічні методи в ітеративній формі знайшли широке застосування для аналізу нормальних режимів ЕМ вищих класів напруг, що зумовлено високим рівнем інформаційного забезпечення. Після запровадження АСКОЕ є можливість і доцільність їх використання для розв'язання задачі аналізу та структурування втрат електроенергії у мережах 10(6) кВ [5].

Перевагою такого підходу є можливість отримання детальної інформації про режим роботи і, відповідно, втрати потужності та електроенергії у кожному елементі ЕМ, що є необхідною умовою пофідерного аналізу технічної складової втрат для розроблення електроощадних заходів. Але адекват-



ність одержаних результатів у значній мірі залежить від обсягу та якості вихідної інформації про ЕМ.

Для фрагменту електричної мережі 10 кВ було проведено натурний експеримент з метою визначення балансових втрат електроенергії та отримання повної інформації для їх пофідерного аналізу. Прийнявши експериментальні балансові втрати за умовно-точне значення технічних втрат електроенергії для заданої ЕМ досліджено вплив недосконалості вихідної інформації на результати розрахунку втрат (табл.1).

**Таблиця 1 – Оцінювання відхилень результатів розрахунку втрат в електричних мережах**

Метод визначення втрат електроенергії	Надходження, кВт·год	Втрати dW, кВт·год	Втрати dW, %	Похибка, кВт·год	Похибка, %
Натурний експеримент (балансові втрати)	165915	2833,82	1,708	-	-
Метод середніх навантажень	165917	2346,80	1,414	487,02	17,19
Метод максимальних навантажень	165919	2501,52	1,508	332,3	11,73
Метод чисельного інтегрування за графіком надходження електроенергії	165915	2845,70	1,715	11,88	0,42

У випадку визначення втрат за методом середніх навантажень спостерігається істотне заниження розрахункових втрат (біля 17%). Найкращі результати дає використання методу чисельного інтегрування, для якого результати розрахунку фактично збігаються з експериментальними даними.

### Висновки

Встановлено, що для розроблення програмного забезпечення з пофідерного аналізу втрат електроенергії в розподільних електричних мережах можливо і доцільно застосовувати метод чисельного інтегрування з використанням даних АСКОЕ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 465 с.
2. Модели и методы выбора мероприятий по снижению потерь электрической энергии в распределительных сетях / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, Н. М. Черемисин [та ін.] // Энергетика та електрифікація. – 2007. – № 8. – С. 32–36.
3. Пейзель В. М. Расчеты технических потерь энергии в распределительных электрических сетях с использованием информации АСКУЭ и АСДУ / В. М. Пейзель, А. С. Степанов // Электричество. – 2002. – № 3. – С. 10–15.
4. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електричної енергії та вибору заходів щодо їх зниження: СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-96:2014. – Київ: Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго», 2014. – 84 с.
5. Кулик В.В., Писляров Д.С. Оцінка вірогідності результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних електричних мережах засобами АСКОЕ // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2006. – Вип. 43. т. 1. – С. 40–49.

**Пшечук Андрій Володимирович** — студент групи 1Е-126, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: PshechukAV@mail.ru;

Науковий керівник: **Кулик Володимир Володимирович** — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Pshechuk Andriy V.** — Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : PshechukAV@mail.ru;

Supervisor: **Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Asist. professor, Asist. professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTI ОБЛАДНАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

## **Анотація**

*Кардинальна зміна економічних відносин, формування енергоринку, поява змішаної приватно-державної форми власності потребують докорінного реформування енергетичного сектору України.*

*Більше 50% експлуатованого в галузі обладнання вимагає заміни, оскільки фізично і морально застаріло. В енергетиці України розвиваються нові технології, впроваджуються інформаційні і діагностичні системи, сучасні засоби вимірювань і управління, які дозволяють визначити поточний стан обладнання та здійснювати керування режимів з урахуванням стану обладнання.*

**Ключові слова:** локальна електрична система, кабельні лінії, ліній електропередач, альтернативні джерела.

## **Abstract**

*Radically change economic relations, the formation of the energy market, the emergence of mixed private and state-owned require radical reform of the energy sector of Ukraine.*

*More than 50% operated in equipment replacement required because physically and morally obsolete. In Ukraine energy developing new technologies are introduced and diagnostic information systems, modern measurement and control, which can determine the current state of the equipment and manage mode based on the state of equipment.*

**Keywords:** local electrical system, cable lines, power lines, alternative sources.

## **Вступ**

На даний момент споживач в Україні електроенергія надходить до споживача централізовано від центрів живлення, або від автономних джерел. Оскільки в Україні впроваджується розподілена генерація на основі активного використання альтернативних джерел енергії, а саме: води, сонця, вітру і т.п.

Але, якщо активно вводити в експлуатацію РДЕ, а саме СЕС, то показники якості електричної енергії, за певних умов, можуть погіршуватися. Це можна побачити на графіках відхилення напруги на шинах підстанцій 10/0,4 кВ, та такого показника якості електричної енергії, як коефіцієнт спотворення синусоїди напруги.

## **Результати дослідження**

Високовольтне обладнання розподільних електричних мереж швидко старіє [1]. За таких умов актуальною постає задача дослідження впливу гармонійних складових напруги на технічний стан високовольтного обладнання локальних електричних систем з метою розробки заходів щодо раціонального використання залишкового ресурсу та безаварійної його експлуатації. Так, наприклад, мають місце пошкодження високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги та муфт кабельних ліній 10 кВ.

Дослідження свідчать про те, що при зростанні частоти гармонійних складових в напрузі фаз кабельних ліній [2-4], збільшується значення сили струму, що протікає через ізоляцію кабельних ліній.

При зменшенні частоти струму в обмотці трансформатора напруги зростатиме струм, тому поява в струмі на напрузі цього трансформатора гармонік низьких частот (менше 50 Гц), може призвести до зростання струму, який значно перевищує гранично допустимі межі, що (за певних умов) може призвести до пошкодження обмотки трансформатора. Тому актуальною є задача дослідження впливу гармонійних складових напруги на технічний стан високовольтного обладнання локальних електричних систем з метою розробки заходів щодо раціонального використання залишкового ресурсу та безаварійної його експлуатації. Можна привести приклад про стан обладнання Ямпільських РЕМ, та побачити, що залишковий ресурс ЛЕП між деякими підстанціями та вимикачів, які вмикають та вимикають

ють ці ЛЕП – не великий, що наведено у табл.1. Не має прямої залежності цих пошкоджень від струму та довжини лінії.

Таблиця 1. Стан обладнання Ямпільських РЕМ

№ п/п	Назва	Фідер	Марка проводу	Довжина, км	Залишковий ресурс ЛЕП, %	Залишковий ресурс вимикача, %
1	Ямпіль - Гнатків	Ф-15	АС-50	6,4	10	90
2	Дзигівка - Ямпіль	Ф-22	АС-35	20,33	80	100
3	Дзигівка - Ямпіль	Ф17	АС-50	8,72	50	90

### Висновки

На основі аналізу статистичних даних про стан електроенергетичного обладнання розподільних електричних мереж 10 кВ доведено, що має місце зменшення залишкового ресурсу цього обладнання. Аналіз шляхів вдосконалення систем діагностування свідчить про те, що перспективним є створення нормативно-правової бази, також необхідно: створювати інформаційний обмін та керування СЕС в ЛЕС; розробити методичне, апаратне та програмне забезпечення узгодженого увімкнення та вимкнення СЕС в ЛЕС, що відповідає впровадженню в експлуатацію засад концепції Smart Grid – створенню активних інтелектуальних ЛЕС.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк, П. Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П. Д. Лежнюк, Рубаненко О. Є., О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – №3. – С. 35-36.

2. Атаманський, А. В. Дослідження технічного стану обладнання ЛЕС з РДЕ [Електронний ресурс] / А. В. Атаманський, О. Є. Рубаненко // Тези доповідей XLIV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, м. Вінниця, 11—13 березня 2015 року: – Вінниця, 2015. – С. 1. Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/atamanskiy-rubanenko.pdf>

3. Timbus, A. Evaluation of current controllers for distributed power generation system / A. Timbus, M. Lisser, R. Teodorescu, P. Rodriguez, F. Blaabjerg // IEEE Transactions on power electronics. – 2009. – V.24, № 3. – P. 654-664.

4. Enslin, J. Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network / J. Enslin, P. Heskes // IEEE Transactions on power electronics. – 2004. – V.19, № 6. – P. 1586-1593.

*Андрій Валентинович Атаманський* — студент групи ЕСМ-15м, факультет електроенергетики та електро-механіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey\_atam@mail.ru;

Науковий керівник: *Олександр Євгенійович Рубаненко* — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Andrii V. Atamanskyi* - Faculty elektro electricity and mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey\_atam@mail.ru;

Supervisor: *Alexander E. Rubanenko* - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.

## ВПЛИВ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Робота присвячена аналізу впливу малих гідроелектростанцій, зокрема з асинхронним генераторами, на режими роботи розподільних електричних мереж та втрати електроенергії в них. Запропоновано шляхи зменшення адресних втрат електроенергії*

**Ключові слова:** розосереджені джерела енергії, малі гідроелектростанції, втрати, електричні мережі.

### *Abstract*

*The work is dedicated to analyze the impact of small hydropower plants, including asynchronous generators, the modes of distribution electrical grids and power losses in them. Ways to reduce targeted power losses prompted.*

**Keywords:** dispersed energy, small hydroelectric power, losses, electric network

### **Вступ**

Хоча темпи розвитку малої гідроенергетики в Україні на сьогодні стримуються цілим рядом факторів, в енергобалансі країни частка ГЕС, зокрема малих ГЕС (МГЕС), поступово зростає. Однією з головних проблем у відновленні та експлуатації малих ГЕС є зменшення державного стимулювання малої гідроенергетики, що у поєднанні з відсутністю серійного обладнання та великим терміном повернення інвестицій призводить до низької економічної ефективності розбудови малої гідроенергетики [1].

Стримуючим фактором на шляху підвищення ефективності використання гідропотенціалу малих річок України та розбудови малих ГЕС є також недостатнє дослідження технічних аспектів їх експлуатації у сучасних умовах і фактична відсутність, через це, нормативів та методик забезпечення оптимальних техніко-економічних показників МГЕС на стадії їх проектування. Так, на сьогодні практично не дослідженні питання використання малих ГЕС в електричних системах з метою підвищення надійності та якості електропостачання споживачів, впливу малих ГЕС на режими роботи розподільних електричних мереж (ЕМ), аналізу складової втрат електроенергії, що зумовлені роботою ГЕС.

Отже, метою роботи є дослідження питань, пов'язаних з експлуатацією малих ГЕС та шляхів підвищення ефективності їх експлуатації з урахуванням впливу на розподільні електричні мережі.

### **Результати дослідження**

Важливим напрямком обґрунтування ефективності МГЕС є дослідження їх впливу на втрати електроенергії у розподільних мережах. Очевидно, що на значення втрат впливають як параметри МГЕС, так і схема їх приєднання, а також значення та графік споживання суміжних навантажень. Виходячи з типових схем приєднання малих ГЕС до розподільних мереж, за певних потужностей генерування вони частково компенсують потоки потужності, зумовлені навантаженням споживачів, і надходження електроенергії з боку системи зменшується. Разом з цим зменшуються втрати потужності та електроенергії в розподільних мережах [1]. Збільшення втрат в розподільних мережах через роботу МГЕС буде лише у випадку коли середня потужність генерування станції буде перевищувати аналогічний показник суміжного навантаження удвічі. Останнє, враховуючи гідропотенціал малих річок України, зустрічається вкрай рідко і лише для гірських районів західного регіону.

Складність задачі оцінювання впливу малих ГЕС на втрати в ЕМ полягає в тому, що втрати електроенергії залежать від перетоків у лініях мережі нелінійно і скористатися методом накладання неможливо. На даний момент в інженерній практиці використовується низка методів, що дозволяють оцінювати зазначену складову втрат [2, 3]. Використання їх в розімкнених розподільних мережах, призводить до допустимих похибок на етапі планування режимів ЕМ, однак для замкнених мереж ситуа-

ція ускладнюється.

Для розв'язання зазначених проблем у [4] обґрунтовано можливість розв'язання задачі аналізу впливу окремих вузлів генерування на втрати в ЕМ, з використанням коефіцієнтів розподілу втрат. Останні залежать від параметрів заступної схеми, які за певних допущень можна вважати постійними, а також від значень напруги у вузлах ЕМ, які визначаються навантаженням і генеруванням у вузлах схеми. Таким чином нелінійність втрат електроенергії в ЕМ враховується.

Показано, що для випадку, коли зміна потужностей у вузлах ЕМ є незначною, тобто не викликає істотних (не більше 1%) відхилень напруги у вузлах, залежність втрат електроенергії в ЕМ від потужностей у її вузлах можна вважати лінійною. Отже, для дослідження впливу малих ГЕС на втрати в розподільних мережах з прийнятною точністю можна використовувати метод накладання [4].

Для підтвердження отриманих результатів виконано низку практичних розрахунків з використанням уточнених методів визначення втрат електроенергії в ЕМ на прикладі малих ГЕС, що були відношені в наслідок діяльності зовнішньоекономічної асоціації «НОВОСВІТ» (табл. 1).

**Таблиця 1 – Результати розрахунку втрат у електричних мережах 10 кВ з МГЕС**

Вид розрахунку	Надходж. з ЕС, кВт·год	Втрати в ЛЕП, кВт·год/%	Сумарні втрати, кВт·год/%
Без урахування Коржовської МГЕС	286615,4	$\frac{6773}{2,36}$	$\frac{12344}{4,31}$
З урахуванням Коржовської МГЕС	110882,3	$\frac{2369,1}{0,83}$	$\frac{7365,2}{2,57}$
Оцінка впливу МГЕС	$\frac{-175733,1}{-61,31\%}$	$\frac{-4403,9}{-65,02}$	$\frac{-4978,8}{-40,33}$

Таким чином, в результаті теоретичних досліджень та практичних розрахунків було підтверджено позитивний вплив малих ГЕС на втрати потужності у характерних режимах ЕМ, а також втрати електроенергії в них.

### Висновки

Результати дослідження впливу малих ГЕС з асинхронними генераторами на втрати електроенергії в електричних мережах енергосистеми дозволяють стверджувати, що у більшості випадків для МГЕС встановленою потужністю 100-400 кВт їх робота призводить до зменшення втрат, а також підвищення якості напруги.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Нікіторович О.В. Особливості роботи малих ГЕС з асинхронними генераторами в електричних мережах енергосистеми // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". ч.3.– 2008.– С.43–48.
2. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами: Монографія.– Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008.– 122 с.
3. Стогний Б., Павловский В. Определение транзитных потерь мощности в фрагментированных электрических сетях областных энергоснабжающих компаний // Энергетическая политика Украины. – 2004. – №5. – С. 26–31.
4. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурыкин А.Б. Определение и анализ потерь мощности от транзитных перетоков в электрических сетях энергосистем методом линеаризации // Электрические сети и системы. – 2006. – №1. – С. 28–32.

**Склярук Віталій Михайлович** — студент групи ІЕ-126, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sklyarukvm@mail.ru;

Науковий керівник: **Кулик Володимир Володимирович** — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Sklyaruk Vitaliy M.** — Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : sklyarukvm@mail.ru;

Supervisor: **Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Asist. professor, Asist. professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

## Анотація

У роботі розглядаються умови оптимальності функціонування в електричних системах відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ), керованість яких обмежена впливом нестабільних погодних умов. Показано вплив інформаційного забезпечення системи керування на ефективність використання ВДЕ.

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, оптимізація, керування, електричні мережі

## Abstract

The work conditions of optimum operation of renewable energy sources (RES) in electrical systems are considered. Their influence is limited manageability unstable weather conditions. The impact of information provision control system for efficient use of renewable energy was shown.

**Keywords:** renewable energy, optimization, control, power network

## Вступ

Для сучасних електричних мереж характерним є зростання навантаження, підвищення вимог щодо надійності електропостачання та якості електроенергії. Для забезпечення необхідної якості електроенергії та надійності електропостачання, а також зменшення забруднення електроенергетикою навколишнього середовища інтенсивно розвиваються відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ), зокрема сонячні (СЕС), вітрові (ВЕС) та малі гідроелектростанції (МГЕС). Розвиток ВДЕ як розосередженого генерування в електричних мережах є актуальним для всіх країн. В країнах Євросоюзу, наприклад, розглядається можливість доведення частки ВДЕ в 2020 р. до 20%.

З переходом від централізованого електропостачання до комбінованого виникають нові задачі, однією з яких є оптимальне керування комплексами ВДЕ різних типів в складі локальних електричних систем (ЛЕС), в які з розвитком ВДЕ поступово перетворюються розподільні електричні мережі [1–3]. Критерієм, переважно, є досягнення максимального техніко-економічного ефекту від впровадження ВДЕ і, за рахунок цього, нарощування потужності нових відновлюваних джерел енергії. Цей ефект може бути досягнутий шляхом узгодження в часі оптимізації процесів вироблення, транспортування і споживання електроенергії.

Отже, метою роботи є визначення умов оптимальності та розроблення структури оптимального керування комплексів керованих та умовно-керованих ВДЕ, а також формування вимог до інформаційного забезпечення децентралізованого керування ВДЕ

## Результати дослідження

Для оптимізації функціонування ВДЕ у нормальних режимах електричних систем особливо актуальними виявляються питання організації планування і оперативного керування режимами роботи таких станцій з метою отримання максимального прибутку від їх експлуатації. Отже, найбільш актуальною, враховуючи специфіку забезпечення їх рентабельності, є задача оптимізації добових режимів (на інтервалі часу  $[t_0; t_k]$ ) керованих ВДЕ  $P_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  з урахуванням режимів умовно-керованих джерел для забезпечення максимальних надходжень від реалізації їх електроенергії за умов багатоступеневого тарифу енергоринку  $c(t)$  та технічних обмежень з боку окремих ВДЕ [4]:

$$\int_{t_0}^{t_k} c(t) \sum_{i=1}^n P_i(t) dt \rightarrow \max. \quad (1)$$

При цьому має враховуватися прогнозна інформація щодо метеопараметрів, яка надається відповідною підсистемою *SMART Grid* системи й дозволяє достатньо адекватно для відтворення станів ВДЕ

типу *Variable* на період до чотирьох діб. Таким чином, умовно-керовані та не стабільні джерела енергії типу ВЕС та СЕС в цільових функціях та обмеженнях задач оптимального керування можна представити математичним очікуванням часових залежностей генерування  $M_{\text{ВЕС}}\{P(t)\}$ ,  $M_{\text{СЕС}}\{P(t)\}$ ,  $t \in [t_0; t_k]$ . Розв'язання подібної задачі розглянуто в [4]. Як розв'язок, використовуючи принцип максимуму інтегральних функцій Понтрягіна, отримано умови оптимальності функціонування комплексів різно-типних ВДЕ у вигляді аналітичних співвідношень.

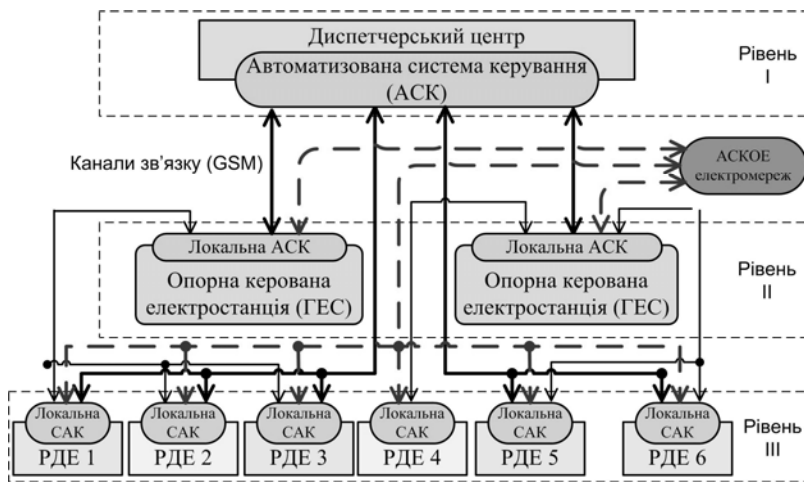


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи керування комплексом розподілених джерел енергії (РДЕ)

Для реалізації отриманих умов оптимальності необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого керування об'єктом у реальному часі. Однак, це не може бути достатньо якісно реалізоване через просторову розгалуженість об'єктів та відсутність надійних каналів зв'язку між ними та диспетчерським центром. Виходячи з цього автоматизована система керування (АСК) з необхідним переліком функцій (рис. 1) може бути побудована, як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу за рахунок застосування локальних адаптивних систем автоматичного керування (САК). Показано, що витрати на створення такої АСК компенсуються покращенням керованості ВДЕ, зменшенням кількості обслуговуючого персоналу, підвищенням надійності та ефективності роботи, а також забезпеченням необхідного графіка генерування.

## Висновки

Запропонована структура АСК виробленням електроенергії ВДЕ дозволяє за нестабільності впливу зовнішнього середовища забезпечувати надійне й економічно доцільне їх функціонування у різних експлуатаційних ситуаціях і узгоджувати умови оптимальності роботи розосередженого генерування, електричних мереж та енергосистеми.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення // Технічна електродинаміка. – 2010. – №6. – С. 44–50.
2. NIST Releases Report on Smart Grid Development // National Institute of Standards and Technology (USA) – Recognized Standards for Inclusion In the Smart Grid Interoperability Standards Framework, Release 1.0 (електронний ресурс). Режим доступу: [http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/\\_SmartGridInterimRoadmap/InterimRoadmapFinal](http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/_SmartGridInterimRoadmap/InterimRoadmapFinal)
3. European Smart Grids Technology Platform // European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006. – 44 p.
4. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Ковальчук О.А. Оптимізація режимів електричних мереж з малими ГЕС в умовах адресного електропостачання // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 3. – 2010. – С. 31–34.

**Бартецька Ірина Анатоліївна** — аспірантка факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bartetska\_ia@mail.ru

Науковий керівник: **Кулик Володимир Володимирович** — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Bartetska Iryna A.** — Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : bartetska\_ia@mail.ru

Supervisor: **Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Asist. professor, Asist. professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА РЕЖИМ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

## Анотація

Запропоновано метод пошуку оптимальних місць під'єднання та потужностей генерування відновлювальних джерел електроенергії. Показано їх вплив на нормальний режим роботи електричних мереж.

**Ключові слова:** відновлювальні джерела електроенергії, нормальний режим, оптимальні місця, потужність.

## Abstract

The method for finding optimal places to connect and capacity to generate renewable electricity. Showing their impact on the normal mode of electrical networks.

**Keywords:** renewable electricity, normal mode, optimal places, power.

## Вступ

На сьогоднішній день у багатьох розвинених країнах світу гостро стоїть питання дефіциту генерувальних потужностей [1]. Таку нестачу частково можна компенсувати за допомогою приєднання до електричних мереж (ЕМ) відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) – джерел електричної енергії, з'єднаних безпосередньо з розподільною електричною мережею або підключених до неї з боку споживачів [2].

Метою роботи є дослідження впливу ВДЕ на рівні напруг та втрати активної потужності в ЕМ, з урахуванням зміни навантаження у вузлах, місць та потужностей відновлювальних джерел генерування.

## Результати дослідження

Якщо навантаження вузла ЕМ більше або рівне вихідній потужності РДЕ, то втрати потужності зменшуються. Якщо сумарна вихідна потужність встановлених РДЕ в ЕМ більша ніж її сумарне навантаження, то в такому випадку втрати можуть збільшуватись [3]. Це спостерігається в тому випадку, коли відбувається транспортування електричної енергії у зворотному напрямку, тобто від кінця ЕМ до її головної ділянки [4]. Отож для визначення оптимальних місць підключення відновлювальних джерел електроенергії використовуємо метод запропонований в [5].

Вектор-рядок  $T_i$  складається з коефіцієнтів, які показують, яку частку в сумарних втратах  $i$ -тої вітки складає протікання по ній потужності до кожного вузла:

$$\dot{T}_i = (\dot{U}_i M_{\Sigma_i}) \cdot \hat{C}_i \dot{U}_D^{-1}, \quad (1)$$

де  $U_i$  – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і балансувальні (тут і далі індекс  $\neq$  означає, що матриця або вектор є транспонованими).  $M_{\Sigma_i}$  – вектор-стовпець матриці інцидентів, з'єднань віток у вузлах  $M_{\Sigma}$ ;  $C_i$  –  $i$ -й вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах  $J_{\Sigma}$  по вітках схеми;  $U_D$  – діагональна матриця напруг у вузлах без балансувальних вузлів;

Для того, щоб знайти значення активної потужності ВДЕ можна застосувати наступну формулу [6]:

$$P_{ВДЕ} = P_n + \frac{|U_i| \cdot |U_i|}{R_{i,i}} \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^n \left[ P_j \cos(\delta_i - \delta_j) + jQ_j \sin(\delta_i - \delta_j) \right] \cdot \frac{R_{i,j}}{|U_i| \cdot |U_j|}, \quad (2)$$



де  $|U_i|$  - модуль напруги у вузлі,  $n$  - кількість вузлів в схемі,  $R_{i,j}$  -  $i$  та  $j$  елемент матриці вузлових опорів схеми,  $\delta_i$  - фаза в  $i$ -тому вузлі,  $P_j, Q_j$  - активна та реактивна потужність навантаження в  $j$ -тому вузлі відповідно.

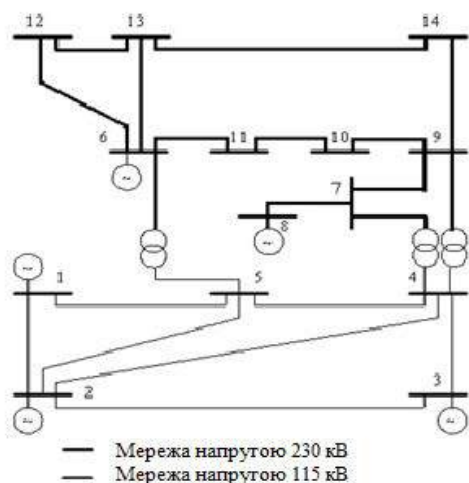


Рис. 1. Тестова схема IEEE на 14 вузлів

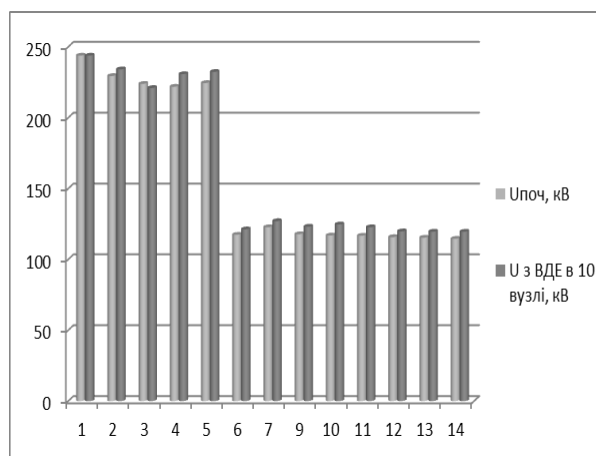


Рис. 2. Напруги у вузлах тестової схеми до та після приєднання ВДЕ

Серед усіх вузлів, обираємо вузол для під'єднання за вказаним алгоритмом, що знаходиться в мережі 115кВ та забезпечить найменший показник втрат активної потужності у вітках схеми, очевидно, що це буде вузол 10. Проаналізувавши дані розрахунку, можна оцінити вплив ВДЕ на рівні напруг у вузлах тестової схеми. Результати розрахунку представлені на рис. 2

### Висновки

Джерела нетрадиційної і відновлювальної енергії мають різноплановий вплив на роботу електричної мережі. Переваги в збільшенні частки розосередженого генерування можливі лише при обранні вірного методу пошуку оптимальних місць під'єднання та потужності генерування ВДЕ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 46-53.
2. Shukla T.N., Singh S.P., Naik K.B. Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses in radial distribution networks // International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2010. – Vol. 2. – №3 – P. 94–106.
3. Кириленко О.В., Павловський В.В., Яндульський О.С., Стелюк А.О. Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі // Технічна електродинаміка. - 2012. - № 4. - С. 52-57.
4. Кулик В.В., Малогулко Ю.В., Магас Т.Є. [Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid](#) // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №4. – С. 1–6. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/download/1404/999>.
5. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. [Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами](#): Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. –123 с
6. Лежнюк П.Д., Кравчук С.В. Оптимізація схем під'єднання нетрадиційних і відновлювальних джерел електроенергії в електричних мережах // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2014.– №2.– с. 168-173.

**Кравчук Сергій Васильович** — аспірант кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Kravchuk Sergiy V.** — Post-Graduate student of power plants and systems. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : w1\_1992@mail.ru

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — D Dr. Sc. , Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## УЗГОДЖЕНЕ КЕРУВАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі розглянуто актуальні питання впровадження та експлуатації розосереджених джерел енергії, таких як СЕС та ГЕС, в локальних електричних системах та їх узгоджене керування з метою зменшення втрат активної потужності*

**Ключові слова:** розосереджені джерела енергії, локальна електрична система, сонячні електричні станції, втрати активної потужності, узгоджене керування.

### *Abstract*

*The paper discusses topical issues of implementation and operation of distributed energy resources (such as PV and WPP) in the local electrical systems, as well as their influence on losses of active power in the LES.*

**Key words:** distributed energy sources, local electric system, photovoltaic power plants, the losses of active power, coordinated control.

### Вступ

В наш час широко впроваджуються розосереджені джерела енергії (РДЕ), які використовують альтернативні вичерпним органічним видам енергії – поновлювальні, такі як: вітер, сонце, вода і т. п. [1,2]. Уряди різних країн світу заохочують розбудову РДЕ (розосереджених джерел енергії) за допомогою субсидій та різних державних програм. В Україні також активно розбудовуються РДЕ. Так, станом на кінець 2013 року частка фотоелектричних установок в країні становить 0,1%. Вони генерують 748 МВт потужності. Аналіз іноземних джерел свідчить про те що інтенсивне впровадження фотоелектричних установок, як малої (до 2 МВт) так і середньої потужності, впливають на показники якості електричної енергії в мережі, а також режими роботи РДЕ впливають на втрати активної потужності в ЛЕС (локальній електричній системі), де вони експлуатуються [3].

### Вплив СЕС та ГЕС на втрати активної потужності в ЛЕС

Інтенсивна розбудова РДЕ призводить до виникнення таких ситуацій, коли до одного фідера можуть бути приєднанні декілька СЕС та ГЕС. Тому доцільно дослідити, при яких режимах роботи ЛЕС, можна забезпечити мінімальні втрати активної потужності при максимальній поточній генерації РДЕ, які використовують найбільш доступні в цей час первинні джерела енергії (сонячний день – сонце, під час дощай та повеней – воду і т.п.) [4].

Для цього розглянемо приклад локальної мікромережі, в якій експлуатується дві СЕС та одна ГЕС [5]. В таблиці 1 наведені параметри досліджуваних режимів. Параметри схеми наведені в таблиці 2, де ЦЖ – центр живлення, ВГ – генеруючий вузол, ВН – навантажувальний вузол.

Таблиця 1. Параметри досліджуваних режимів

№ п/п	$P_{СЕС1}$ , МВт	$P_{СЕС2}$ , МВт	$P_{ГЕС}$ , МВт	$P_{наванг}$ , МВт	$\Delta P$ , Вт
1	2	2	0	2,8	51400
2	2	2	0,7877	2,8	42700
3	2	2	1,225	3,2	42800
4	2	2	1,758	3,7	43900
5	2	2	2,299	4,2	44000

Моделювання режимів здійснювалось за допомогою комп'ютерної локальної мікромережі побудованої в середовищі PS CAD (Power System Simulation) [6,7]. Вузлові потужності

досліджуваної мережі наведені в таблиці 1, максимальна потужність генерування СЕС становить 2 МВт.

Таблиця 2. Характеристики та параметри вузлів

Номер вузла						
1	2	3	4	5	6	7
ЦЖ	ВН	ВГ	ВН	ВГ	ВН	ВГ, ВН

Як видно з таблиці 1, увімкнення ГЕС, під час роботи СЕС, призводить до зменшення втрат активної потужності в локальній мікромережі, що доводить необхідність узгодженого керування СЕС та ГЕС в ЛЕС.

### Висновки

Інтенсивна розбудова РДЕ в ЛЕС призводить до погіршення показників якості електричної енергії та до зростання втрат активної потужності, в мережах де експлуатуються.

Узгоджене керування РДЕ в ЛЕС дозволяє забезпечити нормовані показники якості електричної енергії, зменшити пошкоджуваність обладнання та втрати активної потужності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко А. В. Оптимизация режимов энергосистем в условиях рынка / А. В. Кириленко, В. Л. Прихно // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуючого ринку. – К.: 2009. – С. 3–10.
2. Enslin, J. Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network / J. Enslin, P. Heskes // IEEE Transactions on power electronics. – 2004. – V.19, № 6. – P. 1586-1593.
3. Лежнюк, П.Д. Вплив сонячних електричних станцій на напругу споживачів 0,4 кВ / П. Д. Лежнюк, Рубаненко О. Є., І. О. Гунько // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». Київ, НТУУ «КПІ». – 2015. – №3(41) – С.7-13.
4. Jung, J. Coordinated control of automated devices and photovoltaic generators for voltage rise mitigation in power distribution circuits / J. Jung, A. Onen, R. Arghandeh, R. Broadwater // Renewable Energy. – 2014. –66. – P. 532-540.
5. Патент № RU2539875 С2 Россия, МПК H02J 13/00 (2006.01). Система электроснабжения потребителей в сетях напряжения с использованием возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и управлением генерацией электроэнергии / Г.В. Гусаров, С.А. Лапшин, В.В. Харченко. - № 2013113208/07; Заявлено 27.09.2014; Опубликовано 27.09.2014 Бюл. № 27.
6. Pepermans, G Distributed generation: definition, benefits and issues / G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer // Energy Policy. 2005. – №33.-P. 787-798.
7. Лежнюк, П. Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС / П. Д. Лежнюк, Рубаненко О. Є., І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – №2. – С. 134-139.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем; Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Гунько Ірина Олександрівна** – аспірантка кафедри «Електричних станцій та систем» ВНТУ, [ira\\_rubanenko@bk.ru](mailto:ira_rubanenko@bk.ru).

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — Dr. Sc (Eng), Professor, Head of the Chair of Power Plants and Systems; Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia

**Hunko Irina A.** — Post-Graduate Student of the Chair of Power Plants and Systems, National Technical University, Vinnytsia; e-mail: [ira\\_rubanenko@bk.ru](mailto:ira_rubanenko@bk.ru);

# МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*У роботі досліджено відомі методи аналізу надійності, що використовуються для оцінювання роботоздатності розподільних електричних мереж. Запропоновано метод оцінювання функціональної надійності таких мереж з розосередженим генеруванням*

**Ключові слова:** розосереджене генерування, функціональна надійність, електричні мережі

## **Abstract**

*Known methods for evaluating the reliability analysis of electrical distribution networks was investigated. The method of evaluating the functional reliability of networks with dispersed generation was proposed*

**Keywords:** dispersed generation, functional reliability, power network

## **Вступ**

Розподільні електричні мережі (ЕМ) є складним об'єктом, який містить елементи з різними функціональними параметрами та характеристиками – трансформаторні підстанції, кабельні та повітряні лінії електропередач тощо. Функціональна надійність, тобто здатність ЕМ до надійного постачання споживачів електричною енергією належної якості залежить від надійності кожного елемента, узгодженості їх параметрів та структурних зв'язків між ними. Крім того значний вплив мають режими та графіки електроспоживання.

Неможливість, або значна затратність організації резервування схем видачі електроенергії РДЕ, невідповідність параметрів основного обладнання ЕМ новим умовам експлуатації, недосконалість систем релейного захисту та автоматики у поєднанні з застарілим обладнанням створює умови, коли для організації ефективної роботи РДЕ необхідно враховувати вплив станцій на функціональну надійність мереж. При цьому у моделях функціональної надійності ЕМ слід розглядати елементи, як розподільних електромереж, так і джерел енергії.

Відповідно до сучасних тенденцій розвитку електричних систем збільшується частка децентралізованого генерування енергії, а розподільні ЕМ у сукупності з розосередженими джерелами енергії (РДЕ) набувають ознак локальних електричних систем (ЛЕС) [1, 2]. Виходячи з цього, висуваються нові вимоги щодо методів оцінювання функціональної надійності, а також складу та періодичності оновлення параметрів, які мають вимірюватися для її адекватного дослідження [2].

Метою роботи є дослідження наявних методів аналізу надійності розподільних ЕМ та розроблення методу для оцінювання функціональної надійності розподільних мереж з РДЕ.

## **Результати дослідження**

Враховуючи, що розподільні електричні мережі практично не пристосовані до обслуговування РДЕ, технічні рішення з приєднання розосередженого генерування, розвитку електроспоживання, розбудови електромереж, а також керування ними потребують адаптації до реальних експлуатаційних умов. Програмні засоби для комплексного оцінювання ефективності проектних та експлуатаційних рішень мають враховувати сукупність факторів, які визначають функціональну надійність електричних мереж з РДЕ. Це в першу чергу структурна надійність ЕМ та економічність транспортування електроенергії до споживачів та від РДЕ, а також якість електроенергії на шинах споживачів та джерел енергії.

Для розв'язання даної задачі, використовуючи відомі критеріальні моделі [3] якості функціону-

вання ЕМ, запропоновано метод визначення вартісного показника функціональної надійності ЛЕС у формі прибутку від реалізації електроенергії, що отримана на межі балансової надійності ЕМ:

$$\Pi_k = b_{ня} \cdot W_k \cdot E_* + \left[ (b_{нд} - b_{ня}) W_k - b_{\Delta W} \cdot \Delta W_k \right] E'_* + (b_{тар} - b_{нд}) \cdot W_k, \quad (1)$$

де  $b_{тар}$ ,  $b_{\Delta W}$  – відповідно, ціна 1 кВт-год електроенергії, що відпущена з шин  $k$ -го РДЕ та питома вартість втрат електроенергії у електричних мережах ЛЕС;  $b_{нд}$ ,  $b_{ня}$  – відповідно, питома вартість недовідпущеної та неякісної електроенергії;  $W_k$  – відпуск електроенергії з шин  $k$ -го РДЕ протягом заданого інтервалу часу  $T$  за умови відсутності перерв у транспортуванні;  $\Delta W_k$  – розрахункові втрати електроенергії без врахування можливих перерв у роботі РДЕ;  $E_*$ ,  $E'_*$  – відповідно, показники якості функціонування ЕМ у критеріальній формі [3], отримані з урахуванням та без врахування фактора якості електричної енергії.

Прийнявши у виразі (1) вартість недовідпущеної електроенергії  $b_{нд}$  та втрат електроенергії  $b_{\Delta W}$  рівними тарифу на електроенергії РДЕ  $b_{тар}$  (тарифу на межі балансової належності, або «зеленому» тарифу), а також не враховуючи вартість неякісної електроенергії ( $b_{ня} = 0$ ), було отримано спрощений вираз для експрес-оцінювання вартісного показника функціональної надійності ЕМ з розосередженим генеруванням:

$$\Pi_k = b_{тар} (W_k - \Delta W_k) E'_* . \quad (2)$$

Важливою перевагою вартісних показників функціональної надійності (1), (2) є те, що вони чутливі як до режимів роботи РДЕ та ЕМ, так і до надійності схем транспортування генерованої електроенергії електричними мережами. Виходячи з цього, вони можуть бути застосовані не лише для оцінювання рішень з керування електроспоживанням та режимами РДЕ та, а й для оптимізації розвитку ЕМ та схем приєднання РДЕ. Таким чином, реалізується комплексний підхід до забезпечення функціональної надійності ЕМ енергопостачальних компаній з розосередженим генеруванням.

### Висновки

Запропоновано вартісний показник функціональної надійності електричних мереж з РДЕ, що дозволяє оцінювати ефективність керувальних впливів щодо зміни схеми ЕМ, а також параметрів генерування РДЕ з метою забезпечення максимальної ефективності їх сумісної роботи. Крім того вартісний показник може бути використаний для оцінювання ефективності проектних рішень з розвитку ЕМ та приєднання РДЕ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козирський В. В. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / В. В. Козирський, Ю. І. Тугай, В. М. Бодунов, О. В. Гай // Технічна електродинаміка. – 2011. – №5. – С. 63–67. – ISSN 0204–3599.
2. Лежнюк П. Д. Підвищення якості функціонування локальних електричних систем за рахунок відновлювальних джерел енергії / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, В. О. Комар // Відновлювана енергетика XXI століття: XII міжнарод. наук.-практ. конф.: матеріали конференції. – Крим, 2011. – С. 52–55.
3. Лежнюк П. Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 108 с. – ISBN 966-641-201-2.

**Кириченко Василь Федорович** — аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kyrychenko\_v@mail.ru

Науковий керівник: **Кулик Володимир Володимирович** — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Kyrychenko Vasyl F.** — Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : kyrychenko\_v@mail.ru

Supervisor: **Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Asist. professor, Asist. professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОВОЛЬТАЇЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*В роботі були розраховані параметри необхідної сонячної установки з акумуляторами для однокімнатної квартири із загальним енергоспоживанням 115 Вт/год. без витрат електроенергії на опалення для кліматичних умов Вінницької області.*

**Ключові слова:** фотовольтаїчна система, енергозабезпечення будинку, сонячна електростанція, альтернативні джерела.

### **Abstract**

*In this paper required parameters of solar installation with batteries for one-bedroom apartment and a total power of 115 watts / hour where calculated. Calculations were carried out without the cost of electricity for heating and for climate Vinnytsia region.*

**Keywords:** photovoltaic system, energy supply house, solar power, alternative sources.

### **Вступ**

Характерною прикметою сучасної енергетики України є рух в напрямку розвитку екологічно чистої енергетики на основі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Одним з найбільш перспективних напрямів розвитку світової енергетики в даний час є використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що знімає ряд проблем, пов'язаних з використанням традиційних палив.

Енергозаощадження за рахунок використання енергії відновлюваних джерел стало актуальною необхідністю часу, оскільки воно сприяє вирішенню не тільки проблеми енергопостачання, але й багатьох екологічних, економічних та соціальних проблем.

### **Результати дослідження**

З метою дослідження ефективності застосування фотовольтаїчних систем для потреб енергозабезпечення будинків в роботі пропонується розрахунок параметрів необхідної сонячної установки з акумуляторами для однокімнатної квартири без витрат електроенергії на опалення для кліматичних умов Вінницької області.

### **Розрахунок електроспоживання однокімнатної квартири**

Споживання електроенергії за годину стаціонарним комп'ютером або автоматизованим робочим місцем (АРМ) становить в середньому 200 Вт для машини на базі Intel Celeron D.

Споживання електроенергії пристроєм приєднання комп'ютера до мережі Internet (ADSL модем, точка доступу WI-FI, HUB, Router) становить в середньому 10 Вт.

Стаціонарний струменевий принтер споживає 1 Вт в режимі очікування та 13 Вт в режимі друку, що не перевищує 10% загального часу роботи.

Таким чином, АРМ споживається в середньому, за добу:

$$W_{АРМ} = (200 + 10) \cdot 24 + 1 \cdot (24 - 24 \cdot 0,1) + 13 \cdot 24 \cdot 0,1 = 5092,8 \text{ Вт}\cdot\text{год.}$$

Однокімнатна квартира (або будинок) в середньому містить 4 лампочки розжарювання (кімната, туалет, ванна та коридор). Потужність однієї лампочки розжарювання становить від 60 до 100 Вт·год. Сумарне споживання електроенергії на освітлення приміщення у темну частину дня (приблизно 12 год.) становить:

$$W_O = 100 \cdot 4 \cdot 12 = 4800 \text{ Вт}\cdot\text{год.}$$

Сумарне споживання електроенергії однокімнатної квартири (або будинку), за добу:

$$W_{\Sigma} = W_O + W_{АРМ} = 5092,8 + 4800 = 9892,8 \text{ Вт}\cdot\text{год.}$$

За використання енергозберігаючих технологій та більш економічного обладнання, як то система освітлення з використанням світлодіодів та ноутбука, споживана електроенергія на роботу АРМ

зменшиться враховуючи потужність типового ноутбука в стані простою 15 Вт·год. та 30 Вт·год. в режимі 100% завантаження процесора, за добу:

$$W_{APM}^E = (30 + 10) \cdot 24 + 1 \cdot (24 - 24 \cdot 0,1) + 13 \cdot 24 \cdot 0,1 = 1012,8 \text{ Вт·год.},$$

а електроенергія витрачена на освітлення складе, за добу :

$$W_O^E = 18 \cdot 4 \cdot 12 = 864 \text{ Вт·год.}$$

Сумарне споживання електроенергії однокімнатної квартири (або будинку) за використання енергозберігаючих технологій та сучасного обладнання зі зменшеним споживанням електроенергії, за добу складає :

$$W_{\Sigma}^E = W_O^E + W_{APM}^E = 1012,8 + 864 = 1876,8 \text{ Вт·год.}$$

### Розрахунок сонячної установки

Таким чином, економія електроенергії від впровадження енергоощадних заходів, за добу становить:

$$\Delta W_{\Sigma} = W_{\Sigma} - W_{\Sigma}^E = 9892,8 - 1876,8 = 8016 \text{ Вт·год.}$$

Враховуючи, що вартість спожитої електроенергії становить 54 коп/(кВт·год) економія електроенергії у грошовому еквіваленті, за добу складає:

$$E = 8016 \cdot 10^{-3} \cdot 0,54 = 4,32 \text{ грн.}$$

або за рік:

$$E_{\text{рік}} = 4,32 \cdot 365 \approx 1576 \text{ грн.}$$

Для живлення такої однокімнатної квартири або будинку необхідна автономна електростанція генерування якої у режимі максимальних навантажень (під час 100% завантаження АРМ у темну частину добу) становить не менше:

$$W_g = 30 + 13 + 18 \cdot 4 = 115 \text{ Вт.}$$

### Розрахунок акумуляторів

Для видачі розрахованої вище електроенергії у режимі максимальних навантажень, можна використати два кислотних акумулятора встановленої ємності 60 А·год та напругою 12 В. Сумарна потужність вказаних акумуляторів становить:

$$P_{\text{ак}} = 60 \cdot 12 \cdot 2 = 1440 \text{ Вт·год.}$$

Зважаючи на розраховану потужність акумулятор зможе тривало видавати на перетворювач 10 %, що становить 144 Вт, що перевищує визначену вище споживану потужність 115 Вт.

Вказана електроенергія буде споживатись у темну частину доби (ніч), що наближено становить 12 годин. Таким чином, за ніч з клем акумуляторів буде знято:

$$W_{\text{ніч}} = W_g \cdot 12 = 115 \cdot 12 = 1380 \text{ Вт·год.}$$

Враховуючи, що у світлу частину доби акумулятор необхідно заряджати, а також виробляти електроенергію для живлення будинку, сумарна потужність яку повинні забезпечувати сонячні модулі за 12 годин, становить:

$$W_{\text{день}} = W_{\text{ніч}} + W_g \cdot 12 / 0,8 = 1380 + 115 \cdot 12 / 0,8 = 3105 \text{ Вт·год.}$$

де 0,8 – коефіцієнт корисної дії акумулятора під час зарядки.

### Розрахунок сонячної батареї

Враховуючи, що середньорічна добова сумарна інтенсивність для Вінницького району (широта 49°14') становить 146 Вт/м<sup>2</sup>, в тому числі пряма 73 Вт/м<sup>2</sup>, а тривалість сонячного сьйва дорівнює 2093 годин в рік, максимальна електроенергія, яку можна отримати на території Вінницького району становить, за рік:

$$W_{\text{с}} = 147 \cdot 2093 = 305578 \text{ Вт·год/м}^2$$

або

$$W_{\text{с}} = 305,578 \text{ кВт·год/м}^2$$

Коефіцієнт корисної дії доступних сонячних модулів складає від 16 до 27% (макс 40%).

Таким чином, 1 сонячний модуль площею 1 м<sup>2</sup> дозволить отримати, фактично за рік:

$$W_{\text{ф}} = 305,578 \cdot 0,27 = 82,506 \text{ кВт·год/м}^2$$

або, середня потужність, за годину сонячного сьйва:

$$P_{\text{ф}}^{\text{доб}} = 82,506 \cdot 10^3 / 2093 = 39,41 \text{ Вт/м}^2$$

Отже, для зарядки обраних акумуляторів необхідна сонячна панель загальною площею:



$$S=W_{\text{день}}/P_{\text{ф}}^{\text{доб}} \cdot 12=3105/(39,41 \cdot 12)=6,56 \approx 7 \text{ м}^2$$

Розрахунок терміну окупності сонячної установки

При використанні сонячних модулів потужністю 75Вт та вартістю 3300 грн. [1], необхідна кількість модулів становить:

$$K=3105/(75 \cdot 12)=3,45 \approx 4 \text{ шт.}$$

Вартість перетворювача з постійного струму на змінний (не синусоїдний, що для комп'ютера та світлодіодів припустимо) потужністю 200Вт становить приблизно 350 грн. [2].

Вартість кислотного акумулятора ємністю 60 А·год. становить 1500 грн. [3].

Отже, вартість розрахованої автономної сонячної електростанції становить:

$$B=1500 \cdot 2+350+3300 \cdot 4=16550 \text{ грн.}$$

Таким чином, термін окупності розрахованої автономної сонячної електростанції з використанням вище вказаних енергозберігаючих технологій становить:

$$T_o=B/E_{\text{рік}}=11350/1576=10,5 \text{ років,}$$

без врахування вартості реконструкції системи освітлення та АРМ.

### Висновки

Враховуючи, що строк служби автономної сонячної електростанції становить 10-15 років, а акумуляторів, що входять до її складу до 5 років, перехід на автономну систему живлення в масштабі однієї квартири або будинку є не виправданим.

Однак при збільшенні потужності автономної електростанції вартість 1 кВт встановленої потужності суттєво зменшується, крім того застосування нікель-кадмієвих акумуляторів дозволить підвищити ємність акумуляторів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сонячна батарея Kvazar KV 75Вт/12В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua> <http://1010-sport.prom.ua/p216330853-sonyachna-batareya-kvazar.html>
2. Преобразователь напряжения 200W (инвертор 12/220В 200Вт) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://e-miks.zakupka.com/p/2589629-preobrazovatel-napryazheniya-200w-invertor-12-220v-200vt>
3. Акумулятор автомобильный Galaxy Silver 6СТ-60 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://accumbaza.com.ua/shop/?pid=643>

**Владислав Віталійович Гордієвський** — студент групи 1Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mr.burykin@mail.ru](mailto:mr.burykin@mail.ru);

Науковий керівник: **Олександр Борисович Бурикін** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Vladyslav V. Gordievskyy** – Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mr.burykin@mail.ru](mailto:mr.burykin@mail.ru);

Supervisor: **Oleksandr B. Burykin** - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.

## УЗГОДЖЕНЕ КЕРУВАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі розглянуто актуальні питання впровадження та експлуатації розосереджених джерел енергії, таких як СЕС та ГЕС, в локальних електричних системах та їх узгоджене керування з метою зменшення втрат активної потужності*

**Ключові слова:** розосереджені джерела енергії, локальна електрична система, сонячні електричні станції, втрати активної потужності, узгоджене керування.

### *Abstract*

*The paper discusses topical issues of implementation and operation of distributed energy resources (such as PV and WPP) in the local electrical systems, as well as their influence on losses of active power in the LES.*

**Key words:** distributed energy sources, local electric system, photovoltaic power plants, the losses of active power, coordinated control.

### Вступ

В наш час широко впроваджуються розосереджені джерела енергії (РДЕ), які використовують альтернативні вичерпним органічним видам енергії – поновлювальні, такі як: вітер, сонце, вода і т. п. [1,2]. Уряди різних країн світу заохочують розбудову РДЕ (розосереджених джерел енергії) за допомогою субсидій та різних державних програм. В Україні також активно розбудовуються РДЕ. Так, станом на кінець 2013 року частка фотоелектричних установок в країні становить 0,1%. Вони генерують 748 МВт потужності. Аналіз іноземних джерел свідчить про те що інтенсивне впровадження фотоелектричних установок, як малої (до 2 МВт) так і середньої потужності, впливають на показники якості електричної енергії в мережі, а також режими роботи РДЕ впливають на втрати активної потужності в ЛЕС (локальній електричній системі), де вони експлуатуються [3].

### Вплив СЕС та ГЕС на втрати активної потужності в ЛЕС

Інтенсивна розбудова РДЕ призводить до виникнення таких ситуацій, коли до одного фідера можуть бути приєднані декілька СЕС та ГЕС. Тому доцільно дослідити, при яких режимах роботи ЛЕС, можна забезпечити мінімальні втрати активної потужності при максимальній поточній генерації РДЕ, які використовують найбільш доступні в цей час первинні джерела енергії (сонячний день – сонце, під час дощай та повеней – воду і т.п.) [4].

Для цього розглянемо приклад локальної мікромережі, в якій експлуатується дві СЕС та одна ГЕС [5]. В таблиці 1 наведені параметри досліджуваних режимів. Параметри схеми наведені в таблиці 2, де ЦЖ – центр живлення, ВГ – генеруючий вузол, ВН – навантажувальний вузол.

Таблиця 1. Параметри досліджуваних режимів

№ п/п	$P_{СЕС1}$ , МВт	$P_{СЕС2}$ , МВт	$P_{ГЕС}$ , МВт	$P_{наван}$ , МВт	$\Delta P$ , Вт
1	2	2	0	2,8	51400
2	2	2	0,7877	2,8	42700
3	2	2	1,225	3,2	42800
4	2	2	1,758	3,7	43900
5	2	2	2,299	4,2	44000

Моделювання режимів здійснювалось за допомогою комп'ютерної локальної мікромережі побудованої в середовищі PS CAD (Power System Simulation) [6,7]. Вузлові потужності

досліджуваної мережі наведені в таблиці 1, максимальна потужність генерування СЕС становить 2 МВт.

Таблиця 2. Характеристики та параметри вузлів

Номер вузла						
1	2	3	4	5	6	7
ЦЖ	ВН	ВГ	ВН	ВГ	ВН	ВГ, ВН

Як видно з таблиці 1, увімкнення ГЕС, під час роботи СЕС, призводить до зменшення втрат активної потужності в локальній мікромережі, що доводить необхідність узгодженого керування СЕС та ГЕС в ЛЕС.

### Висновки

Інтенсивна розбудова РДЕ в ЛЕС призводить до погіршення показників якості електричної енергії та до зростання втрат активної потужності, в мережах де експлуатуються.

Узгоджене керування РДЕ в ЛЕС дозволяє забезпечити нормовані показники якості електричної енергії, зменшити пошкоджуваність обладнання та втрати активної потужності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко А. В. Оптимизация режимов энергосистем в условиях рынка / А. В. Кириленко, В. Л. Прихно // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуючого ринку. – К.: 2009. – С. 3–10.
2. Enslin, J. Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network / J. Enslin, P. Heskes // IEEE Transactions on power electronics. – 2004. – V.19, № 6. – P. 1586-1593.
3. Лежнюк, П.Д. Вплив сонячних електричних станцій на напругу споживачів 0,4 кВ / П. Д. Лежнюк, Рубаненко О. Є., І. О. Гунько // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». Київ, НТУУ «КПІ». – 2015. – №3(41) – С.7-13.
4. Jung, J. Coordinated control of automated devices and photovoltaic generators for voltage rise mitigation in power distribution circuits / J. Jung, A. Onen, R. Arghandeh, R. Broadwater // Renewable Energy. – 2014. –66. – P. 532-540.
5. Патент № RU2539875 С2 Россия, МПК H02J 13/00 (2006.01). Система электроснабжения потребителей в сетях напряжения с использованием возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и управлением генерацией электроэнергии / Г.В. Гусаров, С.А. Лапшин, В.В. Харченко. - № 2013113208/07; Заявлено 27.09.2014; Опубликовано 27.09.2014 Бюл. № 27.
6. Pepermans, G Distributed generation: definition, benefits and issues / G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer // Energy Policy. 2005. – №33.-P. 787-798.
7. Лежнюк, П. Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС / П. Д. Лежнюк, Рубаненко О. Є., І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – №2. – С. 134-139.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем; Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Гуцько Ірина Олександрівна** – аспірантка кафедри «Електричних станцій та систем» ВНТУ, [ira\\_rubanenko@bk.ru](mailto:ira_rubanenko@bk.ru).

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — Dr. Sc (Eng), Professor, Head of the Chair of Power Plants and Systems; Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia

**Hunko Irina A.** — Post-Graduate Student of the Chair of Power Plants and Systems, National Technical University, Vinnytsia; e-mail: [ira\\_rubanenko@bk.ru](mailto:ira_rubanenko@bk.ru);

# ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З АСИНХРОНІЗОВАНИМИ ТУРБОГЕНЕРАТОРАМИ, ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*В роботі досліджено досвід вітчизняних та закордонних експертів з питань виготовлення та експлуатації асинхронізованих турбогенераторів. Виконано аналіз впливу асинхронізованих турбогенераторів на режим роботи синхронних турбогенераторів теплових електричних станцій в умовах їх модернізації.*

**Ключові слова:** асинхронізований турбогенератор, тепла електрична станція, динамічна стійкість.

## **Abstract**

*The work examines the experience of domestic and foreign experts on the fabrication and operation of asynchronous turbogenerators. The analysis the influence of asynchronous turbogenerators on the operation mode of synchronous turbogenerators on thermal power stations in the conditions of their modernization.*

**Keywords:** asynchronous generator, thermal power plant, dynamic stability.

## **Вступ**

Поганий технічний стан електромереж, не оптимальність режимів роботи та недостатня якість електричної енергії спричиняють збільшення втрат електричної енергії [1]. Пріоритетними напрямками та заходами з підвищення енергоефективності та енергозбереження є зменшення втрат електричної енергії, підвищення надійності обладнання і стійкості електроенергетичної системи та забезпечення оптимальних режимів її роботи. Під час розроблення ієрархічних оперативно-керуючих комплексів, першочерговою задачею для розробників є оптимізація режимів, як за активною потужністю, так і за реактивною, для мінімізації втрат активної потужності в мережі та забезпечення належного рівня динамічної стійкості ЕЕС в цілому.

Одним із основних і найбільш ефективних заходів щодо зниження втрат активної потужності в електричних системах, є впровадження в них компенсуючих пристроїв реактивної потужності [2]. В мережах нижчих класів напруг ці пристрої забезпечують додаткову генерацію реактивної потужності для підвищення рівня напруги, а в системоутворюючих мережах, компенсуючі пристрої встановлюються з метою споживання зарядних реактивних потужностей ліній електропередавання і недопущення перенапруг. Існує багато засобів компенсації надлишкової реактивної потужності. Кожний з цих компенсуючих пристроїв має свої переваги і свої недоліки. Для компенсації зарядної потужності високовольтних ліній і перенапруг в них, як правило, використовуються шунтові реактори (ШР). Вони дозволяють тільки дискретне регулювання напруги і є недостатньо надійними через свою комутаційну апаратуру. Вони погіршують електромагнітну сумісність в ЕЕС під час різних видів комутацій та в аварійних режимах. Під час експлуатації можуть виникати несиметричні режими ліній, через відмову шунтових реакторів окремих фаз чи під час ремонту їх груп. До високоефективного, добре керованого електротехнічного обладнання, яке позитивно впливає на регулювання напруги, можна віднести асинхронізовані турбогенератори (АСТГ). Це підтверджує порівняльний технічний аналіз [3], який показує, що під час вирішення задачі щодо компенсації надлишків реактивної потужності для забезпечення заданих напруг на електростанціях найбільш ефективним є застосування АСТГ.

Метою роботи є дослідження впливу АСТГ на роботу синхронних турбогенераторів ТЕС.

## **Результати дослідження**

Відомо, що надійність роботи синхронних турбогенераторів (СТГ), що експлуатуються в умовах частих пусків, циклічності зміни навантаження, споживання реактивної потужності знижується через пошкодження торцевих пакетів осердя статора [4]. І хоча в нових типах СТГ проблеми з крайніми пакетами осердя статора розв'язані, для них залишається актуальним обмеження величини споживання реактивної потужності за умовами динамічної стійкості [3].

Як показують численні наукові та експериментальні дослідження [4], генератори нового покоління до яких відносяться АСТГ, завдяки особливій конструкції ротора та системи збудження, мають значну перевагу над традиційними синхронними машинами та можуть працювати в режимах споживання реактивної потужності в значних величинах без зниження їх динамічної стійкості. Завдяки цьому на ТЕС, де вони встановлені, синхронні генератори можуть працювати у допустимих для себе режимах, так як споживають реактивну потужність з мережі саме асинхронізовані генератори. Це в свою чергу впливає на підвищення надійності синхронних генераторів ТЕС.

Асинхронізований принцип управління полягає в регулюванні за встановленим законом двох складових напруг збудження, що дозволяє незалежно регулювати електромагнітний момент і напругу. Під час цього, можна керувати не тільки величиною, але й фазою форсування збудження незалежно від кута повороту ротора генератора. Завдяки таким можливостям під час вмикання АСТГ на одні шини з СТГ через неоднакову зміну кутів внутрішніх ЕРС цих машин у випадку аварійних збурень в електричних мережах, між ними виникає зрівнювальний перетік потужності, який здійснює на СТГ гальмівну дію в першому періоді коливання роторів генераторів, підвищуючи тим самим стійкість СТГ [5].

Як показали проведені теоретичні і експериментальні дослідження, значно підвищує надійність АСТГ здатність їх роботи в асинхронному режимі [6, 7]. Асинхронні режими роботи АСТГ можуть виникнути в результаті перевищення границь динамічної стійкості, відмови системи збудження чи обмоток ротора. В першому випадку АСТГ переходить в керований асинхронний режим, за якого обмотки залишаються підключеними до збудника. Перехід в керований асинхронний режим роботи проходить плавно. В керованому асинхронному режимі АСТГ має більшу від СТГ здатність до перевантаження за рахунок додаткової дії асинхронної складової електромагнітного моменту, що дозволяє виконувати ресинхронізацію без зниження моменту турбіни. Під час цього, після невеликого зменшення ковзання (до 1%), можна здійснити плавний перехід до нормального режиму роботи.

Під час відмови системи збудження АСТГ можна перевести в некерований асинхронний режим роботи з замкненими накоротко обмотками збудження. Працюючи з споживанням реактивної потужності в цьому режимі АСТГ може довготривало нести активне навантаження, яке становить до 80% номінального. Здатність до перевантаження АСТГ в некерованому асинхронному режимі достатня для забезпечення необхідного запасу стійкості. Крім цього, завдяки повній симетрії ротора АСТГ, в асинхронному режимі роботи не відбувається жодних коливань напруги і потужності. Керований асинхронний режим роботи можна використовувати в нічні години під час значних підвищень напруги в мережі. В цьому режимі підвищується ККД генератора в зв'язку зі зменшенням втрат потужності на величину втрат в системі збудження.

У випадку пошкодження обмотки збудження чи комутаційної апаратури можливий аварійний режим роботи асинхронізованого турбогенератора з розімкнутою обмоткою збудження за рахунок вихрових струмів масива ротора. Однак в цьому режимі роботи тривале допустиме навантаження не перевищує 50% номінального, а максимальний момент ледве досягає номінального значення. Тому, такий асинхронний режим розглядається, як крайній аварійний невідкладний випадок.

В АСТГ перехідні процеси затухають значно швидше ніж в СТГ, так як регулювання реактивної потужності в них здійснюються електромагнітним шляхом, а в СТГ цей процес має електромеханічний характер. Тому процес регулювання напруги в АСТГ відбуваються в кілька раз швидше ніж в СТГ [6]. Під час цього є можливість підтримання більш високого рівня напруги на шинах електростанції підчас перехідних процесів. Відсоток збільшення рівня напруги залежить від співвідношення СТГ і АСТГ на електростанції [7].

В динамічних режимах, пов'язаних з аваріями в енергосистемі, переваги АСТГ-200 перед ТГВ-200М полягають в можливості управління кутом навантаження незалежно від кута повороту ротора. Здійснюючи по можливості дискретний поворот результуючого вектора МРС (струму збудження) назад (вперед), можна забезпечити по можливості максимальне значення електромагнітного прискорюючого (гальмівного) моменту [6].

Границя динамічної стійкості АСТГ, за фіксованого значення реактивної потужності, майже не залежить від режимів за реактивною потужністю [8]. В синхронних генераторах під час зниження реактивного навантаження, а особливо за переходу в режими його споживання, вимагається значне підвищення кратності форсування системи збудження, зниження допустимої тривалості короткого замикання чи зниження активного навантаження генератора. Така перевага має місце завдяки реалізованій в АСТГ можливості керування фазою форсування напруги збудження незалежно від поворо-

ту його ротора. Практична відсутність в асинхронізованих турбогенераторах залежності границь динамічної стійкості від їх реактивного навантаження забезпечує ріст динамічної стійкості електростанції в цілому [7].

АСТГ дозволяє збільшити пропускну здатність електричних зв'язків між електричною станцією та електроенергетичною системою за рахунок великого діапазону регулювання потужності, що викликає доцільність заміни шунтових реакторів на АСТГ. Під час цього зменшується і кількість комутацій працюючих в електроенергетичній системі ШР і батарей статичних конденсаторів [7].

Досвід експлуатації АСТГ продемонстрував розширені можливості цих турбогенераторів під час роботи в маневрених режимах за реактивною потужністю і в тривалих асинхронних режимах [7].

### Висновки

1. Досвід роботи асинхронізованих турбогенераторів на ТЕС показує, що вони дозволяють обмежити роботу СТГ з високим значенням коефіцієнту потужності та в режимах споживання реактивної потужності з мережі, а також підвищити рівень динамічної стійкості ТЕС.

2. Проведені дослідження та розрахунки показують, що обмеження роботи СТГ в режимах недозбудження за допомогою АСТГ дозволило знизити в 9,2 рази пошкоджуваність крайніх пакетів осердя статора.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бородин Д.В. Проблемы качества электроэнергии в сетях 330-750 кВ ГП НЭЖ “Укрэнерго” / Д.В. Бородин // Світлотехніка та електроенергетика . – 2008. - № 2 – С. 79-81.

2. Зорин В.В. Экономически обоснованные значения перетоков и степени компенсации реактивной мощности в сети потребителя / В.В. Зорин // Электрика. – Москва, 2005. - № 12. – С. 13-16.

3. Лабунец И.А. Асинхронизированные турбогенераторы как средство повышения устойчивости и регулирования напряжения в электрических сетях / И.А. Лабунец, П.В. Сокур, Н.Д. Пинчук и др. // Электрические станции. – 2004. - № 8. – С. 26 - 32.

4. Блоцкий Н.Н. Испытание асинхронизированного синхронного двигателя / Н.Н. Блоцкий // Электричество. – 1971. - № 7. – С. 17-19.

5. Беляев А.Н. О применении устройств управляемой поперечной компенсации для транзитных электропередач класса 500 кВ/ А.Н. Беляев, Г.А. Евдокунин, С.В. Смолвик, В.С.Чудный // Электричество. - № 2. – 2009. – С. 2-13.

6. Здановський В.Г., Крисюк Л.М. Випробування та досвід промислової експлуатації турбогенераторів АСТГ-200 / В.Г. Здановський, Л.М. Крисюк // Энергетика и электрофикация. – 1997. - № 3. – С. 1-4.

7. Міняйло О.С. Досвід експлуатації асинхронізованих турбогенераторів АСТГ-200 на Бурштинській ТЕС / О.С. Міняйло, М.С. Романів, В.В. Кривий, Л.М. Крисюк // Энергетика и Электрификация. - 2002. - № 4 – С. 8-14.

8. Міняйло О.С. Диференційні рівняння стану асинхронізованого генератора у режимі двофазного замикання / О.С. Міняйло, К.Б. Покровський, О.І. Маврін, Н.Г. Мальцева // Вісник Нац. університету “Львівська політехніка”. – 2007. - № 596. – С. 107-110..

**Сергій Віталійович Репка** – студент групи ІЕ-126, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: repka94@mail.ua;

Науковий керівник: **Вячеслав Олександрович Комар** – к. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Sergey V. Repka** – Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: repka94@mail.ua;

Supervisor: **Vyacheslav O. Komar** – Cand. Sc. (Eng.), Ass. Professor, Ass. Professor of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# АНАЛІЗ ГРОЗОЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Вінницький національний технічний університет;

## **Анотація**

*В роботі проаналізовано роботу елементів грозозахисту електричної мережі та надійність захисту електричних станцій і підстанцій від грозових перенапруг.*

**Ключові слова:** грозозахист, надійність, електрична мережа, захист.

## **Abstract**

*The paper analyzes the work of elements of lightning electricity network reliability and protection of power plants and substations from storm surge.*

**Keywords:** lightning, reliability, electrical network, protection.

## **Вступ**

Останнім часом по всій планеті спостерігається відчутна зміна погодних умов, зокрема почастишали грози. Тенденція до їх більш частой появи та суттєвого посилення з кожним роком розвивається. Вірогідно, що це пов'язано з загальнопланетарними кліматичними, а можливо і фізичними змінами.

## **Результати дослідження**

Гроза несе значну небезпеку. За даними Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки МНС України щорічно по Україні відбувається порядку 1600 пожеж від грозових розрядів блискавки.

Блискавка являє собою природне явище, яке приносить величезний збиток народному господарству. Цей збиток пов'язаний і з безпосереднім ураженням людей і тварин, і з пожежами в житлових і виробничих приміщеннях, з вибухами небезпечних об'єктів, з виникненням лісових пожеж.

Удари блискавки в лінії електропередачі або поблизу них призводять до появи імпульсних перенапруг, небезпечних як для ізоляції самих ліній, так і для електрообладнання підстанцій. Значний матеріальний збиток пов'язаний і з непрямим впливом грозових розрядів. Він обумовлений порушеннями технологічних процесів внаслідок виходу з ладу систем технологічного управління, мікропроцесорних та комп'ютерних пристроїв управління, регулювання, вимірювання, сигналізації тощо.

З часів Франкліна, Ломоносова й до цього дня блискавка є предметом експериментального вивчення. Накопичений значний експериментальний матеріал і створені певні наробітки процесу розвитку блискавки. На їх основі розроблені основні принципи грозозахисту.

Основною причиною виходу з ладу ізоляції об'єктів електроенергетики, перерви в електропостачанні і витрат на його відновлення до теперішнього часу є ураження блискавкою об'єктів електроенергетики.

Захисту об'єктів електроенергетики від прямих ударів блискавки і від перенапруг завжди приділялася велика увага. З метою такого захисту використовуються блискавковідводи, обмежувачі перенапруг, розрядники, відповідні системи заземлення. Блискавковідводами обладнуються також інші важливі об'єкти, такі як житлові і виробничі будівлі, склади і т.д. Мета цих заходів - запобігти безпосередні удари блискавки в захищені об'єкти і організувати протікання струмів блискавки по безпечному шляху.

Грозозахист - це обов'язкова частина будь-якої будівлі. Грозозахист потрібний для захисту від прямого удару блискавки в будинок, захисту від вторинних її проявів, таких як перенапруги.

Надійність захисту електричних станцій і підстанцій від грозових перенапруг повинна бути значно вища за надійність грозозахисту ліній електропередачі. Це визначається значно більшим збитком від грозових перенапруг на підстанціях, ніж на лініях. Внутрішня ізоляція силових трансформаторів і іншого устаткування підстанції має менші рівні ізоляції в порівнянні з ізоляцією лінії і не є самовідновлюваною після згасання дуги грозового перекриття.

### Висновки

Захист устаткування підстанцій від прямих ударів блискавки забезпечується стрижневими блискавковідводами. Крім того, необхідний захист від хвиль, що виникають на лініях та підходять до підстанції, при ударах блискавки в троси або опори цих ліній. Для захисту ліній електропередач та устаткування підстанцій від перенапруг використовують троси і заземлення опор на лініях, рокові розрядники, трубчасті розрядники на контактній мережі, конденсатори для зниження грозових перенапруг.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стійкість до дії грозових розрядів. Методи захисту: ДСТУ 3568-98. – Введений 01.07.1999. – Київ: Держстандарт України, 1998. – 5 с.
2. Ліщак І. В. Оцінка надійності схем грозозахисту повітряних ліній електропередач / І. В. Ліщак, Т. В. Бінкевич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – № 785 : Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 39-45.

**Максим Ігорович Свіридов** — студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — канд., техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Maxim I. Sviridov** — student Department of Electric Power Stations and Systems , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia .

Supervisor: **Netrebskyi Volodymyr V.** - Cand ., Sc. Sciences, Associate Professor of electrical plants and systems , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



# КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

## *Анотація*

*Розглянуто конструктивні особливості та режими роботи силових трансформаторів. Проаналізовано необхідність у розширенні випуску трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням.*

**Ключові слова:** трансформатор, регулювання під навантаженням, обмотка.

## *Abstract*

*Considered design features and modes of power transformers. Analyzes the need to expand production of transformers with voltage regulation under load.*

**Keywords:** transformer, adjustment under load, winding.

## Вступ

Виробництво електричної енергії на крупних електростанціях з генераторами великої одиничної потужності дозволяє одержувати необхідну кількість електричної енергії при відносно низькій вартості. Використання дешевої електричної енергії споживачами, що знаходяться на значній відстані, іноді на відстані сотень і тисяч кілометрів, і розосереджені по великій території країни, вимагає створення складних розгалужених електричних мереж.

## Результати дослідження

Силовий трансформатор є одним з найважливіших елементів електричної мережі. Передача електричної енергії на великій відстані від місця її виробництва до місця споживання вимагає в сучасних мережах не менш чим шестиразової трансформації в підвищуючих і понижуючих трансформаторах.

Зменшення втрат холостого ходу (ХХ) досягається головним чином шляхом усе більш широкого застосування холоднокатаної рулонної електротехнічної сталі з поліпшеними магнітними властивостями — низькими й особливо низькими питомими втратами і низькою питомою потужністю, що намагнічує. Застосування цієї сталі, що володіє анізотропією магнітних властивостей і дуже чутливою до механічних впливів при обробці (повздовжньому і поперечному різанню рулону на пластини), до поштовхів і ударів при транспортуванні пластин, до ударів, згинів і стискові пластин при зборці магнітної системи і осердя, сполучиться з істотною зміною конструкції магнітних систем, а також з новою прогресивною технологією заготівлі й обробки пластин і зборки магнітної системи і осердя.

У нових конструкціях застосовуються косі стики пластин в кутах магнітної системи, стяжка стрижнів і ярем кільцевими бандажами замість наскрізних шпильок у старих конструкціях і багатоступінчастій формі перетину яра в плоских магнітних системах. Усе більш широке застосування знаходять просторові магнітні системи, навіть зі стрічки холоднокатаної сталі.

Зменшення втрат короткого замикання (КЗ) досягається головним чином зниженням щільності струму за рахунок збільшення маси металу в обмотках. Крім того, це досягається заміною мідного проводу алюмінієвим у силових трансформаторах загального призначення потужністю до 16000 кВА.

В даний час для силових трансформаторів установлені дві категорії якості. До вищої категорії відносяться трансформатори, техніко-економічні показники яких знаходяться на рівні кращих світових досягнень або перевершують них; до першої категорії — трансформатори, техніко-економічні показники яких знаходяться на рівні сучасних вимог і відповідають нормативно-технічним документам. Як основні критерії для віднесення трансформаторів до тієї або іншої категорії служать: значення втрат ХХ і КЗ, струму ХХ, маса трансформатора, віднесена до одиниці потужності, і інші показники.

Однією з важливих задач є підвищення ефективності використання матеріальних ресурсів у трансформаторобудуванні — матеріалів, палива й енергії. Ця задача вирішується в складному комплексі заходів, спрямованих на зменшення розходу активних та конструктивних матеріалів та на зменшення розмірів трансформатора.

### Висновки

Для забезпечення економічності роботи електричних мереж і належної якості енергії, що відпускається споживачами тобто для підтримки сталості напруги, виникає необхідність у розширенні випуску трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням (РПН).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко В.П. Трансформатори: [навчальний посібник] / В. П. Шевченко, Л. Я. Бєлікова. - Одеса: АО Бахва, 2001. – 128 с.
2. СОУ 40.1-21677681-07:2009 Трансформатори силові. Типова інструкція з експлуатац – Київ, 2009.

**Корчмарчук Василь Олександрович** — студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — канд., техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Korchmarchuk Vasily A.** — student Department of Electric Power Stations and Systems , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia .

Supervisor: **Netrebskyi Volodymyr V.** - Cand ., Sc. Sciences, Associate Professor of electrical plants and systems , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Розглянуто причини переходу на цифрові принципи обробки інформації в РЗА. Розглянуто оптимальну структуру побудови апаратної частини сучасних цифрових пристроїв.*

**Ключові слова:** мікропроцесорний релейний захист, коротке замикання, потужність.

### **Abstract**

*Causes transition to digital principles of information processing in the RPA. We consider the optimal structure of building hardware modern digital devices.*

**Keywords:** microprocessor relay protection, short circuit, power.

### **Вступ**

Мікропроцесорний релейний захист почали застосовувати у світовій практиці більше двох десяти років тому, поступово витісняючи не лише електромеханічні пристрої, але і електронну аналогову техніку. Перехід на цифрові принципи обробки інформації в РЗА не привів до появи нових принципів побудови захистів, але визначив оптимальну структуру побудови апаратної частини сучасних цифрових пристроїв і істотно поліпшив експлуатаційні якості пристроїв РЗА [1].

### **Результати дослідження**

На деяких енергооб'єктах виникають труднощі при виникненні питання про перехід на цифрову техніку. Зазвичай це пов'язано із:

- морально застарілими суміжними системами;
- застарілими, але ще діючими нормативними документами;
- страхом експлуатаційного персоналу, що не має знань і навичок роботи з сучасною технікою [1].

Пристрої РЗА, виконані на традиційній елементній базі, вже не здатні забезпечити рішення ряду актуальних експлуатаційних і технічних проблем :

- реалізація деяких функцій призводить до істотного збільшення апаратної частини;
- багато функцій на електромеханічній релейній апаратурі виконати просто неможливо;
- не забезпечується стикування з сучасними цифровими автоматизованими системами управління технологічними процесами;
- повністю відсутня діагностика і запис аварійних процесів;
- ускладнення схем РЗА вимагає великої кількості налагоджувального і обслуговуючого персоналу високої кваліфікації, а також періодичного проведення профілактичних перевірок працездатності цих пристроїв [2].

Упевнено доведені наступні переваги мікропроцесорних пристроїв РЗА перед електромеханічними і електронними пристроями РЗА, побудованими на аналогових принципах [3]:

- скорочення експлуатаційних витрат за рахунок самодіагностики, автоматичної реєстрації режимів і подій;
- реалізація повноцінної сучасної АСУ ТП на базі пристроїв РЗА з виконанням різних функцій;
- скорочення витрат на будівництво, монтаж, зменшення габаритів, економія кабелів, зменшення витрат на апаратну частину;

- прискорення відключення короткого замикання за рахунок зменшення ступенів селективності, що знижує розміри ушкоджень електроустаткування і вартість відновних робіт;
- поліпшення контролю за станом устаткування і роботою пристроїв РЗА;
- уніфікація технічних рішень, застосування стандартних модулів, зменшення потреб в запчастинах, повна заводська готовність;
- зменшення часу на з'ясування причин аварій за рахунок реєстрації і запису аварійних процесів;
- можливість реалізації нових функцій (наявність вільних логічних елементів);
- легка наладка за допомогою спеціальних розроблених засобів.

### **Висновки**

Інтенсивний розвиток цифрової техніки зумовив широке проникнення її в усі рівні автоматизації енергооб'єктів як в енергетиці, так і в усіх інших галузях промисловості.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Н.И. Овчаренко. Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей – Москва, 1999 год.
2. Рекомендации по выбору защиты электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM - Киев, 2000 год.
3. Оборудование для реконструкции и модернизации РЗА распределительных сетей. Компания «Энергомашвин», каталог продукции – Киев, 2002 год.

**Поліщук Дмитро Олександрович** — студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — канд., техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Dmitry O. Polishchuk** — student Department of Electric Power Stations and Systems , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia .

Supervisor: **Netrebskyy Volodymyr V.** - Cand ., Sc. Sciences, Associate Professor of electrical plants and systems , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ КОНДЕНСАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ СМА 166/ $\sqrt{3}$

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Проаналізовано застосування високочутливих діагностичних параметрів, які ще на ранній стадії зародження дефекту дозволяють ідентифікувати його з високою достовірністю.*

**Ключові слова:** конденсатор, коротке замикання, електрична мережа.

### *Abstract*

*Analyzed the use of highly sensitive diagnostic parameters that have early origin of the defect allows it to identify with high accuracy.*

**Keywords:** capacitor, short circuit, electric network.

### **Вступ**

Проблема діагностики енергетичного електрообладнання, на сьогоднішній день, є актуальною, що пов'язано насамперед з впровадженням нових та автоматизованих засобів обслуговування в електроенергетиці, щодо будь-якого технологічного процесу.

### **Результати дослідження**

Технологічний процес, в залежності від ступеня складності, відповідальності та тривалості, вимагає точної інформації та якісного обладнання. Це є причиною встановлення в електроенергетиці новітніх технологій, які в свою чергу вимагають якісного обслуговування, так як їх вартість є вагомим показником, щодо вибору діагностичних засобів та виду обслуговування, то звичайно передбачити несправність таких пристроїв є основною задачею діагностики.

Це досягається пошуком та обґрунтуванням високочутливих діагностичних параметрів, тобто таких, аналіз яких ще на ранній стадії зародження дефекту дозволяє ідентифікувати його з високою достовірністю. Такі дослідження стали доступними у зв'язку з можливістю комп'ютерної реєстрації характеристик швидкоплинних процесів, які відбуваються в електричних апаратах як в лабораторних умовах так і в умовах експлуатації.

Таким чином, комп'ютерна діагностика фізичних процесів та методи первинної статистичної обробки, методи апроксимації і спектрального аналізу значно розширюють можливості функціональної діагностики електричних апаратів. Розробка та впровадження нових методів діагностики, а також створення досконалого діагностичного обладнання стає необхідною умовою для досягнення надійного функціонування та модернізації електроенергетичної системи України.

По мірі розвитку мережі високовольтних ліній електропередач, збільшення їх протяжності і оснащення автоматикою виникає необхідність в надійному диспетчерському та адміністративно – господарському зв'язку між окремими пунктами, передачі сигналів телевимірювання, аварійного відключення вимикачів, релейного захисту та інших даних. Зазвичай такий зв'язок здійснюється безпосередньо по високовольтних ЛЕП на частоті 40-500 кГц. Одним з елементів обладнання такого зв'язку є конденсатори, які відокремлюють апаратуру зв'язку від високої напруги частоти 50 Гц, пропускаючи сигнали високої частоти по каналах зв'язку. На основі цих же конденсаторів робляться пристрої відбору потужності при частоті 50 Гц безпосередньо від ЛЕП для живлення вимірювальної апаратури і силового обладнання, а також вимірювальні пристрої (дільники, трансформатори напруги) – для вимірювання напруги ЛЕП.

Конденсатор СМА-166/ $\sqrt{3}$ -14 УХЛ1 (Рис.1) призначений для забезпечення високочастотного зв'язку на частотах від 24 до 1500 кГц в лініях електропередачі номінальною напругою 35, 110, 150, 220, 330, 500 кВ змінного струму частоти 50 і 60 Гц.



Рис. 1. Конденсатор зв'язку СМА-166/ $\sqrt{3}$ -14 УХЛ1

За період 2008–2013 роки в Південно-Західній ЕС виявлено 11 елементів конденсаторів зв'язку на класи напруги 110–330кВ, які експлуатуються більше 25 років, з ізоляційними характеристиками, що не відповідають вимогам норм випробувань: за тангенсом кута діелектричних втрат – 9 шт., за змінюванням ємності – 2 шт.

Разом з тим в 2013 році в енергосистемі виявлено 12 елементів (з 30 встановлених) КЗ на клас напруги 330 кВ типу СМА-166/ $\sqrt{3}$ -14 УХЛ1, 2008 року випуску, виробництва ТОВ «УККЗ» (Усть-Кам'яногірський конденсаторний завод, Казахстан), які мають незадовільні ізоляційні характеристики при терміні експлуатації 5 років. Різке погіршення параметрів ізоляції такої кількості КЗ (40% елементів) вимагає посиленої уваги не лише до «старих», а і до «нових» конденсаторів цієї технологічної партії.

Пошкодження КЗ в експлуатації призводить не тільки до вимкнення ліній електропередачі, а й становить загрозу для безпеки персоналу підстанцій, тому актуальним завданням є посилення контролю за технічним станом конденсаторів зв'язку [2].

### Висновки

Сучасні комп'ютерні системи діагностики дозволяють отримати поточне значення коефіцієнту загального залишкового ресурсу і на основі цих даних робити висновок про необхідність ремонту чи можливість подальшої експлуатації обладнання. Це дає можливість зменшити витрати на планово-попереджувальні ремонти і навіть продовжити термін служби обладнання, оскільки без необхідності не здійснюється втручання в його роботу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Факсограма ДП «НЕК «Укренерго» № 02-1-2/02-1-2-1/10296 від 04.11.2010 «Щодо посилення контролю за технічним станом конденсаторів зв'язку» – 2 с.
2. Ванін Б.И., Неклепаєв Б.Н., Чичинський М.И. и др. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации // Электрические станции. – 2001. - № 9. – С. 53-58.

*Дмуховський Віталій Анатолійович* — аспірант кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: *Рубаненко Олександр Євгенійович* — канд., техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

*Dmuhovskyy Vitaliy A.* — Post-Graduate student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: *Rubanenko Alexander E.* — Cand., Sc. Sciences, Associate Professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ З АСИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

<sup>1,2</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Досліджено роботу асинхронних генераторів в вітрових установках, що дозволило оцінити розподіл втрат потужності в режимі роботи асинхронного генератора зі споживанням та компенсацією реактивної потужності.*

**Ключові слова:** вітроустановка, асинхронний генератор, синхронний генератор, розосереджені джерела енергії, реактивна потужність.

### *Abstract*

*The asynchronous generators in wind installations were investigated, which allowed us to estimate the distribution of power losses in operation asynchronous generator with power consumption and compensation.*

**Keywords:** wind turbine, asynchronous generator, synchronous generator, distributed energy sources, reactive power.

### Вступ

Станом на 01.01.15р. в Україні встановлена потужність вітроелектростанцій (ВЕС) становила 514 МВт (лише 0,93% від загального обсягу генеруючих потужностей), якими вироблено понад 1171 млн. кВт·год електроенергії у 2014 році.

Згідно звіту Світової вітроенергетичної асоціації потужність енергії вітру у світі сягнула 336 327 МВт на кінець червня 2014 р., з них 17 613 МВт були додані у першій половині 2014 р. Таке зростання було суттєвим у першій половині 2013 р. та у 2012 р., коли були додані відповідно 13,9 ГВт та 16,4 ГВт. Загальна встановлена потужність енергії вітру на середину 2014 р. складає близько 4% світової потреби в електроенергії. Світова потужність енергії вітру зросла на 5,5% протягом шести місяців (після 5% у такий же період 2013 р. та 7,3 % у 2012 р.) та на 13,5 % в розрахунку на рік (середина 2014 р. у порівнянні з серединою 2013 р.). Для порівняння варто відзначити, що річні темпи зростання у 2013 р. були нижчими на 12,8 % [1].

Інтенсивний розвиток вітрової енергетики, що спостерігається за останні час, обумовлений державною політикою сприяння розвитку альтернативних джерел енергії (зміни до Закону України «Про електроенергетику» від 01.04.2009, Розпорядження КМУ від 19.02.2009 «Про реалізацію інвестиційних проектів з будівництва вітроелектростанцій в Автономній Республіці Крим та Миколаївській області» тощо). Проте наразі відсутні науково обґрунтовані обсяги вітроенергетичних потужностей, які можливо розмістити в окремих регіонах України, виходячи з наявності вітру, економічної доцільності, екологічної безпеки, збереження стійкої роботи ОЕС України, потреби в електроенергії в районах розміщення ВЕС тощо. Інститутом відновлюваної енергетики НАН України та ДНПП «Укренергомаш» НКА України були розроблені Обґрунтування доповнення до «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» в частині розвитку вітроенергетики». НЕК «Укренерго» було розглянуте зазначене Обґрунтування доповнення до «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» і наданні пропозиції та зауваження листом від 31.12.2008 № 02/02-1-3/7867, які зводяться до того, що обсяги запланованих до введення вітроенергетичних потужностей мають узгоджуватись з існуючим станом та перспективним розвитком електроенергетичної галузі України.

НЕК «Укренерго» в межах своїх повноважень підтримує розвиток вітроенергетики, проте наполягає на тому, що забезпечення розвитку вітроенергетичної галузі та її роботи з максимальною ефективністю необхідне завершення розробки Енергетичної стратегії України в частині розвитку вітроенергетики з розробкою схеми розподілу вітрових потужностей по території країни та

нормативних документів, що визначатимуть умови паралельної роботи вітрових електростанцій з ОЕС України [2].

### Результати дослідження

На сьогоднішній день в галузі відновлюваної енергетики широке застосування знайшли асинхронні генератори (АГ). Існує чимало переваг застосування АГ в порівнянні із синхронними. Насамперед, це низька вартість, стійкість до зовнішніх аварій, значний ресурс, простота конструкції та експлуатації в нормальних режимах. Також з позицій підтримки стабільної частоти струму, який видає в ЕЕС електричний генератор вітрової електричної станції (ВЕС), використання асинхронних машин, як генераторів вітрових електростанцій є найпривабливішим.

Процес будівництва української вітроенергетики почався у 1996 році, коли була запроєктована Новоазовська ВЕС проектною потужністю 50 МВт. У 2000 році працювало 134 турбіни з 3500 запроєктованих та закладено близько 100 фундаментів під турбіни потужністю 100 кВт кожна. Фактична потужність станції при штаті 34 працівників – 14,5 МВт. Саме в той час розпочалися дослідження щодо практичного використання трифазних асинхронних генераторів для перетворення енергії на ВЕС, які були доведені до практичного застосування на кількох установках.

За 2002-2005 роки встановлена потужність кожної із чотирьох найбільших вітроелектростанцій України перевищила 10 МВт, а на Сакській досягла 19 МВт. Промислові ВЕС побудовані на основі серійних вітроелектричних установок USW 56-100 с асинхронними генераторами АГВ280М4ОМ2 з короткозамкненим ротором.

Внаслідок експлуатації асинхронних генераторів, як заміників синхронних, було виявлено ряд суттєвих переваг. Так, в якості АГ для ВЕС можна використовувати серійні асинхронні двигуни без будь-яких доробок, що знижує загальну вартість електричної частини станції. Крім того, асинхронний генератор не має колектора та ковзних контактів, що підвищує його надійність. Імовірність безвідмовної роботи для типових асинхронних двигунів серії АІ, що можуть використовуватися в якості генераторів, складає 0,95 протягом 10 тис. год., або 0,9 – у межах 20 тис. год. експлуатації без капітального ремонту. За рахунок цього зменшуються витрати часу та щорічні відрахування на ремонт і обслуговування електрообладнання ВЕС.

Асинхронний генератор малої потужності має коефіцієнт гармонік напруги та струму на затискачах статорної обмотки менше 2-3%, на відміну від синхронного аналогічної потужності, для якого вказана величина може сягати 15%. Таким чином, наявність асинхронних генераторів позитивно впливає на роботу електричних мереж та споживачів електроенергії [3].

До переваг застосування АГ також можна віднести відсутність потреби у засобах регулювання швидкості обертання гідротурбіни, що працює на приєднаній до енергосистеми асинхронний генератор. У даному випадку, на відміну від автономної роботи АГ, швидкість обертання його ротора практично не впливає на швидкість обертання магнітного поля статора, а отже і на частоту струму та напруги на затискачах генератора. З іншого боку, відсутність автоматичних засобів регулювання швидкості на ВЕС з АГ, зумовлена тим, що зміни навантаження енергосистеми фактично не впливають на режим роботи асинхронного генератора [4]. Керування роботою малої ГЕС спрощується й через те, що не має потреби у регулюванні напруги на затискачах АГ, оскільки остання завдяки великій потужності задається електричною мережею енергосистеми.

Окремо слід зазначити, що за рахунок простоти та надійності конструкції АГ, відсутності систем збудження (у розумінні синхронного генератора), регулювання напруги та швидкості турбіни, а також процесу синхронізації та електричного гальмування у випадку зупинки, спрощується система автоматизації процесу виробництва електроенергії на ВЕС, а також зменшується вартість проекту ВЕС в цілому. Вказані переваги знайшли практичне підтвердження під час експлуатації ряду ВЕС з асинхронними генераторами – Сакської, Мирнівської та інших.

В залежності від параметрів схеми електричної мережі та потужності генерації розосереджені джерела електроенергії (РДЕ) по різному впливають на втрати потужності у електричній системі. При цьому реактивне споживання АГ є достатньо вагомим фактором в задачі забезпечення економічності експлуатації РДЕ [5].

До досліджуваної ЕМ (рис. 1) приєднані чотири ВЕС з асинхронними генераторами. Для оцінювання втрат потужності, зумовлених функціонуванням РДЕ використовувався методика, запропонована в [6]. Моделювання режимів досліджуваної ЕМ виконувався за допомогою програми "ГрафСканер". Було розглянуто два випадки:





## Висновки

Широкомасштабне впровадження вітрових електричних станцій з асинхронними генераторами в Україні дозволить зробити суттєвий крок у зменшенні енергетичної залежності країни, охороні довкілля та створенні умов для входження країни до європейської спільноти. Не зважаючи на значний вітровий потенціал, достатньо розвинену науково-технічну та промислову базу, велику кількість прийнятих нормативно-законодавчих актів, частка таких джерел у енергетичному балансі країни залишається незначною. Головними причинами такого стану є відсутність стимулюючої політики держави, недосконалість нормативно-правового забезпечення та невиконання прийнятих рішень, низький рівень фінансування науково-дослідних і конструкторських розробок, недостатній рівень інформування потенційних розробників технологій та споживачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/ae/windenergy>.
2. Кудря С.О. Структурні тенденції в енергетиці Європи і розвиток відновлюваної енергетики / С.О. Кудря, Б.Г. Тучинський, В.Г. Дресвянніков, З.У. Рамазанова // Відновлюв. енергетика. – 2005. – № 1. – С. 36-40.
3. Васько П.Ф. Узгодження умов компенсації реактивної потужності та електромагнітної сумісності обладнання промислових вітроелектричних станцій з асинхронними генераторами / П.Ф. Васько, В.П. Васько, О.І. Даниленко // Відновлюв. енергетика. – 2006. – № 4. – С. 56-62.
4. Радін В.И. Электрические машины: асинхронные машины / Радін В.И., Брускін Д.Э., Зорохович А.Е.: Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
5. Кулик В.В. Оптимальне керування відновлюваними джерелами електроенергії на підставі *Smart Grid* / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Відновлювана енергетика ХХІ століття: ХІІ міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – АР Крим: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2011.
6. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. –123 с.

**Юлія Володимирівна Малогулко** — асистент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net);

**Яна Валентинівна Пташинська** — студент гр. 2Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [Yana\\_Ptashynska@mail.ru](mailto:Yana_Ptashynska@mail.ru).

**Juliya V. Malogulko** — assistant of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net);

**Yana V. Ptashynska** — department of of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [Yana\\_Ptashynska@mail.ru](mailto:Yana_Ptashynska@mail.ru).

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШУНТУЮЧИХ РЕАКТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Обґрунтовано застосування мікропроцесорних систем безперервного контролю і діагностики, що дозволяють виявити на ранній стадії розвитку небезпечні для шунтуючого реактора дефекти, а також обробку, аналіз і відображення параметрів стану трансформатора в зручному для експлуатаційного персоналу вигляді.*

**Ключові слова:** конденсатор, коротке замикання, електрична мережа.

### **Abstract**

*Application of microprocessor systems of continuous monitoring and diagnostics that can detect the early stages of development dangerous for shunt reactor defects and processing, analysis and display parameters of transformer suitable for operating personnel form.*

**Keywords:** capacitor, short circuit, electric network .

### **Вступ**

Діагностування силового електротехнічного устаткування, зокрема шунтуючих реакторів, сьогодні стає звичайним технічним заходом підвищення надійності і якості електропостачання. Для цього є всі передумови: з одного боку це економічна необхідність і доцільність, а з іншого – технічні можливості. Перше обумовлене високою вартістю шунтуючих реакторів, складністю і значними витратами на їх транспортування і монтаж, а також збитками, викликаними порушенням технологічних процесів через обмеження електропостачання. Друге пояснюється потенційними можливостями сучасного апаратного і програмного забезпечення. В той же час актуальною є розробка методів діагностування, вимогам, що відповідають, які істотно зросли до систем діагностики, і повною мірою використовували б можливості комп'ютерного моделювання.

### **Результати дослідження**

Використання шунтуючих реакторів на сьогоднішній день є важливим, оскільки вони компенсують реактивну потужність в лінії, обмежують струми короткого замикання та допомагають лінії швидше повернутися в усталений режим роботи. Оскільки вони встановлюються на початку і в кінці лінії на кожній фазі і «борються» з коротким замиканням, то їх поломки є на порядок вищим ніж у трансформаторів. В Україні наразі немає можливості ремонтувати реактори на конкретному заводі, цю роботу можна виконувати на Московському електротехнічному заводі. Транспортування шунтуючих реакторів так далеко є недоцільним і не вигідним. Ремонт краще здійснювати на підстанції власними силами. Після проведення ремонту потрібно запевнитись, що реактор можна підключати до лінії, тому проводять діагностування. До задач діагностування відноситься випробування підвищеною частотою і напругою, близькою до номінальної.

Оскільки шунтуючі реактори є одними з найбільш складних і відповідальних видів електроустаткування електроенергетичних систем, то для оцінки їх технічного стану створені і розвиваються спеціальні системи контролю [1, 2].

Вони обслуговують шунтуючі реактори великої потужності, що підвищують надійність, на електростанціях і крупних вузлових підстанціях. Для таких шунтуючих реакторів доцільно застосовувати навіть складні і дорогі контрольно-діагностичні системи, наприклад, автоматичну систему відбору проб масла, аналізу газів в маслі і систему автоматичного визначення діагнозу [3]. Керований шунтуючий реактор - це змінний індуктивний опір, який плавно регулюється підмагнічуванням феромагнітних елементів магнітного ланцюга. Магнітна система однієї фази КШР має два стрижні. На кожному стрижні розташовані обмотки керування та мережеві обмотки.

При підключенні до обмоток керування джерела постійного струму виникає зростання потоку підмагнічування, який у сусідніх стрижнях є направленим у різні сторони та викликає насичення стрижнів КШР у відповідні півперіоди напруги.

Найбільш ефективними, в попередженні аварій шунтуючих реакторів, є мікропроцесорні системи безперервного контролю і діагностики, які використовують комплекс датчиків [4]. Характерною для таких систем метою є - виявлення на ранній стадії розвитку небезпечних для шунтуючого реактора дефектів безпосередньо під час роботи, а також обробка, аналіз і відображення параметрів стану трансформатора в зручному для експлуатаційного персоналу вигляді.

### Висновки

Сучасні комп'ютерні системи діагностики дозволяють отримати поточне значення коефіцієнту загального залишкового ресурсу і на основі цих даних робити висновок про необхідність ремонту чи можливість подальшої експлуатації обладнання. Це дає можливість зменшити витрати на планово-попереджувальні ремонти і навіть продовжити термін служби обладнання, оскільки без необхідності не здійснюється втручання в його роботу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев Б.А. Основное электрооборудование в энергосистемах // М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с.
2. Ванин Б.И., Неклепаев Б.Н., Чичинский М.И. и др. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации // Электрические станции. – 2001. - № 9. – С. 53-58.
3. Турпан С.В. Причины повреждаемости и меры по повышению надежности мощных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов//Тезисы докладов X международной науч.-техн. Конф. «Трансформаторостроение-2000» (19-21.09.2000 г.) – Запорожье, ПО ЗТВ. – С. 122-126.
4. Мокин Б.И., Грабко В.В. Математические модели и информационно-измерительные системы для технической диагностики трансформаторных вводов. - Винница: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1997 - 130 с

*Мельничук Андрій Сергійович* — студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: *Рубаненко Олександр Євгенійович* — канд., техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

*Andrew S. Melnychuk* — student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia .

Supervisor: *Rubanenko Alexander E.* — Cand ., Sc. Sciences, Associate Professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

<sup>1,2</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Запропоновано варіант апаратної реалізації автоматизованої системи керування схемою видачі потужності відновлюваних джерел енергії в локальних електричних системах. Застосування такого підходу дозволить підвищити ефективність функціонування локальної електричної системи шляхом оперативного керування режимами роботи розосередженого генерування без погіршення їх прибутковості.*

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, локальна електрична система, сонячні електричні станції, інвертор.

### *Abstract*

*The variant of a hardware implementation of an automated control system with scheme of issuing power of renewable energy in local electric systems was proposed. This approach will improve the efficiency of the local electrical system by operating control modes of distributed generation without compromising their profitability.*

**Keywords:** renewable energy, local electrical system, solar power plants, inverter.

### **Вступ**

Забезпечення процесу оптимізації функціонування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в локальних електричних системах (ЛЕС) в сучасних умовах, передбачає застосування автоматизованих систем керування в контексті підвищення якості виробництва та розподілу електроенергії. Це не тільки прискорює та спрощує цей процес, але і створює умови для побудови сучасних інтегрованих систем керування. Таким вимогам найбільше відповідають адаптивні автоматизовані системи керування (АСК), які дозволяють підтримувати належну якість технологічного процесу в умовах неповної або недосконалої вихідної інформації щодо його параметрів та впливів навколишнього середовища [1-2].

### **Результати дослідження**

Для реалізації комплексу задач оптимального керування ВДЕ в локальних електричних системах необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого керування об'єктом у реальному часі. Однак, ця умова не може бути забезпечена через просторову розподіленість об'єкта керування та обмежену надійність каналів зв'язку між ними та диспетчерським центром [3,4]. Виходячи з цього автоматизована система керування (АСК) з необхідним переліком функцій керування може бути побудована як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу за рахунок застосування локальних САК.

Враховуючи структурну та апаратну складність такої системи у поєднанні з достатньо жорсткими фінансовими обмеженнями щодо проектування, реалізації та подальшого супроводження, АСК має будуватися на принципах ієрархічної структури керування з виділенням трьох рівнів:

- перший рівень – диспетчерський центр централізованого керування;
- другий рівень – «опорні» керовані ВДЕ, які функціонально підпорядковуються першому рівню та здійснюють керування відновлюваними джерелами третього рівня, ретранслюючи команди, або коригуючи налагоджувальні параметри, що надходять з вищого рівня;
- третій рівень – відновлювані джерела з оснащені засобами локальної автоматизації керування з мінімально-необхідною інтелектуалізацією та максимальною автономністю функціонування, які виконують команди та реалізують закони керування з вищих ієрархічних рівнів, адаптуючи їх до місцевих умов. В [5] запропоновано спосіб узгодження графіків генерування умовно-керованих ВДЕ з місцевим електроспоживанням, який може бути реалізовано засобами автоматизації керування на третьому рівні АСК.

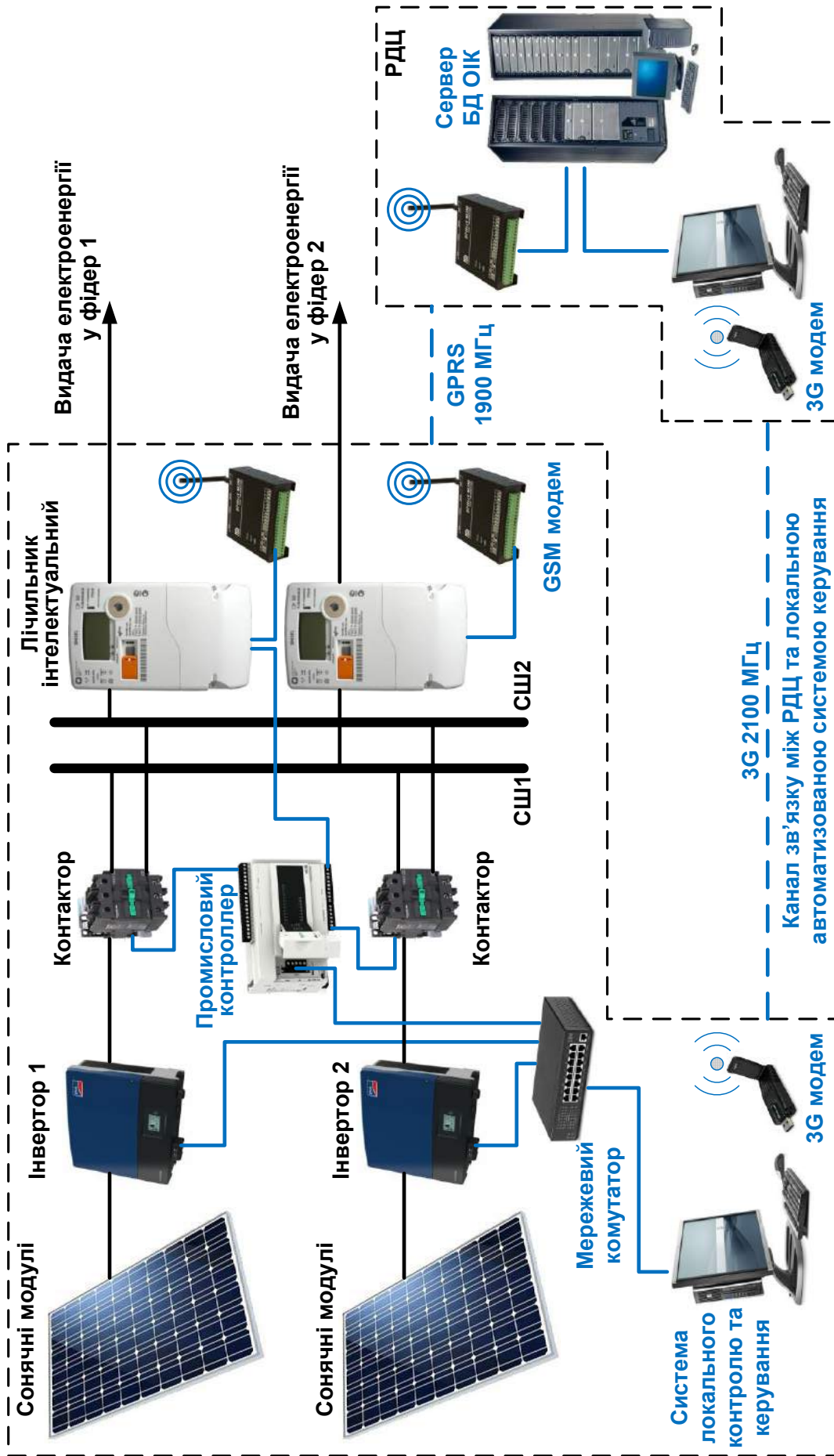


Рис. 1. Особливості апаратної реалізації АСК схемою видачі потужності

Суть пропонованого способу полягає в автоматичному перерозподілі потужностей інверторів між секціями шин електричної станції. Залежно від поточної потужності СЕС та навантаження споживачів на регульовану систему шин підключається кількість інверторів, що здатні забезпечити споживання у ЛЕС з дотриманням показників якості та мінімальних втрат електроенергії. Надлишок виробленої електроенергії видається напряму до центру живлення, який окремим фідером підключений до іншої, нерегульованої системи шин. Для реалізації способу передбачається використання електронних ключів відповідної потужності або керованого комутаційного обладнання 0,4 кВ, встановленого у силовій шафі.

Така структура дозволяє зменшити витрати на апаратно-програмну реалізацію АСК. Відповідно до наведеної вище структури та способу узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням, відповідно до [1]. На рис. 1 показано особливості апаратної реалізації автоматизованої системи керування СЕС. На рис. 1 зображено взаємозв'язок підсистеми обміну інформацією розрахунково-диспетчерського центру (РДЦ) локальної електричної системи (перший рівень) та САК сонячною електростанцією (третій рівень) автоматизованої системи керування.

Відповідно до пропонованого способу оперативного коригування схеми видачі потужності до ЕМ апаратна реалізація передбачає застосування керованих комутаційних апаратів (контакторів), паспортні дані яких залежать від номінальної потужності інверторів, що встановлені на СЕС.

Управління комутаційними апаратами здійснюється промисловим контролером, який порівнює інформацію про поточні значення напруги та струму на шинах СЕС зі значенням оптимальної потужності, збереженої у базі даних оперативно-інформаційного комплексу РДЦ. Інформація про поточні значення струму та напруги на керованій системі шин зчитується з допомогою комунікаційного зв'язку з інтелектуальним лічильником.

Залежно від результатів роботи алгоритму на регульовану систему шин підключається кількість інверторів, що здатні забезпечити споживання у ЛЕС з дотриманням показників якості та мінімальних втрат електроенергії. Надлишок виробленої електроенергії видається на нерегульовану систему шин.

Застосування вказаної апаратної реалізації автоматизованої системи керування дозволить вдосконалити існуючу систему засобами дискретного керування. Це дозволить підвищити ефективність функціонування локальної електричної системи, а також покращити показники якості електроенергії та дасть можливість оперативного керування режимами роботи розосередженого генерування без погіршення їх прибутковості.

## Висновки

Пропонована автоматизована система керування СЕС базується на принципах функціонування, що полягають в значній інтеграції та автоматизації процесів генерування, передачі та споживання. Інформаційні зв'язки з інтелектуальним вимірювальним і керувальним обладнанням, а також базою даних ОІК, дозволяють на рівні диспетчерського керування враховувати експлуатаційні особливості розосереджених відновлюваних джерел енергії та локальної електричної системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурикін О.Б. Спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко, О.В. Нікіторович // Відновлювана енергетика XXI століття: XV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріли конференції. – Київ: Інститут відновлювальної енергетики НАН України, 2014. – С. 52-55.
2. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії [Текст] / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – №2. – Вип. 15 (338). – С. 42-46. – ISSN 2074-2630.
3. Воротницький В.Э., Лежнюк П.Д., Серова И.А. Методика и программа оценки эффективности применения РПН и АРПН в замкнутых электрических сетях // Электрические станции. - 1992. - № 1. - С. 60-66.
4. J. Conejo, J. M. Arroyo, N. Alguacil, and A.L. Guijarro, "Transmission loss allocation: a

comparison of different practical algorithms,” Power Systems, IEEE Trans. Power Syst., vol. 17, P. 571–576, Aug. 2002.

5. Бурикін О.Б. Спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко, О.В. Нікіторович // Відновлювана енергетика XXI століття: XV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Київ: Інститут відновлювальної енергетики НАН України, 2014. – С. 52-55.

**Юлія Володимирівна Малогулко** — асистент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya\_Malogulko@ukr.net;

**Наталія Володимирівна Радзівська** — магістрант гр. ЕС-15 М, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Natali\_Radzievska@mail.ru.

**Juliya V. Malogulko** — assistant of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Juliya\_Malogulko@ukr.net;

**Natalya V. Radzievska** — student of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Natali\_Radzievska@mail.ru.



# ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ В ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ МЕРЕЖ ВИЩОЇ НАПРУГИ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація:** В роботі доведено, що для створення бази режимів локальних електричних систем з метою подальшого її використання під час автоматизованого керування нормальними режимами електроенергетичних систем, в яких експлуатуються розосереджені джерела електроенергії, можуть бути використані методи нечіткого моделювання. Використання цих методів дає можливість прогнозувати параметри режимів локальних електричних систем в умовах неповноти початкових даних, яка зумовлена відсутністю вимірювальних пристроїв та систем передавання даних на багатьох підстанціях 6-10 кВ локальних електричних систем.

**Ключові слова:** локальні електричні системи, розосереджені джерела енергії, режими електричних мереж.

**Abstract:** It is proved that to create a local database modes of electrical systems with a view to its use in automated control normal modes of electric power systems are operated in dispersed energy sources can be used fuzzy modeling methods. Use these methods to predict mode local electric systems in incomplete source data, which is due to the lack of measuring devices and transmission systems at many local substations of 6-10 kV electric systems.

**Keywords:** the local electrical system, distributed sources of electricity, modes of electric networks.

## Вступ

Масові підключення розосереджених джерел енергії (РДЕ) до існуючих розподільних мереж в останні роки призвело до значного зростання складності енергосистем. Розподільна електрична мережа поступово перетворюється в мережу з характерними особливостями локальної електричної системи (ЛЕС). В той час коли ЛЕС працює на власне навантаження, але приєднана до централізованої системи електропостачання, то електрична мережа, у цьому випадку, не постачає постійно електроенергію споживачу в повному обсязі, а виконує невласливу раніше їй функцію резервного джерела енергії, постачаючи електроенергію «на вимогу» (за необхідністю), і несе певні витрати на підтримання такого режиму [1]. Слід відзначити, що такі режими роботи ЛЕС суттєво впливають на режими мереж різних класів напруг.

Дослідження режимів електроенергетичних мереж та систем тісно пов'язано з методами дослідження складних систем, які описують взаємодію між суб'єктами електричної мережі.

Так, наприклад, незважаючи на те, що схема електричних з'єднань відома, параметри режиму в темпі процесу його зміни відомі не завжди тому, що засоби on-line контролю параметрів поточного режиму є не в повному обсязі (відсутні на багатьох ТП розподільних мереж 10-04, кВ).

Тому актуальною є задача створення моделей локальних електричних систем, здатних прогнозувати параметри поточних режимів ЛЕС в умовах неповноти початкових даних.

В якості засобів для рішення цієї задачі які можуть бути використані методи нейро-нечіткого та натурно-імітаційного моделювання [2].

## Результати дослідження

Для створення бази режимів ЛЕС були в якості початкових даних були використані результати вимірювань вузлових струмів (в режимні дні), напруга базисного і балансуєчого вузла (співпадають), параметри ліній електропередач (активні, реактивні опори, початок та кінець віток), параметри силового понижувального трансформатора та результати попередніх розрахунків активної та реактивної вузлових потужностей.

На прикладі спрощеного фрагменту схеми ЛЕС (рис. 1) показано доцільність використання засобів нейро-нечіткого моделювання. На рис. 1 показані: шини відкритого розподільного пристрою напругою 110 кВ Дністровської ГЕС-1 (вузол 806), шини 110 кВ електричної підстанції «Михайлівка 110» (вузол 1261), шини 10 кВ електричної підстанції «Михайлівка 110» (вузол 126), шини 10 кВ сонячної

електричної станції «Слобода-Бушанська СЕС», «Слобода-Бушанська ГЕС» та навантаження (вузол 8), та шини 10 кВ трансформаторної підстанції «Село Михайлівка» (вузол 140). Повітряні лінії електропередач напругою 110 кВ, які з'єднують вузол 806 з вузлом 1261 умовно показані віткою 806-1261. Силовий трансформатор 110/10 кВ показаний віткою, що з'єднує вузли 126 (напругою 110 кВ) з вузлом 1261 (напругою 10 кВ). Повітряні лінії електропередач напругою 10 кВ, які з'єднують вузол 126 з вузлом 8 та 126 вузол з вузлом 140.

У вузлі 140 розташоване потужне навантаження, яке працює з 0 годин до 4 годин ранку. У вузлі 8 розташовані: сонячна електростанція (СЕС) та мала гідроелектростанція (МГЕС).

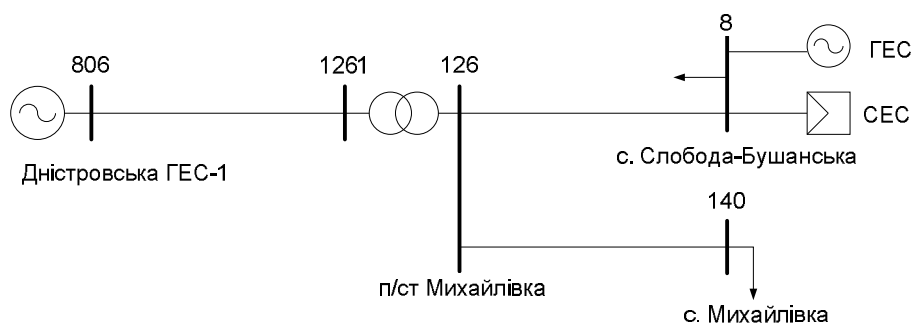


Рис. 1. Спрощений фрагмент схеми ЛЕС

Для створення математичної моделі повної потужності вузла 140 було використано параметри, за кожним з яких можна робити висновок про значення повної потужності вузла 140 ( $S_{140}$ ). Але жоден з даних параметрів не в повній мірі характеризує значення  $S_{140}$ , він лише вказує на певні зміни значення  $S_{140}$ .

Тому, задача полягає у знаходженні не завжди відомих, нечітких взаємовпливів різних режимних параметрів на значення повної потужності вузла 140 ( $S_{140}$ ) і якомога точнішому прогнозуванні параметрів режиму і їх впливу на значення  $S_{140}$ .

На даному етапі розвитку сучасного комп'ютерного забезпечення використання методів теорії нечітких множин для вирішення поставленої задачі, є не складним завданням. Це дає нам змогу врахувати ретроспективні значення різних режимних параметрів при діагностуванні значення повної потужності вузла 140 ( $S_{140}$ ) і створити базу правил їх взаємодії, в умовах відсутності аналітичного зв'язку між ними. За допомогою системи комп'ютерної математики – системи MATLAB (для цього використовувався пакет Fuzzy Logic Toolbox) – є можливість створити математичну модель повної потужності вузла 140 ( $S_{140}$ ), використовуючи яку можна відредувати раніше створену ймовірнісну вибірку навчальних даних, за якими далі можна отримати аналітичну залежність  $S_{140}$  від режимних параметрів у вигляді поліному.

## Висновки

За умов швидкого зростання кількості РДЕ розподільних мережах, значно ускладнюються схеми енергосистем, збільшуються розміри моделей. Тому для спрощення комп'ютерних моделей режимів ЕЕС з ЛЕС виправданим є еквівалентування ЛЕС. Через труднощі, що пов'язані з отриманням даних для моделей ЛЕС, перспективним напрямком є використання методів нейро-нечіткого, які можуть бути використані під час оптимального керування (в темпі процесу) режимами ЕЕС, в умовах неповноти початкових даних про параметри ЛЕС.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О. В. Енергетика сталого розвитку: виклики та шляхи побудови / О. В. Кириленко, А. В. Праховник // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. – Київ, 2010. – С. 10 – 16.
2. Лежнюк П.Д. Оптиміальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з застосуванням нейронечіткого моделювання : Монографія / П.Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2012. – 136 с.

**Сікорська Олена Вікторівна** — інженер кафедри електричних станцій і систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alenka18121988@mail.ru;

Науковий керівник: **Олександр Євгенійович Рубаненко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Olena V. Sikorska** – engineer of the Department of electric stations and systems, Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: alenka18121988@mail.ru;

Supervisor: **Alexander E. Rubanenko** - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ГАМІЛЬТОНА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В даній роботі було проаналізовано історію розвитку варіаційних принципів і окремо принципу найменшої дії. Показано електродинамічні аналогії в різних сферах науки та техніки. Проведено аналіз принципу найменшої дії для оптимізації складних систем. Проаналізовано математичне моделювання умов для самооптимізації нормальних режимів електроенергетичної системи. Проведено техніко – економічні розрахунки з використанням принципу найменшої дії для мережі напругою 10 кВ та розраховано економічні показники.

**Ключові слова:** принцип найменшої дії, математичні моделі, оптимізація систем.

### Abstract

This paper analyzed the history of variational principles and separately principle of least action. Showing electrodynamic analogies in various fields of science and technology. The analysis of the principle of least action to optimize complex systems. Analyzes mathematical modeling environment for self-optimization normal modes of electric power systems. A technical - economic calculations using the principle of least for a network voltage of 10 kV and calculated economic indicators.

**Keywords:** the principle of least action, mathematical models, optimization systems.

### Вступ

В даний час в енергетиці України продовжують вдосконалюватися ринкові форми, очікується зростання електричного навантаження, інтелектуалізуються електричні мережі енергосистем. З впровадженням балансуєчого ринку електроенергії та двосторонніх договорів електропостачання, з розвитком сучасних інформаційних технологій ряд задач в електроенергетичних системах (ЕЕС) і методи їх розв'язання необхідно вдосконалювати. Зокрема до таких задач відноситься задача оптимізації нормальних режимів ЕЕС[1].

Нормальні стани ЕЕС відрізняються між собою параметрами режиму і кількістю електроенергії, що витрачається на її передачу від джерел до споживачів (втрати електроенергії). При зміні будь-якого з параметрів в ЕЕС встановлюється новий режим, що характеризується певними значенням втрат електроенергії. Не завжди наявність існуючого механізму зворотних зв'язків, завдяки якому здійснюється саморегулювання системи, може забезпечити режим, найвигідніший з погляду мінімуму втрат електроенергії і її якості[2].

Як елемент електроенергетичної системи електрична станція в цьому обчислювальному процесі представляється економічним опором, який визначається

$$R_{ei} = \frac{B_i(P_i)U_i^2c_i}{P_i^2c} \quad (1)$$

де  $B_i(P_i)$  – витратна характеристика і-ої станції;  $P_i$  – потужність і-ї станції;  $U_i$  – напруга на шинах і-ї станції;  $c_i$  – ціна тони умовного палива на і-й станції;  $c$  – вартість 1 кВт-год втрат електроенергії.

За опорами  $R_{ei}$  розміщуються джерела струму і в ітераційному процесі обчислень досягається баланс потужностей в ЕЕС і виконання всіх обмежень на параметри режиму [3].

### Результати дослідження

1. Проаналізовано дію і використання ПНД в різних галузях науки і техніки, в тому числі і в електротехніці, і показана можливість та доцільність застосування його для побудови методів та алгоритмів оптимального керування режимами електроенергетичних систем, коли критерієм оптимальності є мінімум витрат на виробництво електроенергії та мінімум втрат електроенергії під час її транспортування.

2. Показано, що математична модель процесу оптимізації режимів ЕЕС може бути побудована на основі принципу Гамільтона. Це дає змогу визначити економічний режим ЕЕС і розробити на його основі метод оптимізації поточних режимів.

3. Показано, що принцип найменшої дії може бути використаний для оптимального керування режимами ЕЕС. Оптимальне керування режимом ЕЕС здійснюється таки чином, що поточні режими керування впливами наближаються до ідеального режиму.

4. Працездатність та ефективність розглянутих у роботі методів і алгоритмів підтверджена результатами розрахунків тестової ЕЕС.

Перенесення закономірностей довільних систем на електроенергетичну систему дозволяє стверджувати, що у будь-який момент часу функціонування для поточної сукупності параметрів системи та незалежних параметрів режиму вона знаходиться в оптимальному стані з точки зору технологічних втрат електроенергії, але глибина даного оптимуму зумовлена мірою ідеальності самої системи. Таким чином сприяння природному розвитку ЕЕС, тобто підвищенню міри її ідеальності, дозволяє завдяки механізмам самооптимізації забезпечувати зниження технологічних втрат електроенергії, незалежно від її навантаження. Саме це є суттєвою перевагою даного підходу порівняно з класичною оптимізацією.

Виходячи з принципу найменшої дії можуть бути встановлені закони електротехніки, зокрема закони Кірхгофа. Отже, якщо при переході системи з одного стану в інший ці закони виконуються, то така зміна стану здійснюється з найменшими втратами електроенергії, тобто розсіюванням її з системи у вигляді інших видів енергії є мінімальним. Таким чином, стосовно електричних систем, принцип найменшої дії за своєю суттю є принципом мінімізації втрат електроенергії.

### Висновки

У роботі набула подальшого вирішення актуальна задача зменшення витрат на виробництво та транспортування електроенергії, яке полягає у доведенні доцільності й ефективності застосування принципу найменшої дії (ПНД) для моделювання оптимальних режимів електроенергетичних систем, що дозволяє задіяти здатність останніх до самооптимізації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методы оптимизации режимов энергосистем / В. М. Горнштейн, Б. П. Мирошниченко, А. В. Пономарев и др. – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.

2. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Нетребський В.В. Принцип найменшої дії в задачах оптимізації електроенергетичних систем // Технічна електродинаміка. – 2006. – №3. – С. 35–41.

3. Лежнюк П.Д., Нетребський В.В. Застосування принципу найменшої дії для оптимізації режимів електроенергетичних систем // Електроенергетичні та електромеханічні системи. Вісник Національного Університету «Львівська політехніка». – 2009. – №637. – С. 44–50.

*Дучков Євгеній Віталійович* — інженер кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, ел пошта – [duchkov@mail.ua](mailto:duchkov@mail.ua)

*Нетребський Володимир Васильович* — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Duchkov Yevhenii Vitaliiovich** — engineer of the Department of electric stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, E-mail - [duchkov@mail.ua](mailto:duchkov@mail.ua)

**Netrebnyi Volodymyr Vasylovych** — Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

# МОДЕЛЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ВІДНОСНИХ СПАДІВ НАПРУГИ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано метод поетапного установлення компенсуючих установок в розподільні електричні мережі з використанням відносних спадів напруги як інтегральних показників. Вони дозволяють одночасно оцінювати втрати активної потужності під час передачі реактивної і спади напруги.

**Ключові слова:** компенсація реактивної потужності, розподільні електричні мережі, відносні спади напруги.

## Abstract

A method of phased installation of compensating units in electrical distribution networks with using relative voltage drops, as integral indicators, was proposed. They allow simultaneously evaluate active power losses during transmission reactive power and voltage drops.

**Keywords:** reactive power compensation, electrical distribution networks, relative voltage drops.

**Постановка проблеми.** Впровадження компенсуючих установок (КУ) є одним з ефективних шляхів зниження втрат електроенергії у розподільних електричних мережах (ЕМ). Відповідно до існуючих методів [1-5] розв'язання цієї задачі проводиться за двома критеріями: максимальним зниженням втрат і забезпеченням допустимих рівнів напруги у навантажувальних вузлах ЕМ. Розв'язання задачі в такій постановці потребує складних математичних методів, зокрема методів нелінійного програмування [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати розрахунків, одержані вказаними методами, практично складно перевірити на відповідність обом критеріям, оскільки вони характеризують різні технічні параметри. З іншої сторони у [4] показано, що ці критерії мають спільну фізичну природу, що дає можливість формувати інтегральні показники, які одночасно оцінюють втрати активної потужності і спади напруги.

**Мета роботи** – дослідження і використання інтегральних показників, які одночасно оцінюють втрати активної потужності і спади напруги.

**Результати дослідження.** Втрати активної потужності на ділянці ЕМ, якою протікає реактивна потужність  $Q$ , визначаються як

$$\Delta P = d \cdot \Delta U_* \cdot Q, \quad (1)$$

де  $\Delta U_* = \frac{\Delta U}{U}$  – відносні спади напруги;  $U$  – напруга у вузлі навантаження;  $d$  – коефіцієнт, який визначається параметрами ділянки ЕМ.

Як видно з (1)  $\Delta U_*$  дозволяє оцінювати не тільки спади напруги, а й втрати активної потужності під час передачі  $Q$ . Це дозволяє використовувати значення  $\Delta U_*$  в розрахунках компенсації реактивної потужності в ЕМ. Очевидно, що в першу чергу установлювати КУ необхідно у вузлах із максимальним значенням  $\Delta U_*$ .

Розглядається оптимізація впровадження КУ в ЕМ шляхом їх поетапного установлення. Вважається, що установлення КУ можливе тільки на стороні низької напруги трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.

Розбивається процес оптимізації на  $g$  етапів. Максимальне зниження втрат на  $i$ -ому етапі установлення КУ в ЕМ визначається перебором усіх можливих місць установлення КУ

$$\Delta U_{*i}^{\max} \in \max_{j=1}^n (\Delta U_{*j}), \quad i = \overline{1, g} \quad (2)$$

де  $g$  – кількість етапів устанавлення КУ;  $n$  – кількість вузлів навантаження, в яких устанавлюється КУ.

При переборі здійснюється перевірка виконання наступних обмежень:

1) неможливість зворотних перетоків реактивної потужності

$$\sum_{i=1}^g Q_{kij} < Q_{pj}, \quad (3)$$

де  $Q_{kij}$  – потужність КУ, устанавленої в  $j$ -ому вузлі на  $i$ -ому етапі устанавлення;  $Q_{pj}$  – розрахункове реактивне навантаження  $j$ -ого вузла;

2) вузли із недопустимими значеннями напруги виключаються

$$U_j^{\min} \leq U_j \leq U_j^{\max}, \quad (4)$$

де  $U_j^{\min}, U_j^{\max}$  – відповідно мінімальне і максимальне допустиме значення напруги у  $j$ -ому вузлі навантаження.

Кількість етапів визначається як

$$g = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{pj}}{Q_{kij}}. \quad (5)$$

Результати практичних розрахунків показали:

- послідовності устанавлення КУ, визначені існуючим [6] і запропонованим методами, співпадають;

- запропонований метод забезпечує задане допустиме значення відносного спаду напруги.

### Висновки

1. Обґрунтовано використання відносних спадів напруги як інтегральних показників, які дозволяють одночасно оцінювати втрати активної потужності під час передачі реактивної і спади напруги.

2. Розроблено метод поетапного устанавлення КУ, який на відміну від відомих, дозволяє спростити процес оптимізації шляхом її лінеаризації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
2. Мельников Н.А. Электрические сети и системы. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.
3. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
4. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 200 с.
5. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
6. 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. – С. 38 - 44.

**Півнюк Юрій Юрійович** – аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pivnjuk-jurijj@rambler.ru.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Pivniuk Yuriy Yu.** – Post-Graduate student of Chair of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pivnjuk-jurijj@rambler.ru.

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — Dr. Sc.(Eng.), Professor, Head of Chair of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТІКАНЬ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТЕЙ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ЗАСОБАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

В роботі, на підставі методу невизначених множників Лагранжа розроблено математичну та цифрову моделі оптимального розподілу активного та реактивного навантаження ЕМ між розосередженими джерелами електроенергії. Завдяки цьому отримано метод формування перспективного плану розвитку електричних мереж з поетапним визначенням оптимальних місць приєднання ВДЕ.

**Ключові слова:** відновлювальна енергетика, електричні мережі, «зелений» тариф, електричні мережі.

## Abstract

The paper, based on the Lagrange multiplier Lagrange developed mathematical models and optimal distribution of digital active and reactive load EM between dispersed sources of electricity. Thanks to this obtained by forming long-term plan of electrical networks phased determining optimal locations joining RES.

**Keywords:** renewable energy, electric networks, "green" tariff, electricity networks.

## Вступ

Розвиток відновлювальної енергетики в Україні призводить до появи нових, не типових задач проектування та експлуатації для місцевих електричних мереж (ЕМ) напругою 10-35 кВ.

Враховуючи державну підтримку розбудови відновлюваної енергетики, питанням проектування та експлуатації таких станцій приділено достатньо уваги. Однак, розглядаючи проблему інтеграції розосередженого генерування в електроенергетичну систему України, науковці часто нехтують питаннями оптимізації перспективного плану розвитку електричних мереж ліцензіатів з передачі електроенергії. Задача є достатньо складною та багатофакторною, оскільки передбачає комплексну оптимізацію параметрів та розташування відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ), місць їх приєднання до ЕМ та резервування, а також планування заходів з розвитку та реконструкції електромереж. З огляду на забезпечення ефективної роботи останніх, необхідно враховувати вплив ВДЕ на надійність електропостачання споживачів та транспортування виробленої електроенергії, на якість електроенергії в ЕМ та на втрати електроенергії. Крім того, має враховуватися короткострокова динаміка тарифів енергоринку та довгострокова динаміка «зеленого» тарифу.

## Результати дослідження

Таким чином, дослідження умов оптимального розподілу потужностей ВДЕ у електричних мережах ліцензіатів з передачі електроенергії враховуючи перспективний план розвитку цих мереж є досить актуальною задачею.

У випадку планування перспективного розвитку електричних мереж за умов необхідності підключення нових потужностей генерування ВДЕ, доцільно переходити до розв'язання комплексної задачі їх підключення до електричних мереж з метою зменшення втрат активної потужності на передачу електроенергії та вирівнювання режиму напруг у вузлах схеми.

При цьому приєднання нових потужностей генерування відбувається поетапно відповідно до перспективного плану розвитку електромережі. Оцінити вплив приєднання на втрати активної потужності можна за допомогою матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужностей [1]. Вказані коефіцієнти характеризують вплив потужностей вказаного вузла на втрати активної потужності у вітках заступної схеми ЕМ.

Для оцінювання ефективності варіантів під'єднання нових потужностей генерування з використанням матриці  $\mathbf{T}$  за критерієм мінімуму втрат активної потужності необхідно на



початковому етапі сформувавши перелік вузлів  $\theta_v$  до яких можливе приєднання ВДЕ. З переліку вузлів  $\theta_v$  обирається такий, якому відповідає найменше значення коефіцієнта впливу потужностей вузлів на втрати активної потужності у ЕМ:

$$\dot{\mathbf{T}}_{\Sigma} = \dot{\mathbf{T}}_t \cdot \mathbf{n}_v \quad (1)$$

де  $\dot{\mathbf{T}}_t$  – транспонована матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності;

$\mathbf{n}_v$  – одиничний вектор стовпець, який має розмірність по кількості вузлів у схемі .

Введення нових потужностей у обраний вузол забезпечить, з певним допущенням, мінімум втрат активної потужності.

Вектор  $\dot{\mathbf{T}}_{\Sigma}$  має розмірність за кількістю вузлів. Кожен його елемент відповідає частці втрат потужності від навантаження вузла, відповідно до номеру стовпця даного елемента.

Як показано у [2], елементи матриці  $\dot{\mathbf{T}}$  є коефіцієнтами чутливості втрат потужності в  $i$ -й вітці до зміни потужності в  $j$ -му вузлі. Оскільки вектор  $\dot{\mathbf{T}}_{\Sigma}$  складається з суми елементів матриці  $\dot{\mathbf{T}}_t$  (по стовпцях), то він є вектором чутливості. Він характеризує зв'язок між змінами потужності у вузлах та приростом сумарних втрат потужності у схемі електричної мережі. Використовуючи коефіцієнт  $T_i$  можна оцінити на скільки зміняться загальномережеві втрати за рахунок запланованого приєднання ВДЕ.

Оскільки вказані коефіцієнти чутливості дозволяють оцінити також вплив зміни реактивних потужностей у вузлах споживання або генерування на режим роботи електричної мережі є доцільним їх застосування і для оцінювання впливу ВДЕ на режими напруг у вузлах схеми.

Використовуючи вектор коефіцієнтів чутливості комплексну задачу оптимізації запланованого підключення ВДЕ до електричних мереж з метою зменшення втрат активної потужності на передачу електроенергії та вирівнювання режиму напруг у вузлах схеми можна сформулювати таким чином:

мінімізувати:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n P_i (T_i' - T_i'' \cdot k_{tg\phi_i}) + \Delta P_{ЦЖ} + \Delta P_{УК} \rightarrow \min \quad (2)$$

де  $P_i$  – потужності керованого ВДЕ або споживача,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$k_{tg\phi_i}$  – доцільний коефіцієнт потужності джерела енергії або споживача;

$\Delta P_{ЦЖ}$  – втрати активної потужності в електричній мережі викликані перетіканнями з центру живлення;

$\Delta P_{УК}$  – втрати активної потужності в електричній мережі викликані перетіканнями з умовно керованих ВДЕ;

$T_i'$ ,  $T_i''$  – коефіцієнти розподілу втрат потужності.

з урахуванням балансових обмежень:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i - P_{ЦЖ} &= 0; \\ \sum_{i=1}^n (P_i \cdot k_{tg\phi_i}) - Q_{ЦЖ} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

де  $P_{ЦЖ}$ ,  $Q_{ЦЖ}$  – активна та реактивна потужності, що надходять у мережу із центру живлення.

З розв'язку задачі (2), отримано рішення, якому відповідає умова рівності між собою коефіцієнтів розподілу втрат потужності :

$$T_i'' = \lambda_Q = idem; \quad T_i' = -\lambda_P = idem.$$

З отриманого розв'язку задачі комплексної оптимізації видно, що оптимальним розподілом сукупності нових потужностей генерованих ВДЕ, відповідно до перспективного плану розвитку на

кожному етапі та обраних критеріїв оптимізації, буде такий, що відповідає однаковим коефіцієнтам чутливості втрат по вузлах заступної схеми ЕМ.

#### **Висновки**

Розв'язок задачі оптимізації перетікань активної та реактивної потужностей у розподільних електричних мережах дозволяє визначити оптимальні місця розташування та встановлену потужність ВДЕ у локальній електричній системі з урахуванням позитивного ефекту від їх сумісної експлуатації. Запропонована цільова функція враховує показники якості електроенергії, недотримання яких різко віддаляє отриманий розв'язок від оптимуму функції.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.

2. Лежнюк П. Д. Оцінка чутливості втрат потужності в електричних мережах: монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Лесько. – Вінниця, ВНТУ, 2010. — 120 с.

3. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А., Матрицы и вычисления.– М.: Наука, 1984.– 320 с.

*Анна Миколаївна Герей* – студентка групи ЕС-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [anna\\_gerey@ukr.net](mailto:anna_gerey@ukr.net);

Науковий керівник: *Олександр Борисович Бурикін* — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Anna M. Gerey* - Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [anna\\_gerey@ukr.net](mailto:anna_gerey@ukr.net);

Supervisor: *Alexander E. Burykin* - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі розглядається алгоритм формування цінових заявок блоків електростанцій з урахуванням експлуатаційних витрат, пов'язаних з транспортуванням електроенергії електричними мережами енергетичної системи. Це дозволяє вдосконалити процес розподілу навантажень об'єднаної електроенергетичної системи між електричними станціями, підвищити ефективність функціонування ринку електроенергії та окремих його суб'єктів.*

**Ключові слова:** балансуєчий ринок електроенергії, транспортування електроенергії, втрати електроенергії, електрична станція, цінова заявка

### *Abstract*

*The given article considers the algorithm of price applications formation of power plants units, taking into consideration operation expenditures, connected with the transmission of electric power by electric grids of electric power system. It enables to improve the process of distribution of unified electric power system loads among power plants, improve operation efficiency of electric power market and its separate entities.*

**Keywords:** balancing market of electric power, transmission of electricity, power losses, power plant, price application

### **Вступ**

Задачі вибору оптимального складу енергогенерувального обладнання займають важливе місце в забезпеченні якості функціонування електроенергетичних систем. Вони повинні розв'язуватися з урахуванням заявлених тарифів на електроенергію виробників, запланованих обсягів її постачання, витрат на її транспортування, прогнозованих графіків електроспоживання, стану енергогенерувального обладнання, необхідних обсягів резервування потужності для забезпечення надійного й стійкого функціонування об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, а також її паралельної роботи з енергосистемами суміжних держав [1]. Тому для вдосконалення планування режимів ЕЕС та оперативного керування ними, де від адекватності вхідної інформації та швидкості розв'язання аналітичних та оптимізаційних задач залежить якість прийнятих рішень, необхідно розробляти відповідні методи й засоби.

### **Результати дослідження**

Відомо, що з 1 липня 2017 року запроваджується повномасштабний ринок електричної енергії, в тому числі такі його складові: ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед», балансуєчий ринок [1, 2]. У новій схемі продажу електроенергії потужні споживачі отримують право укладати прямі двосторонні договори з електричними станціями на постачання електроенергії. Обласні енергопостачальні компанії зможуть встановлювати ціну на електроенергію і укладати прямі договори з окремими споживачами. Іншим споживачам відпускатиметься електроенергія з балансуєчого ринку.

При формуванні цін для таких споживачів, як і в сучасних умовах функціонування енергоринку, необхідно враховувати, що їх навантаження забезпечується сукупністю блоків електростанцій. При цьому, кожен виробник заявляє свою ціну на відпущену електроенергію певного блока. Тому перехід до системи двосторонніх договорів пов'язаний з необхідністю визначення частки кожного джерела в покритті навантаження окремого споживача (енергопостачальної компанії), і, на цій

підставі, мінімальної ціни, яку споживач повинен сплачувати за отриману електроенергію.

Таким чином, необхідно вдосконалювати методику формування цінових заявок, врахувавши витрати на транспортування електроенергії мережами-транзитерами. Це призведе до зміни співвідношення вартості електроенергії окремих блоків для певних енергопостачальних компаній або кінцевих споживачів, що, в свою чергу, вплине на оптимальний розподіл навантаження між електричними станціями. Крім того, врахування в критерії оптимальності зазначеної задачі складової адресних втрат в електромережах, забезпечить передумови для її розв'язання у комплексі з актуальною задачею оптимізації потоків потужності у електричних системах за мінімумом втрат електроенергії [3].

Для уточнення ціни електроенергії блоків станцій з урахуванням складової витрат на її транспортування, можна застосувати вираз

$$C_{EC\_s} = \beta_s + \frac{\sum_{\ell \in N} \Delta P_{\ell(s,k)}^{op}}{P_k} \cdot C_{OP},$$

де  $\beta_s$  – середня відпускна ціна 1 кВт·год електроенергії джерела  $s$ ;  $\Delta P_{\ell(s,k)}^{op}$  – дійсна частина транзитної складової втрат потужності в електричній мережі  $\ell$ , що зумовлена протіканням струмового навантаження  $k$ -го споживача від джерела  $s$ ;  $c_{\ell}^{op}$  – середня вартість транспортування 1 кВт·год електроенергії мережею  $\ell$  з урахуванням впровадження заходів з оптимізації її режимів;  $N$  – множина електричних мереж, якими здійснюється транзит електроенергії;  $C_{OP}$  – єдиний оптовий тариф енергоринок.

Оскільки виробник може укласти договори на електропостачання з кількома споживачами, для яких витрати на транспортування електроенергії будуть різними, то ціна для окремого джерела (блоку електростанції) має коригуватися з урахуванням транзитних втрат до потенційних споживачів електроенергії.

## Висновки

Реалізація запропонованого підходу до коригування цінових заявок електричних станцій сприятиме комплексному підвищенню ефективності покриття сумарного навантаження енергосистеми за рахунок оптимізації переліку працюючих блоків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила Оптового ринку електричної енергії України. Затверджено Постановою НКРЕ 12.09.2003 N 921, Протокол Ради Оптового ринку електричної енергії України від 4 вересня 2003 р. № 14.
2. Про засади функціонування ринку електричної енергії України: закон України від 24 жовтня 2013 року № 663-VII [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://kodeksy.com.ua/pro\\_zasadi\\_funktsionuvannya\\_rinku\\_elektrichnoyi\\_energiyi\\_ukrayini.htm](http://kodeksy.com.ua/pro_zasadi_funktsionuvannya_rinku_elektrichnoyi_energiyi_ukrayini.htm)
3. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя; ред. П. Д. Лежнюк. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 212 с.

*Денис Павлович Ковальчук* – магістрант групи ЕСМ-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: daniel-kovalchuk@mail.ru;

Науковий керівник: *Віра Володимирівна Тептя* – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Denys P. Kovalchuk* – student of the Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: daniel-kovalchuk@mail.ru;

Supervisor: *Vira V. Teptia* - Candidate Sc. (Eng.), Ass. professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВО–РОЗПОДІЛЕНИМИ СИСТЕМАМИ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація:** Досліджено роботу структурних властивостей оптимального керування просторово-розподілених систем, що складаються з великої кількості неоднорідних, лінійних систем керування. Ці системи з'єднані між собою за допомогою просторово-орієнтованої автоматизованої системи керування алгоритм роботи якої використовує математичний апарат залежних функцій зв'язку довільних графів.

В статті проаналізовано властивості різних (лінійних, квадратичних) оптимізуючих контролерів для розподільних мереж з відновлюваними джерелами енергії а також досліджено приклади використання оператора Ляпунова та Риккати. Доведено, що ядро оптимального зворотного зв'язку кожної локальної підсистеми, розкладається на просторові області, які залежать від відповідної сукупності функцій системи.

**Ключові слова:** розосереджені джерела електричної енергії, локальні електричні системи, просторово-розподілені системи, відновлювальні джерела енергії.

**Abstract:** Work investigated the structural properties of optimal control of spatially distributed systems consisting of a large number of heterogeneous, linear control systems. These systems are interconnected by means of space-oriented automated control system algorithm which uses a mathematical device communication arbitrary functions dependent graphs.

The article analyzes the various properties (linear, quadratic) controllers for optimizing distribution networks from renewable energy sources as well investigated examples of Lyapunov and Riccati operator. It is proved that the core of optimum feedback each local subsystem decomposed is given to areas that depend on the respective set of system functions.

**Keywords:** dispersed source of electricity, the local electrical system, spatially distributed systems, renewable energy sources.

### Вступ

Аналіз і синтез систем керування розподіленим генеруванням та алгоритмів керування нею в динамічних розподільних електричних мережах свідчить проте що такі системи керування та алгоритми їх функціонування використовують методи та засоби теорії автоматичного керування.

У відомих дослідженнях розглядаються проблеми оптимального керування просторово-розподіленими системами які мають симетричну просторову структуру [1]. Так під час оптимального керування режимами ЛЕС можна використовувати просторове перетворення Фур'є для дослідження методів та засобів оптимального керування лінійними просторово-інваріантними системами зі стандартом  $\mathcal{H}_2$ , а також критерії  $\mathcal{H}_\infty$ . Відомо, що проблеми оптимального керування просторово-розподіленими системами можуть бути вирішені з використанням методів рішення параметризованих скінчено-вимірних завдань за допомогою Фур'є перетворення.

Автоматизовані системи оптимального керування режимами ЛЕС мають ті самі властивості, що і автоматизовані (базові) системи керування режимами розподільних електричних мереж (РЕМ). Так можна використовувати поняття квадратичної нечутливості для великої кількості обмежень як це запропоновано в [2] (наприклад, обмеження на кількість зв'язків споживача з джерелами електричної енергії та з системою автоматизованого керування режимами ЛЕС і ВДЕ).

### Результати дослідження

Проаналізуємо просторові структури множини меж оптимального керування просторово розподіленими системами.

В неоднорідних системах з довільною просторовою структурою квадратично-оптимальні системи керування успадковують ту ж просторову структуру, яка є у головних систем керування. Ключовим моментом [1] є те, що системи, не завжди є просторово інваріантними і відповідні оператори не є будь-якою сукупністю інваріант. Просторові структури [1] мають локальні компактні групи (LCA) [3], наприклад,  $(\mathbb{Z}, +)$  і  $(\mathbb{Z}_n, \oplus)$ .

Тому, при створенні групи, мають використовуватись правила утворення визначених груп. Однак, коли зміни окремих підсистем не однакові, і просторова структура містить не симетричні LCA групи, тоді стандартні інструменти такі, як Фур'є-аналіз не можуть бути використані для аналізу системи керування.

Для вирішення цієї проблеми, вводиться новий клас лінійних операторів, під назвою просторово-розподілені оператори (spatially decaying (SD) operator), як продовження лінійного перетворення інваріантних операторів. Такі оператори демонструють поведінку локальної системи в просторовій області.

Норма блоків в множині представлена шляхом розкладання множини на групи в просторі множини. Виявляється що зв'язок між підсистемами (групами) в багатьох відомих автоматичних системах контролю та керування характеризуються просторово-розподіленим оператором.

Лінійна система керування називається просторово затухаючою, якщо операторами зв'язку між блоками представленого простору є просторово-розподілені оператори.

Оптимальні системи керування просторово-розподіленими операторами і просторово локалізовані блоки при оптимальному керуванні здійснюють приріст підсистем, які розташовуються "далі" від заданої системи і зменшуються в просторі. Це дозволяє отримати, по суті локалізовану підсистему.

## Висновки

Методи виділення блоків в початковій множині, можуть бути використані для аналізу просторової структури більш широкої кількості систем оптимального керування, таких, наприклад, як систем обмеженого, кінцевого контролю меж множин або моделей інтелектуального керування просторово-розподілених систем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. B. Bamieh, F. Paganini, and M. A. Dahleh, "Distributed control of spatially invariant systems," IEEE Trans. Automatic Control, vol. 47, no. 7, pp. 1091–1107, 2002.
2. M. Rotkowitz and S. Lall, "A characterization of convex problems in decentralized control," IEEE Tran. on Automatic Control, vol. 51, no. 2, pp. 274 – 286, 2006.
3. W. Rudin, Fourier Analysis on Groups. Interscience, 1962.

*Матвеев Андрій Олександрович* — студент групи 1Е-13Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrej\_m2000@ukr.net;

Науковий керівник: *Олександр Євгенійович Рубаненко* — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Andrii O. Matveev* – Faculty electricity and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsa, e-mail: andrej\_m2000@ukr.net;

Supervisor: *Alexander E. Rubanenko* - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsa.

## ПРОЕКТУВАННЯ СОЛЯНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Запропонований проект встановлення сонячної електростанції у населених пунктах дозволить в певній мірі зменшити втрати в мережі де вона встановлюється, а також можливість часткового або повного електроживлення обраних споживачів.

**Ключові слова:** сонячна енергія, електростанція, втрати, сонячні батареї

### Abstract

The proposed project is installation of solar power plants in the settlements will to some extent reduce losses in the network where it is established and the possibility of a partial or full electrical power supply selected customers.

**Keywords:** solar energy, power station, losses, solar panels.

### Вступ

Сонце являється найпотужнішим джерелом відновлювальної енергії [1]. Одним з найпоширеніших способів отримання альтернативної енергії є сонячні електростанції. Для отримання сонячної енергії використовуються сонячні батареї, які об'єднують у так звані сонячні електростанції (СЕС). Сонячні електростанції працюють в будь-якому місці, де світить сонце, незалежно від наявності ЛЕП (ліній електропередач). Додатковим плюсом будівництва СЕС є «зелений» тариф, який дозволяє заробляти від продажу електроенергії.

Метою роботи є проектування СЕС для встановлення в населеному пункті, а також визначення доцільності даного проекту.

### Результати дослідження

Сонячна станція встановлюється біля навантаження, на високій стороні підстанції. Це забезпечить зменшення втрат в даній електричній мережі за рахунок зустрічного перетоку потужності. Приєднання СЕС зображено на рис. 1.

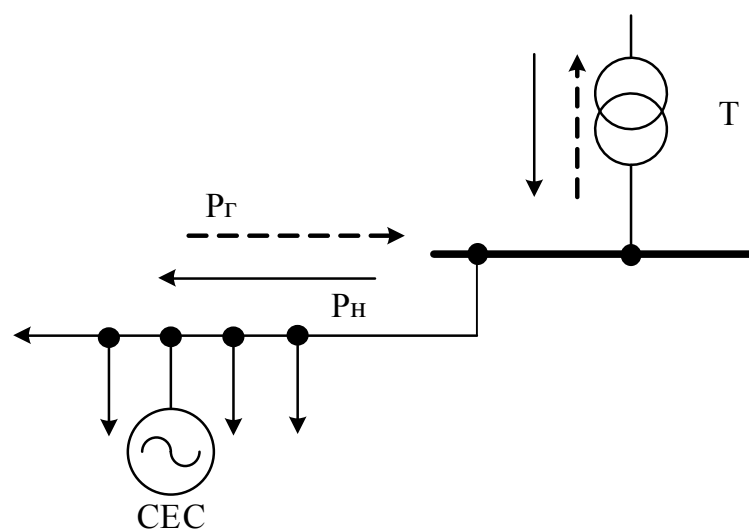


Рисунок 1— Приєднання СЕС до мережі

Розглянемо спосіб підключення на низькій стороні підстанції (див. рис. 2). Даний спосіб також

зменшує втрати, але тільки в трансформаторі. Даний спосіб підключення СЕС є менш доцільним.

СЕС встановлюється в населеному пункті для електропостачання об'єктів в періоди, коли в мережі відсутня напруга або її потужність недостатня

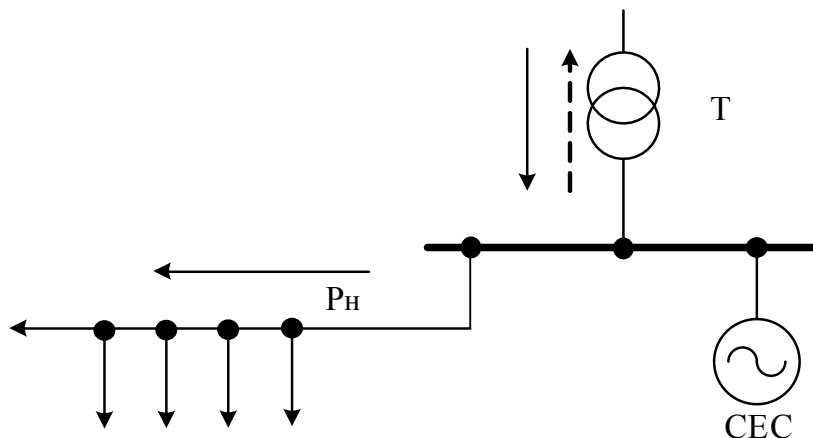


Рисунок 2— Приєднання СЕС до підстанції



Рисунок 3 — Сонячна електростанція

## Висновки

Запропонований проект встановлення сонячної електростанції дозволить в певній мірі зменшити втрати в мережі де вона встановлюється, а також забезпечить електропостачання об'єктів в періоди, коли в мережі відсутня напруга або її потужність недостатня

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фолькер В.С. Системы возобновляемых источников энергии/ В.С. Фолькер – М.: ОАО «Фолиант», 2013. – 49 с.

**Панячук Максим Ігорович** — студент групи 2Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pan1maks@gmail.com.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Panianchuk Maksim Igorovich** — student group 2E-12b, faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: pan1maks@gmail.com.

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — D Dr. Sc. , Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Запропонована концепція, встановлення вітрових електростанцій в населених пунктах, дозволить частково зменшити втрати в тих частинах районної мережі, де вона встановлюється, і забезпечить автономію населеного пункту в плані постачання електроенергії.

**Ключові слова:** вітер, електростанція, втрати, автономія, електроенергія.

### Abstract

The proposed concept of the establishment of wind farms in the settlements, will partially reduce losses in those parts of the district network, where it is established, and ensure that the autonomy of the settlement in terms of supply.

**Keywords:** wind, power station, losses, autonomy, electricity.

### Вступ

Вітроенергетика є способом отримання електричної енергії за допомогою вітру. Засоби отримання енергії вітру - вітротурбіни (вітрогенератори, вітрові установки), які об'єднують у так звані вітроелектростанції (ВЕС). Вітроенергетика - галузь відновної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Це один з тих способів використання енергії навколишнього середовища, що був відомий з давніх часів [1]. ...

Метою роботи є проектування ВЕС для встановлення в населеному пункті, а також визначення економічної доцільності даного проекту.

### Результати дослідження

Вітрова установка марки Concord серії ТГ-2500 встановлюється біля навантаження, на низькій стороні підстанції. Це забезпечить зменшення втрат в даній електричній мережі за рахунок зустрічного перетoku потужності. Приєднання ВЕС зображено на рис.1.

$$\Delta P = \frac{(P_H - P_T)}{U^2} \cdot R^2 \quad (1)$$

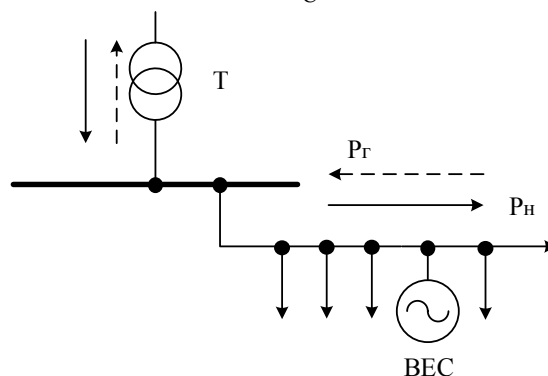


Рисунок 1— Приєднання ВЕС до мережі

Розглянемо спосіб підключення на низькій стороні підстанції (див. рис. 2). Даний спосіб також зменшує втрати, але тільки в трансформаторі. Такий спосіб підключення ВЕС є менш доцільним.

Встановлення ВЕС в населеному пункті забезпечить автономність в електропостачанні, це дасть змогу основним споживачам в населеному пункті користуватися електричною енергією при відключенні чи аварії на лінії, яка підходить до підстанції.

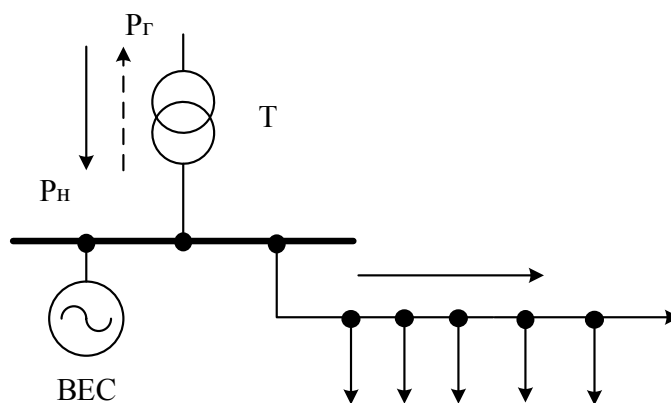


Рисунок 2— Приєднання ВЕС до підстанції



Рисунок 3 — Concord серії ТГ-2500

### Висновки

Оптимальний варіант встановлення ВЕС біля споживача— це забезпечить максимальний результат в плані зменшення втрат.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фолькер В.С. Системы возобновляемых источников энергии/ В.С. Фолькер – М.: ОАО «Фолиант», 2013. – 34 - 40, 56 - 59 с.

**Вадим Михайлович Вавико** — студент групи 2Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vadim3216@rambler.ru.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Vavshko Vadim M.** — student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: vadim3216@rambler.ru.

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — D Dr. Sc. , Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## СПОСІБ УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СПОЖИВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У даній роботі вирішуються актуальні питання організації планування та забезпечення оперативного керування умовно-керованими РДЕ з метою отримання максимального прибутку від їх експлуатації та гармонізації впливу на режими електромереж

**Ключові слова:** сонячні електричні станції, РДЕ, ліній електропередач, електричні мережі.

### Abstract

In this paper we solve current issues of planning and ensuring operational keruvannya DSE conventionally managed to obtain the maximum profit from their use and accordintion influence on modes of electric power.

**Keywords:** Solar Power Plants, DSE, power lines, electricity networks.

### Вступ

Для забезпечення ефективної роботи умовно-керованих РДЕ, наприклад сонячних електростанцій, необхідно враховувати їх вплив на надійність електропостачання споживачів та якість електроенергії відпущеної споживачам. Це є досить складною задачею, зважаючи на імовірнісний характер режимів роботи таких джерел, який значно ускладнює організацію оперативного керування режимами електричних мереж (ЕМ), внаслідок неможливості дотримання умовно-керованими РДЕ заданого графіка видачі потужності, без додаткових інвестиційних витрат на акумулювання електроенергії.

### Результати дослідження

Таким чином, метою роботи є вирішення актуальних питань організації планування та забезпечення оперативного керування умовно-керованими РДЕ з метою отримання максимального прибутку від їх експлуатації та гармонізації впливу на режими електромереж.

Для узгодження графіків генерування розосереджених джерел енергії з електроспоживанням РЕМ в роботі пропонується спосіб приєднання інверторів паралельно на дві системи шин, з використанням електронних ключів відповідної потужності або керованого комутаційного обладнання 0,4 кВ, та встановлення автоматів зворотної потужності (АЗП) (рис.1). Така структурна схема сонячної електростанції дозволить виконувати оперативне узгодження графіка видачі потужності на одній із систем шин з локальним навантаженням за рахунок перерозподілу потужностей з виходів інверторів між секціями шин електричної станції.

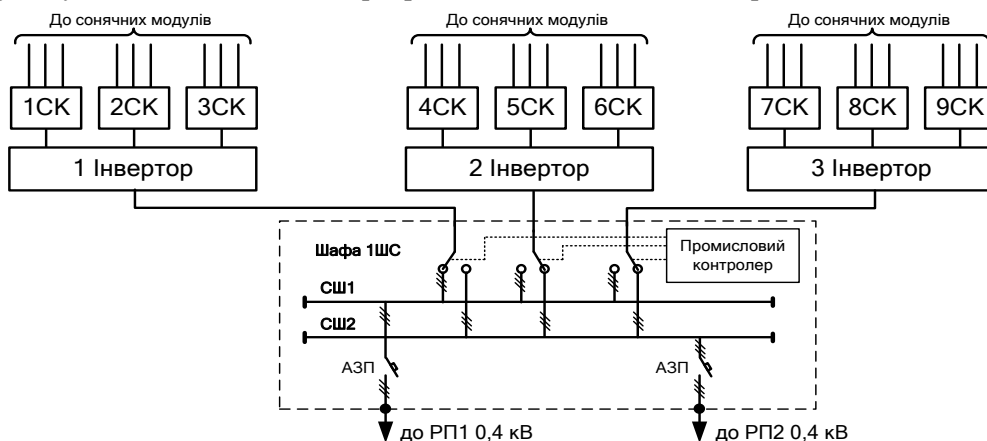


Рис. 1. Структурна схема сонячної електростанції з резервною схемою видачі потужності та узгодженням видачі потужності

## Висновки

Застосування запропонованого способу узгодження графіків генерування умовно-керованих РДЕ з місцевим електроспоживанням дозволить підвищити надійність функціонування системи електропостачання РЕМ, покращити показники якості електроенергії та дасть можливість оперативного керування режимами роботи розосередженого генерування без погіршення їх прибутковості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлювальними джерелами енергії [Текст] / Бурикін О.Б., Малогулко Ю.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніката електротехнології». – 2013. – №2 - Вип. 15 (338). – С. 42-46. - ISSN 2074-2630.

2. Кулик В.В. Оптимізація перетікань активної та реактивної потужностей у розподільних електромережах засобами розосередженого генерування [Текст] / Кулик В.В., Бурикін О.Б., МалогулкоЮ.В. // Вісник ВПІ. Енергетика та електротехніка. – 2014. - №1. – С. 90-93. -ISSN: 1997-9274.

3 Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами: Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008 –123с.

**Бурлак Наталія Юріївна** – студентка групи ЕС-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [burlak\\_natali@ukr.net](mailto:burlak_natali@ukr.net);

Науковий керівник: **Олександр Борисович Бурикін** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Natalia Y. Burlak** - Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [burlak\\_natali@ukr.net](mailto:burlak_natali@ukr.net);

Supervisor: **Alexander E. Burykin** - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.

# ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розглянуто основні умови пошуку оптимальних місць під'єднання нетрадиційних і відновлювальних джерел електроенергії з метою забезпечення якісного, надійного та оптимального, з точки зору зменшення втрат активної потужності, функціонування електричних мереж.

**Ключові слова:** відновлювальні джерела електроенергії, потужність, втрати потужності.

## Abstract

It was considered basic search the best places to connect alternative and renewable energy sources to ensure high quality, reliable and optimal in terms of reducing the loss of active power operation of electrical networks.

**Keywords:** renewable electricity, power, power losses.

## Вступ

Недослідженість питань проектування та експлуатації розподілених джерел електричної енергії (РДЕ) в сучасних умовах, їх впливу на режими роботи електричних мереж, неузгодженість номінальних параметрів основного обладнання з потребами таких джерел, відсутність типових рішень стосовно засобів захисту та автоматизації процесу виробництва електроенергії не дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення під час їх розбудови, крім того не дозволяє ефективно їх експлуатувати[1]. Тому, актуальним є розвиток методичного, інформаційного і технічного забезпечення їх експлуатації. Важливим в цьому напрямку є комплексність і методологічна єдність в прийнятті рішень щодо покращення експлуатаційних характеристик РДЕ при роботі їх в електричних мережах.

## Результати дослідження

З розбудовою в розподільних електричних мережах розосереджених джерел електроенергії (РДЕ) (рис. 1.) виникають нові задачі. Це необхідність оптимізації комбінованого електропостачання від ЕЕС і розосередженого генерування, узгодження покриття графіка навантаження розосередженими джерелами, які в силу своїх фізичних особливостей можуть видавати потужність за різними графіками, оцінка впливу РДЕ на значення струмів короткого замикання і, відповідно, на роботу релейного захисту та автоматики, оцінка впливу на техніко-економічні показники РЕМ, тощо.

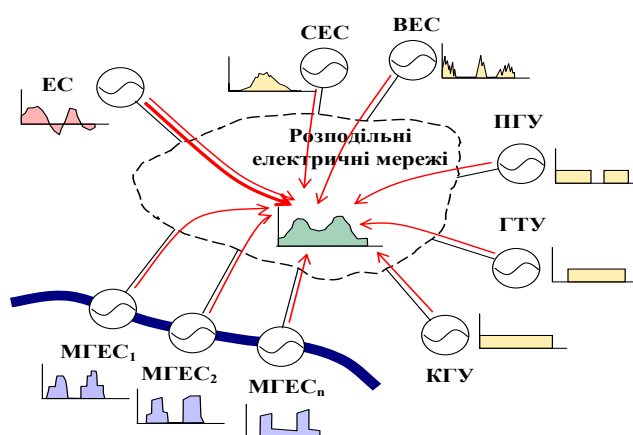


Рис. 1. Розподільні електричні мережі з комбінованим електропостачанням

Вплив РДЕ на режими РЕМ суттєво залежить від значення сумарного розосередженого генерування в ній, від одиничної встановленої потужності РДЕ та їх типу, а також від їх місця під'єднання в електричній мережі (це можуть бути шини нижчої напруги підстанцій або відгалуження ліній електропередачі).

У [2], запропоновано методу визначення оптимальних місць під'єднання, що базується на використанні коефіцієнтів чутливості втрат потужності від навантажень у вузлах.

$$\dot{T}_i = (\dot{U}_i M_{\Sigma_i}) \cdot \hat{C}_i \dot{U}_d^{-1}, \quad (1)$$

де  $U_i$  – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і балансувальні (тут і далі індекс “ $i$ ” означає, що матриця або вектор є транспонованими).  $M_{\Sigma_i}$  – вектор-стовпець матриці інцидентій, з'єднань віток у вузлах  $M_{\Sigma}$ ;  $C_i$  –  $i$ -й вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах  $J_{\Sigma}$  по вітках схеми;  $U_d$  – діагональна матриця напруг у вузлах без балансувальних вузлів;

Зауважимо, що коефіцієнти розподілу втрат залежать від параметрів заступної схеми, які за певних допущень можна вважати постійними, а також від значень напруги у вузлах ЕМ, які визначаються навантаженням і генеруванням у вузлах схеми. Таким чином нелінійність залежності втрат потужності в ЕМ від параметрів її режиму враховується. Визначення коефіцієнтів матриці  $T$  через поточні значення вузлових напруг по суті означає лінеаризацію режиму електричної мережі при зафіксованих потужностях у вузлах [3].

Таким чином, для випадку, коли зміна потужностей у вузлах ЕМ є незначною, тобто не викликає істотних (не більше 1%) відхилень напруги у вузлах, залежність втрат потужності в ЕМ від потужностей у її вузлах можна вважати лінійною

## Висновки

Для визначення оптимального місця приєднання ВДЕ за критерієм мінімальних додаткових втрат потужності в ЕМ розглянуто метод, який базується на аналізі чутливості втрат потужності в ЕМ та дозволяє однозначно характеризувати доцільність приєднання ВДЕ у заданому вузлі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк, П. Д. Определение и анализ потерь мощности от транзитных перетоков в электрических сетях энергосистем методом линеаризации [Текст] / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, А. Б. Бурыкин // Электрические сети и системы. – 2006. – №1. – С. 5–11.

2. Кулик В.В., Малогулко Ю.В., Магас Т.Є. [Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid](#) // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №4. – С. 1–6. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/download/1404/999>.

3. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. [Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами](#): Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. –123 с

*Ситник Артур Валерійович* — студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: *Лежнюк Петро Дем'янович* — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

*Artur Sitnik V.* — student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: *Lezhniuk Petro D.* — Dr. Sc., Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ЗАЛУЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ БАТАРЕЙ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З АСИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Розроблено автоматичний регулятор конденсаторних батарей асинхронних генераторів для управління незадіяною потужністю конденсаторних батарей асинхронних генераторів.*

**Ключові слова:** компенсація реактивної потужності, конденсаторні батареї, малі гідроелектростанції.

## Abstract

*An automatic regulator of condenser batteries of asynchronous generators for the management of unused power of condenser batteries of asynchronous generators was developed.*

**Keywords:** reactive power compensation, condenser batteries, small hydropower station.

## Вступ

Компенсація реактивної потужності (КРП) є одним з ефективних шляхів зниження втрат електроенергії у розподільних електричних мережах (РЕМ). Але впровадження компенсуючих установок (КУ) в ці мережі проводиться повільно, що зумовлено значними затратами на установлення і експлуатацію КУ. КРП в РЕМ також можна проводити шляхом підвищення ефективності використання КУ, які установлені в РЕМ. Зокрема для цього можна використати конденсаторні батареї (КБ) асинхронних генераторів (АГ) на малих гідроелектростанціях (МГЕС).

## Результати дослідження

Найчастіше МГЕС працюють у режимі періодичних вмикань на постійну потужність у періоди часу, що відповідають максимальному навантаженню енергосистеми [1]. В інші періоди часу МГЕС не працюють і відповідно не працюють КБ, незадіяну потужність яких можна використати для КРП РМ.

Для управління незадіяною потужністю КБ АГ розроблено автоматичний регулятор КБ АГ [2].

На рис.1 представлено блок-схему пристрою, на якій: 1 – давач вхідної реактивної потужності; 2 – реагуючий орган; 3 – задавач уставок; 4 – автоматичний перемикач уставок; 5 – орган витримки часу; 6 – блок аналізу втрат і визначення місця комутації;  $7_1, 7_2, \dots, 7_n$  – давачі реактивної потужності, встановлені у вузлах мережі, де розміщені КБ; 8 – блок квадраторів; 9 – блок масштабних підсилювачів;  $10_1, 10_2, \dots, 10_n$  – виконуючі органи для ввімкнення або вимкнення КБ;  $11_1, 11_2, \dots, 11_n$  – перша група електронних ключів;  $12_1, 12_2, \dots, 12_n$  – друга група електронних ключів; 13 – блок визначення стану генератора; 14 – блок визначення надлишку реактивної потужності КБ; 15 – блок визначення еквівалентного опору; 16 – блок вибору величини потужності КБ, яка підлягає розподілу; 17 – блок обернено пропорційного розподілу; 18 – блок визначення доцільної потужності КБ; 19 – логічний елемент 2І; 20 – діод.

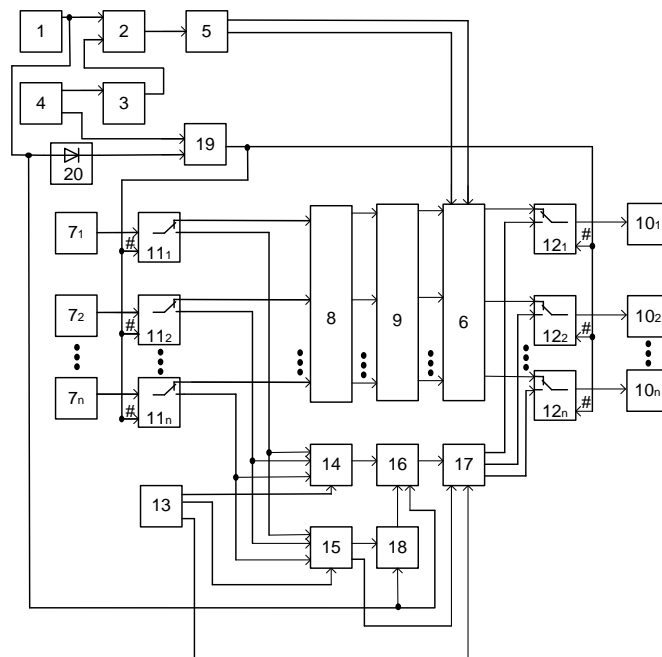


Рис. 1 – Блок схема пристрою

### Висновки

1. Розроблений пристрій дозволяє підвищити ефективність використання КБ АГ.
2. Запропоноване управління КБ АГ дає можливість одержати додаткове зменшення втрат потужності у РЕМ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П.Д. Компенсація реактивної потужності асинхронних генераторів на малих гідроелектростанціях / П.Д. Лежнюк, О.В. Нікіторович, Жан-П'єр Нгома // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – №2.
2. Пат. 92012 Україна, МПК G05F 1/70. Автоматичний регулятор конденсаторних батарей асинхронних генераторів. / П.Д. Лежнюк, Ю.Ю. Півнюк, О.Д. Демов; Вінницький національний технічний університет. – № u2014 01876; Заявл. 25.02.2014; Опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14.

**Півнюк Юрій Юрійович** – аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pivnjuk-jurijj@rambler.ru.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Pivniuk Yuriy Yu.** – Post-Graduate student of Chair of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pivnjuk-jurijj@rambler.ru.

Supervisor: **Lezhniuk Petro D.** — Dr. Sc.(Eng.), Professor, Head of Chair of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В даній роботі розглянуто види електродвигунів, які використовуються для забезпечення власних потреб.*

**Ключові слова:** власні потреби, асинхронні двигуни, станція.

### *Abstract*

*In this paper we consider the types of motors used for their own needs.*

**Keywords:** own needs, asynchronous motors, station.

### Вступ

Установки власних потреб є важливим елементом електростанцій і підстанцій. Пошкодження в системі власних потреб неодноразово приводили до порушення роботи електростанцій і до аварійного стану енергосистем [1].

Склад електроприймачів власних потреб залежать від типу електростанції (підстанції), від палива, потужності агрегатів та іншого.

Вибір схем електроустановок для власних потреб проводять з урахуванням складу і характеристик електроприймачів, потужності приводних механізмів, вимог до надійності електропостачання окремих груп споживачів та іншого.

Основним механізмом власних потреб є асинхронні короткозамкнені електродвигуни різного виконання з прямим пуском. Для тихохідних механізмів (пластові млини), а також для дуже потужних механізмів знаходять застосування синхронні електродвигуни. Для механізмів, які потребують регулювання частоти звернення в широких межах, застосовують двигуни постійного струму, а також асинхронні двигуни з тиристорним керуванням.

### Результати дослідження

Асинхронні електродвигуни змінного струму знайшли широке застосування в багатьох галузях народного господарства. Найбільшого поширення набули трифазні асинхронні електродвигуни з коротко- замкнутим ротором. Ці електродвигуни в порівнянні з іншими електродвигунами змінного струму - синхронними і асинхронними з фазним ротором, мають ряд переваг: простота пуску і обслуговування, можливість самозапуску, тобто розвороту включених електродвигунів до нормальних обертів при появі напруги в мережі живлення, можливість автоматизації наведених ними механізмів, підвищена надійність і відносна дешевизна.

На теплових електростанціях асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором застосовуються в якості приводу для більшості механізмів власних потреб(в.п.).

У асинхронному електродвигуні, як відомо, ротор обертається дещо повільніше, ніж магнітне поле статора, тобто відстає від нього внаслідок гальмуючої дії приводного механізму і тертя в самому електродвигуні. При цьому обмотка ротора перетинається силовими лініями магнітного поля статора і в ній виникають струми, що залежать від цької гальмуючої дії.

Двошвидкісні асинхронні електродвигуни напругою 6 кВ одержали широке поширення на потужних теплових електростанціях. Вони застосовуються в якості приводу для димососів, дутьових вентиляторів і циркуляційних насосів. Ці електродвигуни виконуються з двома незалежними

статорними обмотками, кожна з яких підключається до шин с. н. 6 кВ через окремий вимикач, причому обидві статорні обмотки одночасно не включаються, для чого передбачена спеціальна блокування в схемах керування вимикачем двошвидкісного електродвигуна. Застосування двошвидкісних електродвигунів для зазначених механізмів обумовлено тим, що вони є досить потужними споживачами електроенергії в системі в. п. З метою економії електроенергії на в. п. електростанції передбачається робота цих механізмів з різною швидкістю (потужністю) відповідно до навантаженням котла і турбіни.

Синхронні двигуни, як зазначено вище, мають досить обмежене застосування для механізмів в. п. теплових електростанцій. Вони використовуються для тихохідних млинів типу ШБМ-50, оскільки для них необхідні потужні електродвигуни змінного струму на малу частоту обертання - 100 об / хв. Вони також встановлюються в якості приводу для компресорів, для яких потрібно електродвигун з постійною частотою обертання. Такою властивістю володіють тільки синхронні електродвигуни [2].

### Висновки

Електродвигунами власних потреб приймаються, як правило, асинхронні з короткозамкненим ротором. Синхронні електродвигуни застосовуються для великих механізмів власних потреб, у випадках, коли це дає техніко-економічні переваги[3].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електронний ресурс: <http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/fepes/elektropostach/2013/13-42/page28.html>
2. Байтер И. И Защита и АВР электродвигателей собственных нужд. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия\* 1980.—104 с.
3. Електронний ресурс: <http://www.ngpedia.ru/id612536p1.html>

**Костяєва Марія Сергіївна** –студентка кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. [margo65@mbox.vn.ua](mailto:margo65@mbox.vn.ua)

Науковий керівник: **Остра Наталія Вікторіна** – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Maria S. Kostayeva** - student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Natalya V. Ostra** - candidate of technical sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ОСНОВІ ГРАЛЬНИХ МЕТОДІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Показано, що оптимальну ступінь компенсації реактивної потужності промислових споживачів з врахуванням впливу реактивними навантаженнями комунально-побутових споживачів можна доцільно визначати на основі гральних методів.*

**Ключові слова:** компенсація реактивної потужності, електричні мережі, гральні методи.

### *Abstract*

*It is shown that the optimal level of reactive power compensation Incl industrial consumers account the impact of jet - loads of communal consumers can be advisable to determine on the basis of gaming methods.*

**Keywords:** compensation of jet power, distributive networks, gaming methods.

### **Вступ**

Компенсація реактивної потужності є одним з ефективних заходів зниження втрат електроенергії в розподільних мережах енергопостачальних компаній (ЕК). Величина зменшення втрат від установлення компенсуючих установок (КУ) в розподільних мережах ЕК залежить не тільки від реактивних навантажень комунально-побутових споживачів, а і від реактивних навантажень промислових споживачів, які живляться від цих мереж [1-3]. Причому величина реактивних навантажень цих споживачів на перспективу визначається неоднозначно, оскільки це зв'язано з загальним економічним станом споживачів, який в ринкових умовах однозначно не прогнозується. Тобто між ЕК та промисловими споживачами, які живляться від цих мереж, в процесі впровадження КУ складається «гральна ситуація». Це зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК.

Метою роботи є аналіз впливу КУ промислових споживачів на втрати, які створюють реактивні навантаження комунально-побутових споживачів на основі гральних методів.

### **Результати дослідження**

Розглянемо можливість впровадження КУ в мережі ЕК на основі гральних методів [4]. Нехай в ролі гравця В виступає промисловий споживач, а гравця А – комунально-побутовий споживач. В якості виграшу вибираємо зниження втрат в мережі ЕК  $\delta P_{AB}$ .

Установлення КУ певної потужності в мережі комунально-побутового споживача назвемо стратегією А, а установлення КУ в мережах промислового споживача назвемо стратегією В. Нехай є  $m$  можливих стратегій  $A_1, A_2, \dots, A_m$  у гравця А, а у гравця В відповідно  $B_1, B_2, \dots, B_m$ . Припустимо, що кожна сторона обрала якусь визначену стратегію: один гравець стратегію  $A_i$ , інший –  $B_j$ .

Якщо відомі значення  $\delta P_{AB}$  при кожній парі стратегій, то ці значення можна записати у вигляді платіжної матриці, стрічки якої відповідають стратегіям  $A_i$ , а стовпчики – стратегіям  $B_j$ , таблиця 1

Таблиця 1 – Матриця гри промислових і комунально-побутових споживачів (платіжна матриця)

$A_i \backslash B_j$	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
$A_1$	$\delta P_{11}$	$\delta P_{12}$	...	$\delta P_{1n}$
$A_2$	$\delta P_{21}$	$\delta P_{22}$	...	$\delta P_{2n}$
...	...	...	...	...
$A_m$	$\delta P_{m1}$	$\delta P_{m2}$	...	$\delta P_{mn}$

Елементи цієї матриці визначають зниження втрат в мережі ЕК, які створюються накладання реактивних навантажень ЕК та промислового споживачів. Для ЕК оптимальному рішенню відповідає найбільше значення цього зниження. Це значення можна записати таким чином:

$$\delta P_{AB}^{opt} = \max_i \max_j \delta P_{ij} \quad (1)$$

### Висновки

Гральні методи дозволяють враховувати оптимальний вплив промислових споживачів на зниження втрат в живильних мережах ЕК при впровадженні КУ в розподільних мережах ЕК.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Толасов А. Г. Потери на транзит электроэнергии и их распределение между участниками энергообмена./ А.Г. Толасов // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 20–25.
3. Демов О.Д.. Розподіл втрат між споживачами від передачі реактивної потужності в мережах енергопостачальних компаній. / Демов О.Д.. Войнаровський А.Ж., Захаров В.В. //Промелектро.-2006.-№1.-с.35-38.
- 4.Дюбин Г. Н. Введение в прикладную теорию игр / Г. Н. Дюбин, В. Г. Суздаль. – М. : Наука, 1981. – 336 с.

**Олександр Дмитрович Демов** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email : demov@yandex.ru.

**Дарина Олексіївна Гаврилюк** — студент групи ЕСЕ-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Віталій Андрійович Коноплицький** — студент групи ЕСЕ-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Demov Alexander D.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: demov@yandex.ru.

**Havrylyk Daryna O.** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Konoplytsky Vitaliy A.** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

# ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*В роботі наведено аналіз використання альтернативних джерел енергії в промисловості, а також обґрунтовано вибір доцільних для вітчизняного виробництва сучасних нетрадиційних джерел енергії задля забезпечення енергозбереження країни.*

**Ключові слова:** альтернативні джерела енергії, поновлювані джерела енергії, енергоефективність, енергетика.

## *Abstract*

*It was provided in this work an analysis of using of alternative energy sources in the industry as well as reasonably feasible choice for modern native production of alternative energy sources to ensure energy saving in country.*

**Keywords:** alternative energy, renewable energy, energy efficiency, energy.

## Вступ

Неефективне використання енергетичних ресурсів, мале використання поновлюваних джерел енергії, неекономне чи нераціональне використання електроенергії підприємствами без використання альтернативних джерел змушують серйозно замислитись над проблемою заощадження енергії [1].

Як свідчать результати фактичної економії палива у вітчизняній економіці, потенціал освоєння нетрадиційних джерел енергії України використовується не повною мірою. За даними Інституту загальної енергетики НАНУ при споживанні щорічно 210 млн. т. у. п. паливно-енергетичних ресурсів потенціал енергозбереження України оцінюється на рівні 42-48%. Основна економія ПЕР, за розрахунками експертів, може бути досягнута в промисловості (38%) і комунальній сфері (30%). У паливно-енергетичному секторі цей показник може скласти до 17% [2].

## Результати дослідження

Промислові підприємства України достатньо енергоємні виробництва, для яких електроенергія і газ – вагомі компоненти виробничої собівартості. Питання забезпечення енергетичної безпеки підприємств – питання майбутнього. В умовах нестабільності зовнішнього середовища, непередбачуваності енергетичної політики держави і кон'юнктури світових ринків вже сьогодні необхідно шукати шляхи використання альтернативних джерел енергії на підприємствах. Використання альтернативних джерел енергії на підприємствах може бути економічно вигідним.

До альтернативних джерел енергії, які можна використовувати на вітчизняних підприємствах відносяться: сонячна енергія, енергія вітру і енергія біомаси. На відміну від викопних палив ці форми енергії не обмежені геологічно накопиченими запасами. Це означає, що їх використання та споживання не веде до неминучого вичерпання запасів [3-5].

Енергія сонця – нескінченна, безкоштовна, найбільш безпечна для довкілля серед усіх видів енергії. Ця енергія може вироблятися там, де це необхідно. Сонячні теплові та фотоелектричні установки не виробляють забруднюючих газів та шкідливих викидів. Сонце здатне забезпечити стійкість та надійність поставок та енергетичну незалежність, що вкрай важливо у нинішній ситуації енергетичної кризи.

В умовах нашого клімату сонячні системи здатні виробляти як електроенергію, так і тепло практично на всій території (з різною ефективністю) протягом усього року. Це означає, що теплоенергетична геліоустановка працюватиме, згідно різних оцінок, з віддачою в 50% і більше від 7 до 9 місяців на півдні, 5 – 7 місяців – у північних областях. Взимку ефективність роботи падає, але не зникає. Оптимально підібране обладнання зменшує річне використання енергії для підігріву води до 50–60% та електроенергії з мережі до 50–70%. У період з квітня по вересень правильно встановлена система покриває до 95% витрат тепла та електроенергії. Вже сьогодні

деякі підприємства почали використовувати для власних потреб енергію сонця встановлюючи на дахи цехів та корпусів геліоустановки.

Вітроенергетика на даний час є найбільш розвиненим видом нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. Україна має власні розробки вітроенергетичних установок (ВЕУ) та власне промислове виробництво, є і ліцензійні ВЕУ. Переваги виробництва електроенергії за допомогою вітру: абсолютно екологічно чисте виробництво (відсутність шкідливих відходів); значна економія; доступність; практична невичерпність. Для промислових підприємств можна використовувати ВЕУ невеликої потужності, щоб покривати власні витрати електроенергії, або ж її частини.

Біоенергетика – галузь електроенергетики, заснована на використанні біопалива, яке створюється на основі використання біомаси. До біомаси відносять біологічно відновлювальні речовини органічного походження, що зазнають біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів). До біопалива відносяться: біогаз, звалищний газ, біодизель, гранули, брикети із біомаси. Використання біопалива дозволяє відмовитись від традиційного палива. Підприємства використовуючи практично відходи власного виробництва мають можливість отримувати екологічно чисте пальне.

### Висновки

Встановлено, що використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії доводить їх велику перспективність для задоволення енергетичних потреб промисловості. Окрім цього, для вироблення і втілення в життя стратегії розвитку альтернативної енергетики є все: сировина, досвід, технічні і технологічні напрацювання, підготовка відповідних кваліфікованих кадрів у системі вищої освіти.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Панасюк М. В. Порівняльна характеристика поновлюваних джерел енергії / М. В. Панасюк // XLIV науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/panasyuk-shulle.pdf>
2. Ковалко М. П. Енергетична безпека – складова національної безпеки / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К.: [б.в.], 1997. – 91 с.
3. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
4. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. "Електротехніка та електротехнології" та "Електромеханіка" / С. О. Кудря; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 489 с.
5. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: навч. посіб. / І. О. Сінчук [та ін.]; під ред. д-ра техн. наук, проф. Сінчука О. М. – Кременчук : Щербатих О. В., 2013. – 192 с.

**Максим Вікторович Панасюк** — студент групи ЗЕ-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: panass666@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Maxim V. Panasiuk** — Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: panass666@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** — Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розроблено систему управління базами даних, яка містить загальні заходи з економії електроенергії та може бути використана для їх впровадження.

**Ключові слова:** система управління базами даних, економія електроенергії, промислові підприємства.

## Abstract

Where was designed hhe database management system which include general approaches to saving electricity and can be used for implementation.

**Keywords:** database management system, saving electricity, industrial enterprises.

## Вступ

Проблема електроспоживання та електрозбереження в нашій країні з кожним роком стає все гостріше. Низька електроефективність економіки призводить до високих затрат на власне електрозабезпечення, що сприяє порушенню нормального електропостачання [1]. Тому підвищення ефективності використання електроенергії на етапі її споживання є актуальною тематикою.

Метою роботи є розроблення системи управління базами даних (СУБД), яка дозволить раціонально зберігати та нарощувати інформацію з електрозбереження та реалізує обробку і аналіз інформації, а також виконує підтримку прийняття управлінських рішень з електроспоживання.

## Результати роботи

Розроблена система управління базами даних є автоматизованою і потребує введення даних оператором майже на всіх етапах своєї роботи. До основних функцій СУБД слід віднести:

- забезпечення мовних засобів опису та маніпуляції даними;
- забезпечення підтримки логічної моделі даних;
- забезпечення взаємодії логічної та фізичної структур даних;
- забезпечення захисту та цілісності даних;
- забезпечення підтримки БД в актуальному стані.

Принцип роботи СКБД представлений на рис. 1 і відображає усі етапи її роботи [2].

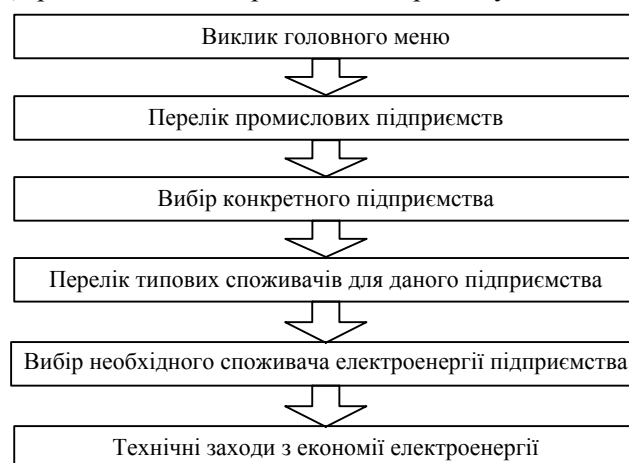


Рис. 1. Структурна схема використання бази даних по електрозбереженню

Для створення СУБД було використано робочі листи програми Microsoft Office Excel. Дана програма дозволяє реалізувати усі основні функції СУБД. Стандартні функції електронного процесора Excel (ПРОСМОТР, ПОИСКПОЗ, ИНДЕКС, ВПР) дозволяють автоматизувати вибір даних, а отже зникає потреба правки та звернення до кожного елементу БД окремо. Також використовуючи електронний процесор EXCEL можна оперувати логічними виразами робочого листа Excel ЕСЛИ, И, ИЛИ, НЕ. Це дозволяє виконати автоматизацію контролю допустимості проектних рішень [3-5].

Пошук рішень в СУБД є автоматизованим і складається із двох етапів:

1. Ручне введення даних оператором;
2. Автоматичний розрахунок за заданими параметрами.

Необхідні дані вводяться вручну за допомогою випадаючих списків або клавіатури. Після введення усіх необхідних даних і натиску кнопки розрахунок, програма здійснює автоматичний пошук необхідних параметрів.

Через технічний прогрес постійно створюються та входять в експлуатацію все нові і нові заходи та технічні рішення по зменшенню втрат чи збільшенню ефективності електроспоживання, тому розроблена СУБД є гнучкою і легко може бути поповнена новими даними.

### Висновки

Розроблено СУБД, яка дозволяє раціонально зберігати та нарощувати інформацію з електрозбереження не змінюючи структури бази та оперативно формувати заходи з економії електроенергії для вказаних підприємств. Використання даної СУБД гарантує для всіх користувачів простий доступу до відомостей з енергозбереження та можливість їх реалізації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах / О. Д. Демов. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95с.
2. Демов О. Д. Створення інформаційної бази електрозбереження промислових підприємств м. Вінниці / О. Д. Демов, Ю. А. Шулле, В. В. Захаров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 62-65.
3. Microsoft Excel – редактор електронних таблиц. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://products.office.com/ru-ru/excel>
4. Шитов В. Н. Excel. Единый справочник / В. Н. Шитов. – М.: ГроссМедия, 2005. – 512 с.
5. Волков В. Б. Понятный самоучитель Excel 2010 / В. Б. Волков. – СПб.: Питер, 2010. – 256 с.

**Віталій Андрійович Коноплицький** – студент групи ЕСЕ-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: konoplytskyi@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Vitalii A. Konoplytskyi** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: konoplytskyi@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



# ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ІННОВАЦІЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Проведено аналіз досягнень у розвитку інноваційної складової потенціалу в системі енергозбереження підприємств. Показано, що при виборі інноваційного розвитку енергозбереження підприємства доцільно керуватись економічними критеріями для обґрунтування найкращих варіантів.*

**Ключові слова:** енергозбереження, інновації, стратегія, інноваційний потенціал.

## *Abstract*

*Where was analyzed an achievements in development of innovative potential component in the energy-savings system for companies. It was shown that the choice of innovative energy saving for companies guided by economic criteria to justify the best option.*

**Keywords:** energy-savings, innovations, strategy, innovative potential.

## **Вступ**

Позитивні зміни в економіці передбачають розроблення стратегії інноваційного розвитку енергозбереження, створення цілісної нормативно-правової бази регулювання основних параметрів науково-технологічного процесу та системи енергозбереження, конкретних механізмів інвестиційної підтримки промислового сектору суспільного виробництва. Ефективна організація інноваційної діяльності промислових підприємств у напрямі енергозбереження ґрунтується на дослідженні інноваційного потенціалу.

## **Результати дослідження**

Проблемою першорядної ваги України постає енергозбереження, підвалиною у цьому напрямі має стати ініціатива держави, формування та ефективне управління інноваційним розвитком енергозбереження промислових підприємств [1].

Основними методами активізації інноваційної діяльності у напрямі впровадження енергозберігаючих інновацій на підприємстві має бути [2]:

- удосконалення системи фінансування інноваційних проектів енергозбереження;
- поліпшення інформаційної та маркетингової роботи завдяки удосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення розвитку енергозбереження;
- удосконалення системи стимулювання праці на підприємстві;
- посилення інноваційної спрямованості стратегії інноваційного розвитку енергозбереження підприємства та його адаптації до мережевої інформаційної системи.

Варіантом інновацій в сфері енергозбереження може бути використання концепції Smart Grid на основі геоінформаційних систем, оскільки застосування ГІС в даній концепції можливе через їх здатність до інтелектуального аналізу даних і енергозберігаючого ефекту [3].

Формування та реалізація стратегії інноваційного розвитку енергозбереження підприємства має включати цілі його інноваційної діяльності, вибір засобів щодо досягнення цих цілей і обґрунтування джерел залучення необхідних ресурсів (рис. 1).

Інноваційний потенціал енергозбереження промислових підприємств доцільно розглядати як гіпотетичний і фактичний [4].

До економічних критеріїв вибору інноваційних проектів енергозбереження на промисловому підприємстві можна віднести: прибуток, простий термін окупності, дисконтований термін окупності, приведені витрати, чиста поточна вартість, розмір інвестицій, чистий дохід, дисконтований дохід, нарощений дохід, капіталізований дохід, індекс рентабельності інвестицій, внутрішня норма прибутку, коефіцієнт ефективності інвестицій, модифікована внутрішня норма прибутку [5].



Рис. 1. Модель формування стратегії інноваційного розвитку енергозбереження промислових підприємств

## Висновки

Для ефективного управління інноваційною діяльністю та системою енергозбереження на промислових підприємствах необхідне вироблення стратегії інноваційного розвитку енергозбереження. При виборі інноваційного розвитку енергозбереження підприємства доцільно керуватись економічними критеріями для обґрунтування найкращих варіантів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Концепція державної енергетичної політики України на період до 2020 року. УЦЕПД. Прес-реліз. 23 лютого 2001 р. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://razumkov.org.ua>
2. Юринець З. В. Інноваційна стратегія розвитку переробних підприємств України: монографія / З. В. Юринець, Б. М. Максимів. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 203 с.
3. Шулле Ю. А., Девятко М. В. Геоінформаційні системи як інструмент реалізації концепції smart grid та шлях до ефективного енергозбереження / Ю. А. Шулле, М. В. Девятко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 2013. – №2. – С. 119–121.
4. Юринець З. В., Гнилянська Л. Й. Інноваційно-інвестиційний менеджмент. Навч. посіб. / З. В. Юринець, Л. Й. Гнилянська. – Львів: ЗУКЦ, 2011. – 136 с.
5. Маліванчук І. М. Інновації в енергетиці та їх економічне обґрунтування/ І. М. Маліванчук // XLIV науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/malivanchuk-shulle.pdf>

**Іван Миколайович Маліванчук** – студент групи 4Е-126, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [malivanchuk18@gmail.com](mailto:malivanchuk18@gmail.com).

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Ivan M. Malivanchuk** – student of 4E-12b, Department of Power and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [malivanchuk18@gmail.com](mailto:malivanchuk18@gmail.com).

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ОЦІНЮВАННЯ ЗБИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ПРИ ПОРУШЕННІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Актуальність досліджуваної теми базується на тому, що в Україні практично відсутня практика врахування надійності електропостачання при оцінці економічних збитків. В роботі розглянуто шляхи оцінювання збитку підприємства при порушенні електропостачання.*

**Ключові слова:** система електропостачання, збитки, промислове підприємство, надійність.

## **Abstract**

*The relevancy of the studied theme based on the fact that Ukraine is in fact there in no practice when assessing the reliability of power economic losses. In this work was review the ways of evaluating damage to the enterprise the excitation electricity supply.*

**Keywords:** electricity supply system, losses, industrial enterprise, reliability.

## **Вступ**

Якість електропостачання є важливою проблемою у сучасних економічних умовах. Пов'язано це з тим, що всі галузі промисловості безпосередньо залежні від електропостачання. Інтенсивність і прибутковість виробництва напряму залежить від енергетичних складових. І хоча доля затрат на електроенергію в собівартості середньостатистичної продукції не перевищує 4-12%, втрати внаслідок порушення електропостачання для підприємств можуть бути непомірно високими, оскільки більшість сучасних промислових об'єктів перебувають в безперервному циклі виробництва продукції, тобто можуть працювати цілодобово. Система електропостачання залежить від безлічі факторів, тому забезпечити безперебійне постачання якісної електроенергії фактично неможливо, саме тому важливими питаннями залишаються методи оцінювання збитку від порушення електропостачання і шляхи їх максимального зменшення.

## **Результати дослідження**

Під надійністю системи електропостачання (СЕП) розуміється властивість системи виконувати задані функції, забезпечуючи свої експлуатаційні показники в заданих межах на протязі необхідного часу [1]. Для забезпечення надійності електропостачання можуть застосовуватись різні способи, включаючи резервування. В загальному випадку потрібна надійність живлення для СЕП промислових підприємств може бути забезпечена необхідною кількістю генераторів, трансформаторів, секцій шин, живильних ліній і засобів автоматики. Для вибору оптимального варіанту системи електропостачання необхідно розв'язати три взаємопов'язані технічні і техніко-економічні задачі:

- визначення надійності варіантів СЕП, які розглядаються;
- визначення капітальних затрат і річних експлуатаційних витрат, що відповідають кожному варіанту СЕП;
- оцінка шкоди споживачу, яка нанесена внаслідок перерви електропостачання в залежності від надійності живлення.

Рівень надійності може бути підвищений за допомогою встановлення більш дорожчого обладнання з запасом по напрузі і струмові, яке буде надійніше працювати, якщо збільшення капітальних затрат буде супроводжуватись зниженням очікуваних збитків з таким розрахунком, щоб це зниження забезпечило загальне зниження приведених затрат.

Тривалість перерви електропостачання споживача складається з часу, необхідного для ліквідації

причин перерви електропостачання і часу, який необхідний для поновлення електропостачання. Перерва електропостачання призводить до збитків споживача тільки в тому випадку, якщо час перерви перевищує чи дорівнює граничному часу, який різний для різних споживачів, він визначає мінімальну тривалість перерви електропостачання, яка не відображається на роботі споживача, що розглядається. Час визначає вимоги до показників надійності СЕП. Для споживачів 1-ї категорії недопустима перерва в електропостачанні більше часу. Допустима перерва в живленні споживачів 2-ї і 3-ї категорії може бути визначена на основі техніко-економічного порівняння різних варіантів СЕП.

У загальному випадку до наслідків порушення електропостачання варто віднести такі складові [2]:

- простій загального виробничого циклу, робота якого неможлива без повного енергопостачання;
- поломка обладнання та устаткування внаслідок раптового відключення електроенергії, що супроводжувалося різкими стрибками напруги (особливо чутливою до таких явищ є сучасна комп'ютеризована техніка);

- брак продукції внаслідок раптової зупинки виробничого процесу (такі явища характерні текстильним фабрикам, підприємствам харчової промисловості, виробництва будматеріалів);

- післяаварійна наладка технологічного процесу підприємства. Підприємства з автоматизованими лініями виробничого процесу потребують додаткового часу на перезапуск виробництва. Це пов'язано із перепрограмування комп'ютеризованого обладнання. В середньому на наладку процесу після раптового відключення може знадобитись від 15 хвилин до 4 годин.

Економічні збитки можуть бути прямими та непрямими [3]. Збитки споживача від перерви електропостачання:

- збитки від розладу технологічного процесу, браку продукції, аварій (прямі збитки);
- збитки від недовипуску продукції, викликані простоем виробництва (непрямі збитки).

### Висновки

Великої актуальності набуває надійність в електропостачанні промислових підприємств при порушенні якої виникають збитки. Їх величина залежить від багатьох аспектів, зокрема: технологічного процесу виробництва, схеми електропостачання, тривалості перерви в постачанні, потужностей виробництва, кількості працівників та можливості задіяти їх на інших роботах при відключеннях чи обмеженнях електропостачання. Розрахунки збитків носять важливе практичне значення адже їх доцільно застосовувати при визначенні собівартості продукції на підприємстві, а також при проведенні техніко-економічних розрахунків та виборі СЕП підприємства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ 13377-67. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293833/4293833240.pdf>

2. Яковлев А.И., Мозенков О.В., Кобелев В.М. Методи оцінки збитку на підприємствах при виході з ладу електротехнічного обладнання. Монографія / А.И. Яковлев, О.В. Мозенков, В.М. Кобелев. – Харків: ВВП «Контраст», 2012. – 120 с.

3. Ковальов Є. В., Гуревичев М. М., Соколова Л. В. Визначення збитків при нерівномірності постачання продукції електроенергетичних підприємств / Є. В. Ковальов, М. М. Гуревичев, Л. В. Соколова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технічний прогрес та ефективність виробництва. – 2013. – №. 51 (957). – С. 99-105.

*Дмитро Богданович Солоненко* – студент групи 4Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [bboyswecko@mail.ru](mailto:bboyswecko@mail.ru).

Науковий керівник: *Юлія Андріївна Шулле* – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Dmytro B. Solonenko* – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [bboyswecko@mail.ru](mailto:bboyswecko@mail.ru).

Supervisor: *Iuliia A. Shullie* – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИБОРУ ДАНИХ ІЗ ЕЛЕКТРОННИХ ТАБЛИЦЬ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТНИХ ФУНКЦІЙ РОБОЧОГО ЛИСТА EXCEL

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Розглянуто питання автоматизації вибору даних із електронних таблиць за допомогою стандартних функцій робочого листа Excel на прикладі повітряних ліній електропередачі.*

**Ключові слова:** автоматизація вибору, повітряні лінії, база даних, таблиці Excel.

## *Abstract*

*Where was considered the problems of automation in extracting data from EXCEL spreadsheets by means of standart function with overhead power lines example .*

**Keywords:** automation, extracting data, power lines, standar funcrion, database, table Excel.

## **Вступ**

Електронна таблиця є універсальним засобом для автоматизації розрахунків над табличними даними. Застосування електронних таблиць спрощує роботу з даними і дозволяє отримувати результати без проведення розрахунків вручну або спеціального програмування. Окрім цього є можливість врахування в розрахунках значної кількості факторів, що впливають на результат.

## **Результат дослідження**

Однією з типових, але досить трудомістких задач є вибір повітряних ліній (ПЛ) електропередачі для певних умов експлуатації. Повітряною лінією електропередачі називається пристрій для передачі і розподілу електроенергії по проводах, розташованих на відкритому повітрі і прикріплених за допомогою ізоляторів та арматури до опор або кронштейнів, стійкам на будинках та інженерних спорудах (мостах, шляхопроводах і т.п.). Проблема полягає в тому, що ПЛ мають велику кількість параметрів, які повинні відповідати умовам експлуатації. Для доцільного вибору повітряних ліній необхідно враховувати технічні та економічні характеристики. Цей процес займає велику кількість часу, саме для прискорення цього процесу і спрощення операції вибору створюються бази даних (БД) та програми для автоматизації вибору, які дають змогу опрацьовувати велику кількість даних за короткий проміжок часу [1-3].

Використовуючи бази даних та стандартні функції програми Microsoft Excel вибір ПЛ можна суттєво спростити. Спочатку були створені електронні бази даних ПЛ 10, 35 та 110 кВ (рис. 1).

Excel має широкий набір вбудованих функцій, які підрозділяються на категорії: математичні, статистичні, логічні, фінансові, текстові і т.д. Функції мають відповідний синтаксис правопису. Аргументами функцій можуть бути константи (числові, текстові), змінні або інші функції [4-5]. Для автоматизованого вибору даних на робочому листі Excel використовувались такі функції: ИНДЕКС, ПОИСКПОЗ та ЕСЛИ.

Функція ИНДЕКС повертає знайдене значення комірки робочого листа із заданого діапазону комірок по заданому значенню порядкових номерів рядку та стовпця в цьому діапазоні. Сама по собі ця функція не може автоматизувати вибір даних із БД, а лише спільно із функцією ПОИСКПОЗ [4-5].

Функція ПОИСКПОЗ повертає порядковий номер заданого для пошуку значення в заданому діапазоні комірок. Комбінуючи функції ИНДЕКС та ПОИСКПОЗ отримаємо найбільш універсальний спосіб вибору даних із електронних таблиць Excel за простим первинним ключем. В цьому випадку ключовий атрибут може розміщатись в будь-якому полі таблиці БД, а його значення в цьому полі можуть бути ніяк не упорядковані [4-5].

До логічних функцій належать: ЕСЛИ, И, ИЛИ, ИСТИНА, ЛОЖЬ, НЕ. Умовна функція ЕСЛИ перевіряє, чи виконується умова і повертає одне значення, якщо вона виконується, та інше значення,

ЯКЩО УМОВА НЕ ВИКОНУЄТЬСЯ.

A: An; АКП; АнКП																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Пере- різ, мм <sup>2</sup>	Діа- метр, мм	Ro Ом/км	Ідоп А	10 кВ				35 кВ				110 кВ				Дср = 5000				Пере- різ, мм <sup>2</sup>
				Хо Ом/км	Во/ІЕ-6 1/(Ом км)	Qo кВАр	Ко1, т.грн/км	Ко2, т.грн/км	Хо Ом/км	Во/ІЕ-6 1/(Ом км)	Qo кВАр	Ко1, т.грн/км	Ко2, т.грн/км	Хо Ом/км	Во/ІЕ-6 1/(Ом км)	Qo кВАр	Ко1, т.грн/км	Ко2, т.грн/км		
16	5,1	1,838	105	0,404	2,817	0,282	35,314	49,086	0,469	2,416	2,959			0,491	2,302	27,857			16	
25	6,4	1,165	136	0,390	2,925	0,292	36,135	50,589	0,455	2,494	3,056	86,281	140,111	0,477	2,373	28,717			25	
35	7,5	0,85	170	0,380	3,005	0,300	37,407	52,369	0,445	2,552	3,126	87,514	142,710	0,467	2,426	29,350			35	
50	9	0,588	215	0,369	3,102	0,310	38,753	54,254	0,433	2,622	3,212	90,203	145,701	0,456	2,489	30,113	102,080	156,302	50	
70	10,7	0,42	265	0,358	3,200	0,320	41,573	58,617	0,423	2,692	3,298	91,346	152,161	0,445	2,552	30,875	105,982	164,076	70	
95	12,3	0,315	320	0,349	3,284	0,328	45,300	63,873	0,414	2,751	3,370	93,004	156,919	0,436	2,605	31,517	108,515	169,500	95	
120	14	0,251	375	0,341	3,366	0,337	47,850	67,947	0,406	2,808	3,440	95,940	162,062	0,428	2,656	32,138	111,815	172,843	120	
150	15,8	0,198	440	0,333	3,447	0,345			0,398	2,864	3,509	101,778	170,914	0,420	2,706	32,741	117,917	184,558	150	
185	17,5	0,161	500	0,327	3,518	0,352			0,392	2,913	3,569	105,005	177,527	0,414	2,749	33,268	121,434	192,360	185	
240	20	0,123	590	0,319	3,615	0,361			0,383	2,979	3,650	118,239	204,877	0,406	2,808	33,983	136,683	221,432	240	
300	22,1	0,102	680	0,312	3,691	0,369			0,377	3,031	3,713	123,998	224,807	0,399	2,854	34,537	143,104	242,322	300	
АС: AnC; АСК; AnCK; АСКП; AnCKП; АСКС; AnCKC																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Пере- різ, мм <sup>2</sup>	Діа- метр, мм	Ro Ом/км	Ідоп А	10 кВ				35 кВ				110 кВ				Дср = 5000				Пере- різ, мм <sup>2</sup>
				Хо Ом/км	Во/ІЕ-6 1/(Ом км)	Qo кВАр	Ко1, т.грн/км	Ко2, т.грн/км	Хо Ом/км	Во/ІЕ-6 1/(Ом км)	Qo кВАр	Ко1, т.грн/км	Ко2, т.грн/км	Хо Ом/км	Во/ІЕ-6 1/(Ом км)	Qo кВАр	Ко1, т.грн/км	Ко2, т.грн/км		
10	4,5	2,766	84	0,412	2,762	0,276			0,477	2,375	2,909			0,499	2,265	27,405			10	
16	5,6	1,801	111	0,399	2,861	0,286	35,314	49,086	0,463	2,448	2,998			0,486	2,331	28,205			16	
25	6,9	1,176	142	0,385	2,962	0,296	36,135	50,589	0,450	2,521	3,089	86,281	140,111	0,472	2,398	29,014			25	
35	8,4	0,79	175	0,373	3,064	0,306	37,407	52,369	0,438	2,595	3,179	87,514	142,710	0,460	2,464	29,820			35	
50	9,6	0,603	210	0,365	3,138	0,314	38,753	54,254	0,429	2,648	3,243	90,203	145,701	0,452	2,512	30,393	102,080	156,302	50	
70	11,4	0,428	265	0,354	3,238	0,324	41,573	58,617	0,419	2,719	3,330	91,346	152,161	0,441	2,576	31,164	105,982	164,076	70	
95	13,5	0,31	330	0,343	3,343	0,334	45,300	63,873	0,408	2,792	3,420	93,004	156,919	0,430	2,641	31,961	108,515	169,500	95	
120	15,2	0,25	375	0,336	3,420	0,342	47,850	67,947	0,401	2,846	3,487	95,940	162,062	0,423	2,690	32,545	111,815	172,843	120	
150	16,8	0,199	450	0,330	3,489	0,349			0,394	2,893	3,544	101,778	170,914	0,417	2,732	33,055	117,917	184,558	150	
185	18,8	0,158	510	0,323	3,569	0,357			0,387	2,948	3,612	105,005	177,527	0,410	2,781	33,648	121,434	192,360	185	
240	21,6	0,122	605	0,314	3,673	0,367			0,378	3,019	3,698	118,239	204,877	0,401	2,844	34,409	136,683	221,432	240	
300	24	0,099	680	0,307	3,757	0,376			0,372	3,075	3,767	123,998	224,807	0,394	2,893	35,010	143,104	242,322	300	
АС: AnC; АСК; AnCK; АСКП; AnCKП; АСКС; AnCKC																				

Рис. 1. Фрагмент бази даних ПЛ 10, 35 та 110 кВ.

## Висновок

В роботі було розглянуто питання автоматизації вибору даних із електронних таблиць за допомогою стандартних функцій робочого листа Excel на прикладі повітряних ліній електропередачі. Автоматизація вибору даних із електронних таблиць дозволяє значно полегшити працю та знизити трудомісткість окремих операцій, зменшити кількість помилок, терміново отримувати необхідну інформацію.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Агафонов М. В. Автоматизація вибору даних повітряних ліній із електронних таблиць за допомогою стандартних функцій робочого листа Excel / М. В. Агафонов // XLIV науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/agafonov-kaminskiy.pdf>
2. Электрические системы и сети / Н. В. Буслова, В. Н. Винославский, Г. И. Денисенко, В. С. Перхач. – К.: Вища школа, 1986. – 584с.
3. Петренко Л. И. Электрические сети и системы: учеб. пособие для вузов / Л. И. Петренко. – К.: Вища школа, 1981. – 320 с.
4. Шитов В. Н. Excel. Единый справочник / В. Н. Шитов. – М.: ГроссМедия, 2005. – 512 с.
5. Волков В. Б. Понятный самоучитель Excel 2010 / В. Б. Волков. – СПб.: Питер, 2010. – 256 с.

**Михайло Володимирович Агафонов** — студент групи ЗЕ-126, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mishaagafonov@i.ua;

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Mikhail V. Agafonov** — Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: mishaagafonov@i.ua;

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** — Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОНВЕЄРА

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Проведено аналіз існуючих методів вибору потужності електроприводу конвеєра, який виявив, що найбільш ефективним є метод середніх втрат.*

**Ключові слова:** електропривод конвеєра, потужність, еквівалентні величини.

### **Abstract**

*The analysis of existing methods for selecting the electric power conveyor is done, which found that the most effective method is average cost method or equivalent quantities.*

**Keywords:** Electric conveyor, power, equivalent quantities.

### **Вступ**

Сучасний стан економіки України вимагає приділяти особливу увагу питанням економії електроенергії, які працюють з випадковим навантаженням і складають близько 30 - 35% від загальної кількості електроприводів. До таких електроприводів також відносяться і електроприводи конвеєрів. До збільшення втрат електричної енергії призводить виникнення пульсуючих струмів в цих електроприводах. Оптимальний вибір двигунів дозволяє значно зменшити втрати електричної енергії, тому метою дослідження є аналіз існуючих методів визначення потужності двигуна електроприводу конвеєра для забезпечення його енергоефективності.

### **Результати дослідження**

Енергоефективність виробничих машин і установок забезпечує в першу чергу правильний вибір приводних двигунів.

Використання двигунів завищеної потужності приводить до збільшення динамічних навантажень, збільшення капітальних затрат, зниження ККД, а для приводів змінного струму – до зменшення коефіцієнта потужності.

Застосування двигунів заниженої потужності приводить до зменшення продуктивності машини, виникнення аварій, швидшому виходу двигунів з ладу через перегрів та пробій ізоляції. Потужність двигуна вибирають, виходячи із необхідності її повного використання і забезпечення виконання заданої роботи електропривода, при виконанні вимог до теплового режиму і допустимого механічного перевантаження.

Оптимальний вибір потужності приводних двигунів визначається їх навантажувальними діаграмами, які характеризують зміну потужності електродвигуна від часу роботи електропривода.

В теорії електропривода розроблено ряд методів, які дають можливість вибирати двигун по потужності і проводити його перевірку по тепловому режиму при змінному навантаженні.

Найбільшого поширення в інженерній практиці отримав метод середніх втрат і еквівалентних величин.[1]

Суть метода середніх втрат заключається в знаходженні середнього значення потужності втрат електродвигуна за повний цикл режиму його роботи зі змінним навантаженням і порівняння знайдених таким чином з номінальними втратами, на які розрахований електродвигун при тривалому режимі роботи. Якщо середнє значення потужності втрат за робочий період не перевищує потужності втрат при номінальному навантаженні і швидкості, то електродвигун не буде нагріватися вище допустимої температури.

Метод середніх втрат являється універсальним і найбільш точним, але він не враховує максимальної температури при змінному навантаженні і не дозволяє вибрати електродвигун по навантажувальній діаграмі, так як для розрахунку потужності втрат, відповідній заданому значенню потужності навантаження, необхідно заздалегідь знайти параметри електродвигуна. Також він вимагає проведення конкретних розрахунків втрат для кожної ділянки, що не завжди можна виконати. Часто він є тру-

домістким, оскільки для остаточного вибору електродвигуна потребує, як правило, розгляду кількох варіантів попередньо вибраних електродвигунів. [2]

Метод еквівалентних величин полягає у попередньому визначенні потужності згідно з виразом

$$P = K_d \cdot M_{ane} \cdot W_{nom},$$

де  $K_d$  – коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження;  $M_{ane}$  – еквівалентний момент;  $W_{nom}$  – номінальна частота обертання приведена до валу двигуна.

А також, визначення середніх втрат  $\Delta P_{cp}$  і їх порівняння з номінальними втратами  $\Delta P_{nom}$  тобто:

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_{nom}.$$

Використовуючи характеристики вибраного двигуна, розраховують перехідний процес та будується діаграма електропривода. Після цього вираховують значення еквівалентних величин (струму, моменту та потужності двигуна) і порівнюють їх з номінальними для вибраного двигуна

Метод еквівалентного моменту простіший в застосуванні ніж метод еквівалентного струму, крім того струм не завжди пропорційний моменту. Метод еквівалентних потужностей вносить додаткову похибку в пускових та гальмівних режимах. [3]

Серед розглянутих методів найбільш точним є метод середніх втрат.

### Висновки

Результати аналізу методів визначення потужності двигунів показали, що на практиці краще використовувати хоч і менш точні, але більш прості методи середньоквадратичних чи еквівалентних величин, які дозволяють вибирати потужність електродвигуна по навантажувальній діаграмі. Для розрахунків, що потребують високої точності варто застосовувати метод середніх втрат.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хандола Ю. М. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / Ю. М. Хандола – Харків: Факт, 2008. – 582 с.
2. Гайдукевич В. И. Случайные нагрузки силовых приводов / В. И. Гайдукевич, В. С. Титов – М.: Наука, 1983. – 161 с.
3. Ільчов І. П. Методи вибору приводних електродвигунів для машин та механізмів, які працюють при випадковому навантаженні/ І. П. Ільчов, Хандола Ю. М., Серета А. І., Хандола О. Ю., Федюшко Ю. М. Режим доступу: [http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_116/sz\\_03\\_116\\_8.pdf](http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_116/sz_03_116_8.pdf)

*Дмитро Едуардович Ковальчук* — студент групи Емс-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kovalchuk.94@mail.ru;

Науковий керівник: *Марина Василівна Кутіна* — ст.викл.,к.т.н., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Kovalchuk Dmytro E.**— Faculty of Electrical Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kovalchuk.94@mail.ru;

Supervisor: **Kutina Marina V.**—senior teacher, Ph.D., Vinnitsa National Technical University. Vinnitsa.



# РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ЇХ ДЕКОМПОЗИЦІЇ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано метод декомпозиції електричної мережі, який дозволяє проводити поетапний розрахунок компенсації реактивної потужності в окремих підсистемах електричної мережі з урахуванням впливу інших підсистем. Запропонований метод базується на декомпозиції функції зниження втрат активної потужності, що дозволяє спростити розрахування компенсації реактивної потужності для всіх електричних мереж в цілому. Проведено аналіз декомпозиції електричної мережі та приведено приклад розрахунку компенсації реактивної потужності в електричній мережі на основі декомпозиції.

**Ключові слова:** декомпозиція, компенсація реактивної потужності, електричні мережі.

## Abstract

A method of decomposition of electric network, which allows to carry out the step-by-step calculation of reactive power compensation in the individual subsystems of electric network taking into account the influence of other subsystems is proposed. The proposed method is based on the decomposition of function reduction of active power losses, which allows to simplify the calculation of reactive power compensation for all electric networks on the whole. The analysis of decomposition of electric network is carried out and the example of calculation of reactive power compensation in an electric network based on decomposition is shown.

**Keywords:** decomposition, reactive power compensation, electric networks.

## Вступ

Зменшення втрат електроенергії в електричних мережах (ЕМ) можна досягнути за рахунок компенсації реактивної потужності (КРП) в них. Оскільки ЕМ є фізично єдиним цілим, то основою існуючих методів розрахунку КРП є підхід, який базується на проведенні таких розрахунків для всієї ЕМ [1]. Розв'язувати задачу таким чином складно, оскільки ЕМ є ієрархічною системою, в якій її окремі частини можуть проводити розрахування КРП відповідно до своїх економічних інтересів.

Таким чином, метою роботи є розробка методу декомпозиції ЕМ при розв'язанні задачі КРП, що дозволяє спростити розрахування КРП для всіх ЕМ в цілому.

## Результати дослідження.

Декомпозиція ЕМ потребує декомпозиції функції показника КРП. Оскільки таким показником у більшості випадків є функція зниження втрат активної потужності від вектора потужностей КУ  $\delta P(Q_K)$ , то розглянемо декомпозицію цієї функції.

Функція  $\delta P(Q_K)$  визначається на основі формули Тейлора [2]

$$\delta P(Q_K) = \frac{2}{U_n^2} \times \left( \sum_{i=1}^n Q_{Ki} \times R_{ii} \times Q_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{Ki} \times R_{ij} \times Q_j - \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^n Q_{Ki}^2 \times R_{ii} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{Ki} \times Q_{Kj} \times R_{ij} \right), (1)$$

де  $U_n$  – номінальна напруга мережі;  $Q_i$ ,  $Q_j$  – реактивні навантаження відповідно  $i$ -го та  $j$ -го вузлів.  $R_{ii}$  – вхідний опір  $i$ -го вузла;  $R_{ij}$  – взаємний опір  $i$ -го та  $j$ -го вузлів;  $i, j = 1, \dots, n$ ,  $i \neq j$ ;  $Q_{Ki} \times Q_{Kj}$  – потужності КУ, установлені в  $i, j$ -их вузлах

Формула (1) відображає декомпозицію функції зниження втрат  $\delta P(Q_K)$ . Вона дає можливість розділити цю функцію на дві складові: перша складова  $\delta P(Q_{Ki})$  враховує зниження втрат активної потужності, зумовлене тільки потужністю  $Q_{Ki}$ ; друга складова  $\delta P(Q_{Ki}, Q_{Kj})$  – зниження втрат активної потужності, зумовлене спільною дією КУ  $Q_{Ki}$  і  $Q_{Kj}$ .

Декомпозиція функції  $\delta P(Q_K)$  дозволяє відокремити зі всієї схеми ЕМ ту її частину, яка бере участь у розрахунку компенсації реактивного навантаження  $i$ -го вузла, що дозволяє проводити аналіз зниження втрат, зумовлених кожною КУ окремо [3].

На основі запропонованої декомпозиції здійснюється поетапний розрахунок КРП [4, 5]. Кожний етап складається з кроків. Один крок розв'язання задачі заключається у розрахунку зниження втрат при установленні КУ в  $i$ -ому вузлі. Максимальне зниження втрат на  $l$ -ому етапові розрахунку визначається покроковим перебором всіх можливих місць установлення КУ:

$$\delta P_l^{\max} = \max_{i=1}^n (\delta P_{l,i}), \quad (2)$$

де  $l=1, \dots, q, \dots, z$ ;  $z$  – кількість етапів розрахунку КРП;  $q$  – проміжний етап розрахунку КРП.

Сума величин  $\delta P_l^{\max}$  на  $q$ -ому етапові дозволяє знайти максимальне зниження втрат за всі попередні етапи, включаючи  $q$ -ий етап, за рахунок установленної потужності  $Q_{Kq}$ :

$$\delta P_{\Sigma}^{\max}(Q_{Kq}) = \sum_{l=1}^q \delta P_l^{\max}, \quad (3)$$

$$\text{де } Q_{Kq} = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n Q_{Ki,l}.$$

Наявність залежності  $\delta P_{\Sigma}^{\max}(Q_{Kq}) = f(Q_{Kq})$  дозволяє знайти максимально можливе зниження втрат від заданої сумарної потужності КУ  $Q_{K3}$ ,  $\delta P_3^{\max} = f(Q_{K3})$  і навпаки - оптимальну сумарну потужність КУ  $Q_{K\Sigma}^o$  для забезпечення заданої величини втрат  $f_3$ :

$$Q_{K\Sigma}^o = f_3^{-1}(Q_{K3}), \quad (4)$$

де  $f_3^{-1}(Q_{K3})$  значення функції, оберненої до  $f(Q_{K3})$  при заданій величині втрат  $f_3$  [4, 5].

Відповідно приведених положень проведено поетапний розрахунок КРП в розподільній мережі, який показав можливість зменшення об'єму інформації при розв'язанні задачі.

## Висновки

На основі формули Тейлора розроблена модель декомпозиції функції зниження втрат активної, що дозволяє проводити розрахунок КРП в окремій підсистемі ЕМ з врахуванням усіх інших підсистем і відповідно зменшити затрати на реалізацію цього розрахунку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. В 2-х книгах. Книга 1 / пер. с англ. к.т.н. В.Я. Алтаева, В.И. Моторина. – Москва: Мир, 1986. – 347с
3. Демов О.Д., Паламарчук О.П. Декомпозиція електричних мереж при розрахуванні компенсації реактивної потужності в них // Вісник національного університету Львівська політехніка, Електроенергетичні та електромеханічні системи. № 637. – 2009. – С. 24-27.
4. Демов О.Д., Миндюк А.Б., Бандура І.О. Розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільній мережі енергопостачальних компаній при дефіциті коштів // Новини енергетики – 2011. – № 4. - С. 38 - 44.
5. Демов О.Д., Хінді Айман Тахер Поетапне впровадження конденсаторних установок в електричні мережі промислових підприємств // Технічна електродинаміка. – 2002. – № 2. – С. 55–58.

**Олександр Дмитрович Демов** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: demov@yandex.ru.

**Demov Alexander D.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: demov@yandex.ru.

## ГРАДІЄНТНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Запропоновано поетапний розрахунок впровадження конденсаторних установок в розподільні електричні мережі на основі градієнтного методу, що забезпечує максимальну економічну ефективність на кожному з етапів впровадження.*

**Ключові слова:** компенсація реактивної потужності, електричні мережі, реактивні навантаження.

### *Abstract*

*It is shown that economical efficacy of condenser battery's insulation can be largely changed at the expense of changing its powers and places of installing. It's proposed consistent method of insulation of condenser installation in electrical networks of industrial plants which guarantees maximum economical efficacy on every insulation steps.*

**Keywords:** compensation of jet power, distributive networks, jet loadings.

### Вступ

Зниження втрат електроенергії в розподільних мережах (РМ) є однією з основних задач енергопостачальних компаній (ЕК). В значній мірі цього зниження можна досягнути за рахунок установлення конденсаторних установок (КУ) в цих мережах. На сьогоднішній день є ряд методів розрахунку розміщення КУ в електричних мережах [1, 2].

В цих методах припускається, що ЕК мають можливість установити всі КУ одночасно, а проміжні кроки по впровадженню результатів не розглядаються. В дійсності вказані компанії знаходяться в умовах фінансових обмежень, які не дозволяють одночасного установлення КУ. Таким чином виникає задача в розрахунку поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільній мережі енергопостачальних компаній при умові дефіциту коштів. Математично такий розрахунок можна здійснити градієнтним методом.

*Метою роботи є розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільній мережі енергопостачальних компаній за допомогою градієнтного методу.*

### Результати дослідження

Якщо на кожному етапі встановлювати КУ невеликої потужності  $\Delta Q_k$ , то  $\delta P_t$  буде визначати градієнт функції зниження втрат на  $t$ -му кроці, а  $\delta P_{t+1}$  – градієнт функції зниження втрат на  $t+1$ -му кроці. Максимум цієї функції досягається рухом у напрямку максимального її градієнта. Відповідно, забезпечуючи максимальне зниження втрат на кожному етапі, ми тим самим забезпечуємо максимальне зниження втрат за весь період впровадження.

Зниження втрат, яке ми одержимо від установлення КУ на всіх кроках, починаючи з  $t$ -го, складається зі зниження на  $t$ -му етапі  $\delta P_t$  плюс умовне оптимальне зниження на всіх наступних етапах, починаючи з  $(t+1)$ -го –  $\delta P_{t+1}$ .

$$\delta P_{\Sigma t} = \delta P_t(S, U_t) + \delta P_{t+1}(S, U_t), \quad (1)$$

де  $S$  – стан мережі, який вона набула в результаті попередніх кроків;  $U_t$  – процедура впровадження КУ на  $t$ -му кроці.

Очевидно, яким би не був стан мережі в результаті попередніх кроків впровадження КУ, ми повинні вибирати впровадження на найближчому кроці так, щоб воно, в сукупності з впровадженням на

всіх наступних кроках забезпечувало максимальне зниження втрат за період впровадження T:

$$\delta P_{\sum t}^{\max} = \max_{t=1}^{t=T} \{ \delta P_t(S, U_t) + \delta_t P_{t+1}(S, U_t) \}, \quad (2)$$

де  $\delta P_t$  – зниження на t-му кроці;  $\delta P_{t+1}$  – умовне оптимальне зниження на всіх наступних кроках, починаючи з (t + 1)-го [3].

Розглянемо оптимізацію впровадження КУ шляхом їх покрокового установлення. Розбиваємо процес оптимізації на n кроків. На i-ому кроці в j-ому вузлі передбачається установлення КУ потужністю  $Q_{kij}$ , яке характеризується зниженням втрат  $\delta P_{ij}$ .

Зниження втрат в розподільчих мережах при установленні КУ потужністю  $Q_{kij}$  в j-ому вузлі на i-ому кроці впровадження визначається як:

$$\delta P_{ij} = \frac{1}{U_n^2} [R_{jj}(2Q_{cj}Q_{kij} - Q_{kij}^2) + 2Q_{kij} \sum_{p=1}^{n-1} Q_{cp}R_{jp}], \quad (3)$$

де  $R_{jj}$  - вхідний опір j-го вузла,  $R_{jp}$  - взаємний опір j-го p-го вузлів;  $Q_{cj}, Q_{cp}$  – середні реактивні навантаження відповідно j-го та p-го вузлів;  $p=1, \dots, n-1$ ;  $U_n$  - номінальна напруга мереж.

З формули (3) видно, що установлення КУ потужністю  $Q_{kij}$  в різних вузлах дає різну величину  $\delta P_{ij}$ . Це дає можливість вибрати таке місце установлення КУ, яке забезпечує найбільше зниження втрат. При цьому необхідно врахувати, що в більшості вузлів розподільчих мереж установлення КУ неможливе по технічним причинам. Таким чином максимальне зниження втрат на i-ому етапові розрахунку визначається перебором всіх можливих місць установлення КУ:

$$\delta P_{ij}^{\max} = \max_{j=1}^{j=n} (\delta P_{ij}). \quad (4)$$

Результати розрахунків по формулам (3,4) дозволяють побудувати залежність зниження втрат від сумарної потужності КУ  $f(Q_k)$ . Наявність цієї залежності дозволяє знайти максимально можливе зниження втрат від заданої величини коштів [4].

Залежність  $f(Q_k)$  можна інтерпретувати як траєкторію оптимального процесу установлення КУ, координати якої дають можливість знаходити оптимальне розв'язання задачі компенсації реактивної потужності в електричних мережах при заданій величині коштів.

### Висновки

1. Установлення конденсаторних установок в розподільних мережах енергопостачальних компаній доцільно проводити поетапно, що дає можливість враховувати їх обмежені фінансові можливості.
2. Розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільній мережі енергопостачальних компаній доцільно проводити за допомогою градієнтного методу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоиздат, 1985. – 200с.
2. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
4. Чаленко А.А., Демов А.О., Демов О.Д., Хінді Айман Тахер Метод впровадження конденсаторних установок в районні електричні мережі. Енергетика и электрификация. – 2003. – №2. – С. 35–39.

**Москвічова Марія Юрївна** — студент групи 4Е-126, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email : [demov@yandex.ru](mailto:demov@yandex.ru).

**Москвічова Марія Юрївна** — студент групи 4Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Moskvichova Masha** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Demov Alexander** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [demov@yandex.ru](mailto:demov@yandex.ru).

## СУЧАСНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ВІМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЇЇ ЯКОСТІ

Вінницький коледж Національного університету харчових технологій

### *Анотація*

*Проведено аналіз сучасних систем вимірювання параметрів якості електроенергії. Наведено їх технічні характеристики та розглянуті додаткові функції*

**Ключові слова:** якість електроенергії, вимірювальні системи, показники якості електроенергії.

### *Abstract*

*The analysis of the modern systems of measuring of parameters of quality of electric power is conducted. They are resulted technical descriptions and user facilities are considered.*

**Keywords:** quality of electric power, measurings systems, indexes of quality of electric power.

### **Вступ**

Важливою умовою забезпечення якості електроенергії в мережах України є технічна можливість здійснювати вимірювання показників, визначених діючим ГОСТ 13109-97.

Першим технічним засобом, який дозволяв в комплексі виміряти всі показники якості електроенергії (ПКЕ) був вимірювальний – обчислювальний комплекс (ВОК) «Якість», який серійно вироблявся на ПО «ЕЛЕКТРОВІМІРЮВАЧ», м.Житомир. Він призначався для стаціонарної установки на підстанціях великих промислових підприємств і на підстанціях енергосистем, від яких отримувало живлення ряд підприємств та забезпечував вимірювання ПКЕ у відповідності до ГОСТ 13109-67.

Конструктивно ВОК мав дві стойки (580x650x1600 мм) і стіл (800x600x1025 мм). У комплект ВОК входило також два розташованих за стойками настінних блоки, до одного з яких підводилося трифазне живлення, до другого – вимірювальні кола восьми каналів.

ВОК проводив статистичний аналіз процесів зміни ПКЕ за заданий інтервал часу (до 3 діб), автоматично (через 1 г) роздруковував значення математичних сподівань, дисперсій і середньоквадратичних відхилень вимірювальних величин.

Метою роботи є порівняння та аналіз сучасних вимірювальних систем, що дозволяють вимірювати показники якості електроенергії та реалізують методики вимірювань, встановлені ГОСТ 13109-97.

### **Характеристика сучасних вимірювальних систем**

Енергетична розрахунково-інформаційна система для контролю якості та обліку електроенергії ЭРИС-КЭ є спеціалізованим комп'ютером, тобто є програмованим засобом вимірювання. Відповідно до вимог ГОСТ 13109-97 прилад ЭРИС-КЭ вимірює одночасно і безперервно у всіх фазах наступні нормовані ПКЕ:

стале відхилення напруги і відхилення частоти;

коефіцієнт спотворення синусоїдальности напруги і коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги;

коефіцієнти несиметрії напруги зворотної і нульової послідовностей;

розмах зміни напруги;

дозу флікера;

тривалість провалу напруги.

Слід зазначити, що на відміну від інших засобів вимірювання ЭРИС-КЭ вимірює такі ПКЕ, як доза флікера (короткочасна і тривала) і імпульсна напруга. Крім встановлених в ГОСТ 13109-97 нормованих ПКЕ цей прилад вимірює також коефіцієнт тимчасової перенапруги і ряд допоміжних параметрів електроенергії: частоту повторень змін напруги і частоту появи її провалів, тривалість імпульсу і тимчасової перенапруги, глибину провалу напруги. Крім того, ЭРИС-КЭ визначає по інтервалах вимірювань відносний час перевищення нормально допустимих і гранично допустимих нормованих значень ПКЕ. Це час, встановлений "Інструкцією про порядок розрахунку за теплову і електричну

енергію", враховується при визначенні знижок (надбавок) з тарифів залежно від якості електроенергії, що відпускається.

Проте для аналізу ПКЕ, зокрема, для комерційних розрахунків за електричну енергію між енергопостачальною компанією та споживачем і застосування знижок (надбавок) із встановлених тарифів необхідно не тільки заміряти ПКЕ, але і визначити винуватця спотворень (енергопостачальна компанія або споживач) в мережі. Для реалізації цього приладу ЭРИС-КЭ має можливість вимірювати такі параметри електроенергії, необхідні при аналізі її якості, як коефіцієнти несинусоїдальності і гармонійних складових по струму, коефіцієнт несиметрії по струму, коефіцієнт потужності, повна, активна і реактивна потужність по кожній гармоніці і з урахуванням всіх гармонік спотворення, а також потужність, обумовлена струмами зворотної і нульової послідовностей. Крім того, прилад вимірює фазові кути між напругою і струмами однойменних гармонік, зворотної і нульової послідовностей, середньоквадратичні значення напруги і струму, перевищення струмом заданого номінального значення і, нарешті, електроенергію (активну і реактивну), що дозволяє використовувати ЭРИС-КЭ також як лічильник електричної енергії класу точності не нижче 0,5. Всі вимірювання проводяться з точністю, що відповідає достатньо жорстким вимогам ГОСТ 13109-97.

Оскільки ЭРИС-КЭ є високоточним приладом, що вимірює широкий спектр величин, виникають труднощі з його метрологічною перевіркою за допомогою нині чинних методик. Визначення похибок вимірювань кожного показника у всьому їх діапазоні – робота вельми трудомістка і тривала. Крім того, для проведення метрологічної перевірки приладу необхідні зразкові прилади (вольтметри, амперметри, генератори, фазометр, частотомір і т. д.), клас точності яких повинен бути в 2 – 3 рази вище, ніж у приладу, що перевіряється, що значно здорожує процедуру перевірки або взагалі робить її неможливою.

Для того, щоб максимально спростити процедуру повірки, а також підвищити точність і міру достовірності її результатів, розроблений програмований вимірювальний генератор сигналів (калібратор), що виконує функції джерела сигналу напруги, що калібрується (струму). За допомогою калібратора, клас точності якого в 3 рази вищий, ніж у ЭРИС-КЭ, можна задати еталонний сигнал напруги з будь-якими спотвореннями. Процедура повірки автоматизована і займає близько 2 г.

На сьогоднішній день в Україні з'явився вітчизняний засіб вимірювання ПКЕ – «Аналізатор напруг і струмів в електричних мережах «АНТЭС» виробництва "ТОВ «ЭЛВИС» (м. Харків)], що відповідає всім вимогам і пройшов метрологічну атестацію

Аналізатор «АНТЭС» призначений для проведення таких видів робіт:

експертна оцінка якості електроенергії електропостачальними та електроспоживаючими організаціями;

контроль якості електроенергії під час визначення умов договору між електропостачальними і електроспоживаючими організаціями;

періодичний контроль якості електроенергії електропостачальними та електроспоживальними організаціями;

контроль якості електроенергії при підключенні до мережі нових об'єктів електроспоживчими організаціями;

контроль якості електроенергії при розгляді спірних питань між електропостачальними та електроспоживчими організаціями про тариф на електроенергію за умов невідповідності показників її якості вимогам ГОСТ 13109-97.

Аналізатор «АНТЭС» є портативним (габаритні розміри - не більше 290 мм х 120 мм х 215 мм; маса - не більше 3 кг). багатфункціональним засобом вимірювання

«АНТЭС» крім вимірювання показників якості електроенергії дозволяє вимірювати напругу, струм, кути фазового зсуву і показники електроспоживання в одно- і трифазних мережах.

Аналізатор «АНТЭС» дозволяє передавати виміряну інформацію в комп'ютер через інтерфейс USB для подальшого опрацювання.

При вимірюванні якості електроенергії «АНТЭС» підключається до мережі безпосередньо, якщо напруга не перевищує 380 В, а струм не перевищує 5 А. При вимірюваннях у мережах високої напруги «АНТЭС» підключається через вимірювальні трансформатори напруги. Якщо струм перевищує 5 А, то підключення здійснюється через трансформатори струму чи струмовимірювальні кліщі.

При проведенні робіт із визначення показників якості електроенергії треба використовувати повірені вимірювальні трансформатори напруги класу точності 0.2 (у крайньому випадку 0,5).

Якість електричної енергії відповідає вимогам, якщо одночасно виконуються такі умови:

а) значення ПЯЕ, що вимірюються, можуть перевищувати допустимі значення за час, що не перевищує 72 хвилини, при загальному часі вимірювань 24 години;

5) значення ПЯЕ, що вимірюються, не повинні виходити за граничнодопустимі значення протягом 24 годин вимірювань

Слід зазначити, що найбільш перспективним є визначення не тільки параметрів якості зазначених у ГОСТ 1310997, але і виявлення джерел погіршення якості електроенергії.

Розроблений аналізатор «АНТЭС» дозволяє виконувати «поліцейські» функції щодо ідентифікації джерел погіршення якості електроенергії завдяки тому, що приладом вимірюються додаткові характеристики струму, фазового кута і потужності.

Спільний аналіз усього комплексу вимірюваних аналізатором параметрів за допомогою «АНТЭС» дозволяє наочно представити протоколи і графіки результатів вимірювань.

### **Висновок**

Існуючі вимірювальні системи показників якості електроенергії дозволяють здійснювати контроль якості електроенергії по всіх показниках ГОСТ 13109-97. Вимірювання та обробка результатів здійснюються згідно методик, встановлених стандартом. Системи вимірювань мають ряд корисних додаткових функцій.

*Інна Анатоліївна Філіпська – заступник директора Вінницького коледжу Національного університету харчових технологій.*

*Filipska Inna A. – deputy of director of the Winnitca college National university of food technologies.*



# ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗНАНЬ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИКЛАДАННІ СПЕЦІАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН В НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ II РІВНЯ АКРЕДИТАЦІЇ

Вінницький коледж Національного університету харчових технологій

## **Анотація**

*Наведена інформація про сучасні енергозберігаючі асинхронні двигуни та трансформатори, яка може використовуватись при викладанні дисципліни «Електричні машини».*

**Ключові слова:** асинхронний двигун, трансформатор, втрати потужності.

## **Abstract**

*Information is resulted about modern енергозберігаючі asynchronous engines and transformers, which can be used for teaching of discipline the «Electric machines».*

**Keywords:** asynchronous engine, transformer, losses of power.

## **Вступ**

Навчальними закладами готуються фахівці з енергетичного менеджменту, які можуть запровадити ті або інші енергозбігаючі заходи на будь-яких діючих об'єктах. Але конкретні заходи з енергозбереження можна передбачити, наприклад, ще на етапі проектування або в процесі реконструкції систем електропостачання. Саме таку роботу у відповідності до кваліфікаційної характеристики виконують техніки-електрики. З цієї причини доцільно, щоб останні володіли знаннями з питань енергозбереження. Для реалізації цього при викладанні спецдисциплін слід приділяти увагу питанням енергозбереження.

Метою роботи є обмін досвідом з викладання питань енергозбереження при викладанні дисципліни «Електричні машини».

## **Питання енергозбереження при вивченні теми «Асинхронні машини»**

Аналіз проблеми енергозбереження показав, що більше половини електроенергії, що виробляється в світі, споживають електродвигуни. Тому над їх вдосконаленням працюють всі провідні електротехнічні компанії світу. За вимогами нового стандарту ІЕС 60034-30 встановлено зміни для двигунів класу ІЕ4 в діапазоні потужностей від 0,75 кВт до 375 кВт. Очікується, що втрати енергії у порівнянні з класом ІЕ3 знизяться на 15%.

Енергоощадні двигуни – це електродвигуни, ККД яких на 1–10 % вищий, ніж у стандартних двигунів. У потужних енергоощадних двигунах різниця в значеннях ККД складає 1–2 %, а в двигунах малої і середньої потужності – вже 7–10 %.

Недоліками електродвигунів з підвищеним ККД у порівнянні із звичайними є на 10 – 30 % вища вартість; дещо більша маса; вища величина пускового струму.

У деяких випадках використання енергоефективного двигуна є недоцільним:

- коли двигун експлуатується менше 1–2 тис. год/рік;
- при роботі двигуна в режимах з частими пусками, оскільки заощаджена електроенергія буде витрачена на вище значення пускового струму;
- при роботі двигуна з недовантаженням, внаслідок зменшення ККД при роботі на навантаження нижче номінального.

Нині освоєний випуск асинхронних короткозамкнених двигуни серії 7А (7AVE), які відносяться до трифазних АД з КЗР. Вони мають ККД на 2 – 4% вищий, ніж в аналогів (EffI). Двигуни випускаються зі стандартним рядом висот осі обертання від 80 до 355 мм, розраховані на потужності від 1 до 500 кВт. Промисловість випускає двигуни зі стандартною частотою обертання 1000, 1500, 3000 об/хв і напругою 220/380, 380/660. Двигуни виконані зі ступенем захисту IP54 і ізоляцією класу F. До переваг застосування асинхронних двигунів серії 7А відносяться:

- їх висока економічність;
- висока надійність і термін служби;
- рівень шуму приблизно в 2–3 рази по відношенню до двигунів попередніх серій;
- вони дозволяють виконувати більше число вмикань-вимикань і більш ремонтпридатні;
- двигуни можуть працювати при коливаннях напруги мережі до 10 %.

В електродвигунах серії 7А використовується обмотка нового виду, яку можна намотати на обмотувальному устаткуванні старого покоління. При виготовленні двигунів цієї серії застосовуються нові просочувальні лаки, що забезпечують вищу цементацію і високу теплопровідність обмотки.

### Новітня інформація з енергозбереження при вивченні теми «Трансформатори»

Електротехнічна промисловість освоїла випуск трансформаторів ТМГ. Порівняльна характеристика трансформаторів ТМГ та трансформаторів ТМ наведена в таблиці

Таблиця – Порівняльна інформація про втрати холостого ходу трансформаторів

Трансформатор трифазний, (кВА)	Втрати в осерді кремнієво-металічному(Вт)	Втрати в осерді аморфному (Вт)	Порівняльне зниження втрат, %
250кВА	520	150	71%
630кВА	1,000	280	77%
1000кВА	1,129	374	80%
1600кВА	2,100	490	77%
2500кВА	2,700	550	80%

Зменшення втрат енергії в енергозберігаючих трансформаторах досягається за рахунок:

- використання вдосконалених марок сталі;
- вдосконалення технології виготовлення магнітної системи і особливо технології різання сталі;
- вдосконалення конструкції осердя і, перш за все, стиків листів сталі.

Загалом, біля 50 % втрат в сталі складають втрати на вихрові струми і 50 % - на гістерезис, тому виробники намагаються зменшити товщину листів. Можливо покращити це значення завдяки використанню новітніх технологій виготовлення трансформаторів. Останні розробки з аморфною сталлю дозволяють скоротити втрати в трансформаторі до 60%. Трансформатори, виготовлені з аморфної сталі, за своєю конструкцією мають набагато важчі осердя, і тому більші за розміром, ніж традиційні трансформатори. Економія досягається за рахунок зменшення втрат, що виникають при намагнічуванні залізного осердя трансформатора.

Аморфні сплави – це матеріали, що мають випадкову, некристалічну структуру. Така структура характерна, наприклад, для скла. До складу цих сплавів входить дві групи елементів: перехідні метали (Fe, Co) і аморфні (B, C, Si). Аморфна структура сплаву виходить тільки при дуже високій швидкості охолодження, що досягає сотень тисяч градусів в секунду. Магнітопроводи з аморфних сплавів мають значно менші питомі магнітні втрати в порівнянні з аналогами з електротехнічної сталі, володіють високою магнітною проникністю і індукцією насичення. У таких трансформаторів втрати в магнітопроводі на 60-70% менше, ніж у трансформаторів, що використовують магнітопроводи з кристалічної сталі.

Отримані знання про сучасні трансформатори рекомендую впроваджувати при виконанні курсового проекту з дисципліни «Електропостачання», де проектується цехова система електропостачання та вибираються трансформатори, і даю інформацію про необхідні технічні характеристики.

### Висновки

При викладанні спецдисциплін необхідно знайомити студентів з сучасними науковими наробками з питань енергозбереження у відповідних розділах, передбачених навчальною програмою.

*Наталія Василівна Терешкевич – викладач-методист Вінницького коледжу Національного університету харчових технологій.*

*Tereshkevich Natal'ya V. – is a teacher-methodist of the Winnitca college National university of food technologies.*

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Здійснено порівняльний аналіз світлотехнічних характеристик світильників вуличного освітлення, який дозволив оцінити вплив використання лінз на підвищення ефективності світлодіодного освітлення.

**Ключові слова:** світильник, світлодіод, лінза, ефективність освітлення.

### Abstract

The comparative analysis of the lighting characteristics of the street lighting is realized, which allowed us to estimate the influence of the use of lenses to improve the efficiency of LED lighting.

**Keywords:** lamp, LED, lens, lighting efficiency.

### Вступ

Світлодіодне освітлення у більшості випадків є більш ефективним за традиційні джерела світла. Світильники із світлодіодами перевершують світильники з лампи розжарювання практично в усіх сферах застосування, а з розрядними лампи високого тиску особливо в областях, що вимагають використання кольорового світла. До переваг світлодіодного освітлення також відносяться: висока світловіддача (відношення світлового потоку до спожитої потужності з електричної мережі); постійність кольору і колірної температури; значний корисний термін служби світлодіодів в порівнянні з традиційними джерелами світла; світлодіоди не генерують інфрачервоне випромінювання і можуть встановлюватися поблизу людей і матеріалів, де використання традиційних джерел світла може бути небезпечним; на відміну від люмінесцентних ламп, не випромінюють шкідливих ультрафіолетових променів, що руйнують матеріали і знебарвлюють фарби та інші [1,2].

Описуючи переваги світлодіодного освітлення варто відмітити, що існують рішення, які підвищують ефективність його використання. Серед них є застосування лінз та коліматорів, які розподіляють світловий потік світлодіодів в потрібних напрямках.

Метою роботи є обґрунтування ефективності застосування оптичних лінз для світлодіодних світильників.

### Результати дослідження

З використанням методу побудови кривої сили світла світильників вуличного освітлення, що наведено в [3], здійснено дослідження двох світлодіодних світильників, потужністю 60 Вт з використанням лінз та без них. Дослідну установку наведено на рис. 1.

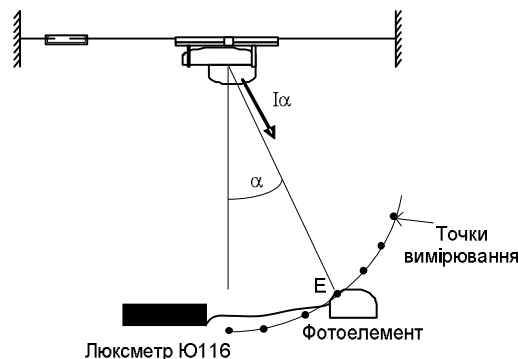


Рис. 1. Вимірювання освітленості для побудови кривої сили світла

В результаті вимірювання і з використанням формули  $I_{\alpha} = E_{\alpha} \cdot l^2 / \cos \alpha$  [3], де де  $I_{\alpha}$  – сила світла при певному куті  $\alpha$ , кд;  $l$  – відстань від світильника до розрахункової точки простору, м;  $E_{\alpha}$  – освітленість в точці вимірювання, лк, побудовано криві сили світла для світильника із світлодіодами без використання лінз і з використанням лінз (рис. 2). Значення сили світла розраховані для реально-го світлового потоку світильників і не приведені до стандартного значення 1000 лм.

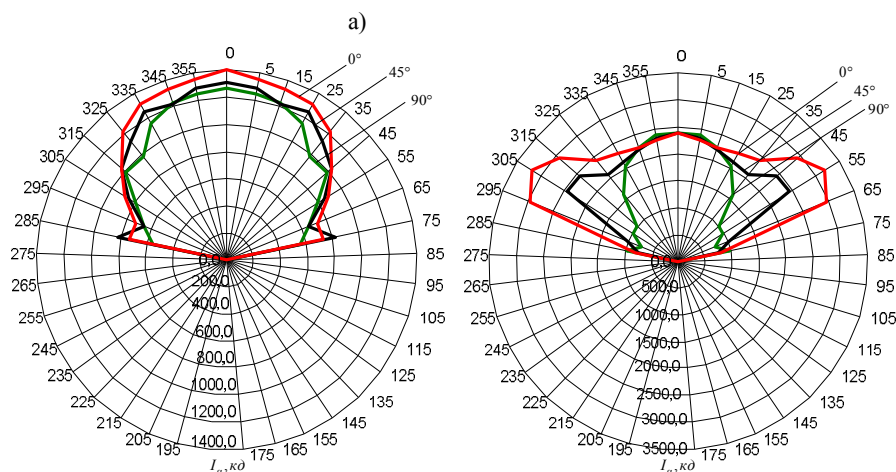


Рис. 2. Дослідні криві сили світла: а) без використання лінз, б) з використанням лінз

Як видно з рис. 2б, використання світильника з лінзами дозволяє підвищити його ефективність в різних меридіанних площинах. Наприклад, в площині  $0^{\circ}$  (вздовж дороги) при куті  $65^{\circ}$  (приблизно середина між опорами освітлення) сила світла у світильника з лінзою приблизно в 4,5 разів більша ніж у світильника без лінзи. Відповідно, в стільки ж разів буде більша і освітленість. Таким чином, використання оптичних лінз призводить до ефективнішого використання світлового потоку в системах освітлення і, відповідно, сприяє збільшенню енергоефективності останніх.

## Висновки

Проведено експериментальне дослідження світлодіодних світильників однакової потужності (60 Вт) в використанні та без використання оптичних лінз. Встановлено, що використання лінз призводить до підвищення ефективності використання світлового потоку в 1,5–4,5 разів в залежності від кута вектора сили світла і, відповідно, до економічності систем освітлення із світлодіодними світильниками.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко О. В. Енергетичний аудит. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 71 с.
2. Переваги світлодіодного освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ledleo.com.ua/ua/novosti/noviki-led-osveshcheniia/> (дата звернення 01.03.2015). — Назва з екрана.
3. Бабенко О. В. Наближений метод побудови кривої сили світла світильників вуличного освітлення / О. В. Бабенко, В. В. Захаров, А. А. Видмиш // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 38–42.

**Олексій Вікторович Бабенко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроживлення та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: oleksij\_babenko@ukr.net;

**Денис Валерійович Пакула** — студент групи Е-14бмс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Babenko Oleksii V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksij\_babenko@ukr.net;

**Pakula Denys V.** — Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Наведені результати експериментальних досліджень в системі електропостачання діючого підприємства. Зроблені висновки про стан якості електроенергії та особливості компенсації реактивної потужності в таких умовах.

**Ключові слова:** якість електроенергії, експериментальні дослідження, несиметрія напруг, відхилення напруг.

## Abstract

The experimental results are already operating power company. Conclusions on the status of power quality and characteristics of reactive power compensation in such circumstances.

**Key words:** quality of electricity, experimental study, asymmetry voltage, voltage deviation.

## Вступ

Сучасний розвиток електроенергетики характеризується широким впровадженням енергоємних нетрадиційних споживачів електроенергії, що відрізняються нелінійними і пофазно різними параметрами, а також високою швидкістю зміни їх в часі. Їх робота позначається на якості електроенергії, яка нормується ГОСТ 13109-97 [1]. Серед показників якості електроенергії є показники, що нормують несиметрію електричного режиму.

В даний час несиметрія напруг в електричних мережах і системах загального і спеціального призначення стали чинниками, які істотно знижують ефективність роботи, як самих систем електропостачання, так і споживачів, підключених до них.

Будь-які технічні рішення, спрямовані на усунення несиметрії напруг, передбачають проведення попередніх досліджень в діючій електричній мережі.

Мета роботи: експериментальні дослідження напруг в системі електропостачання Жмеринського м'ясокомбінату та формулювання висновків щодо стану якості електроенергії по деяким показникам.

## Результати експериментальних досліджень

18 квітня 2015 року на шинах низької напруги підстанції 10/0,4 кВ Жмеринського м'ясокомбінату проводились разові вимірювання фазних та лінійних напруг при вимкнених секціях БСК. За результатами вимірювань розраховано значення відхилень напруги по фазах та коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній послідовності

Таблиця – Результати експериментальних досліджень на Жмеринському м'ясокомбінаті

№ експерименту	Параметри, що вимірювались						Розраховані значення параметрів якості електроенергії			
	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$\delta U_{yA}, В$	$\delta U_{yB}, В$	$\delta U_{yC}, В$	$k_{2U}, \%$
1	219,1	232,2	222,0	390,9	388,8	397,4	0,9	12,2	2,0	2,36
2	225,7	231,2	226,5	398,4	400,1	394,8	5,7	11,2	6,5	1,42
3	231,0	232,1	228,0	403,3	402,2	401,2	11,0	12,1	8,0	0,55
4	224,0	227,0	225,0	405,0	404,0	399,0	4,0	7,0	5,0	1,68

Позначення, які використані в табл. :  $U_A, U_B, U_C$  – напруги в фазах А, В, С;  $\delta U_{yA}, \delta U_{yB}, \delta U_{yC}$  – відхилення напруги, що встановилося, в фазах А, В, С;  $k_{2U}$  – коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності.

## Висновки

1. В системах електропостачання навіть і тих, які не мають потужних електроприймачів несиметричного виконання, можуть скластися режими, для яких  $k_{2U}$  сягає, як суттєвих величин (експеримент №2 та №4), так і величин, які перевищують нормовані значення (експеримент №1).

На результати керування реактивною потужністю за допомогою БСК впливає несиметрія напруги в вузлі їх під'єднання [2] і тому, якщо несиметрія суттєва, керуючі рішення слід приймати, беручи до уваги цей вплив.

2. Природно, що при несиметрії режиму  $\delta U_y$  по фазах мають різні значення. При цьому можливе перевищення  $\delta U_y$  допустимого значення лише по одній із фаз (експеримент №1 - №3). В таких випадках, якщо в результаті керування здійснюється вплив на  $\delta U_y$ , необхідно контролювати його результати лише по одній із фаз (у випадку керування реактивною потужністю по тій фазі, де вихідне значення  $\delta U_y$  найбільше).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Взамен ГОСТ 13109-87; Введ. 01.01.00. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с.

2. Терешкевич Л.Б. Аналіз впливу батарей статичних конденсаторів на роботу системи електропостачання з несиметричною напругою / Л.Б. Терешкевич, Т.М. Червінська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №2. – С. 39–43.

**Станіслав Вячеслав Павлович** - студент групи 3Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Sllavastan@mail.ru;

Науковий керівник: **Терешкевич Леонід Борисович**, професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Vyacheslav Stanislavov** - student group 3E-12b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Sllavastan@mail.ru;

Supervisor: Dr. **Tereshkevich Leonid B.** Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 кВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Запропоновано підхід до вирішення задачі оптимізації розподільної електричної мережі 0,4кВ та наводить математична модель вирішення підзадачі оптимального розподілу однофазних навантажень при їх під'єднанні до лінійних напруг вузла навантаження, яка є підзадачею найнижчого ієрархічного рівня.*

**Ключові слова:** несиметричне навантаження, внутрішнє симетрування.

### *Abstract*

*The approach to solving the optimization problem of distributive electric networks 0,4 kV and leads Xia mathematical model of optimal allocation of subtasks solution-phase loads when they are connected to the line voltage node load, which is the lowest hierarchical level subtasks.*

**Keywords:** asymmetrical load , internal balancing

### Вступ

Живлячі мережі 0,4 кВ енергопостачальних компаній мають розгалужений характер, а споживачі, які від них отримують електроенергію, переважно однофазного виконання. В результаті їх під'єднання до трифазної мережі створюється несиметричний режим. Рівномірний розподіл споживачів між напругами мережі дозволить зменшити несиметрію режиму.

Оскільки несиметрія режиму в багатьох випадках виходить за межі допустимих ГОСТ 13109-97 значень, то виникає потреба в забезпеченні стандарту [1]. В першу чергу для цього повинні використовуватись заходи, що не потребують капітальних вкладень або такі, де ці вкладення мінімальні.

Зменшити несиметрію режиму в електричних мережах можна шляхом рівномірного розподілу однофазних навантажень у вузлах мережі, правильного під'єднання відгалужень до магістральних ліній та магістральних ліній до шин трансформаторної підстанції (ТП).

Метою роботи є розробка підходу до оптимізації розподільної електричної мережі 0,4 кВ та розробка математичної моделі підзадачі оптимального розподілу однофазних навантажень при їх під'єднанні до лінійних напруг вузла мережі.

В схемі розподільної мережі 0,4 кВ можна виділити такі ієрархічні рівні, по яким рішення з рівномірного розподілу навантажень в фазах трифазної мережі необхідно погоджувати:

- ТП;
- магістраль, яка відходить від ТП;
- вузол навантаження.

Електричні режими вузлів навантаження формують режими в магістральних лініях, а останні – ТП. Виходячи із згаданого принципу формування електричного режиму, можна встановити, що найбільш високим ієрархічним рівнем є ТП, далі магістральна лінія, і найнижчий рівень із тих, які розглядаються, вузол навантаження.

Для того, щоб вирішити дану складну оптимізаційну задачу, необхідно її розбити на ряд простих підзадач на кожному ієрархічному рівні і виконувати розрахунки починаючи з найнижчого (вузол мережі).

### **Математична постановка задачі оптимально під'єднання однофазних навантажень до мережі**

Серед можливих варіантів оптимального під'єднання групи однофазних навантажень до вузла, яке забезпечує мінімальний рівень несиметрії параметрів режиму можуть бути такі:

- під'єднання однофазних навантажень, що мають різні параметри, до лінійних напруг;
- те саме, до фазних напруг;

– те саме, до лінійних і фазних напруг.

Математична модель, що дозволяє оптимально під'єднати однофазні навантаження до лінійних напруг має вигляд:

$$\begin{cases} \Delta P_{\Sigma} = 3 \left\{ \left| \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{Iim} x_{im} \right| \right\}^2 \cdot r_{II} \rightarrow \min \\ \sum_{m=1}^3 x_{im} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \\ x_{im} \in \{1, 0\}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\dot{I}_{Iim}$  - вектор струму зворотної послідовності, що створюється  $i$ -тим навантаженням, при його під'єднанні до напруги  $m$  ( $m=1, 2, 3$ :  $m=1$  код напруги  $\dot{U}_{AB}$ ,  $m=2$  код напруги  $\dot{U}_{BC}$ ,  $m=3$  код напруги  $\dot{U}_{CA}$ );

$x_{im}$  - булева змінна, якщо  $x_{im}=1$  то  $i$ -те навантаження під'єднується на напругу  $m$ , а якщо 0, то не під'єднується до напруги  $m$ ;

$r_{II}$  - активний опір струмам зворотної послідовності лінії живлення.

Критерієм ефективності моделі (1) є додаткові втрати активної потужності зумовлені струмами зворотної послідовності в лінії живлення.

Обмеження моделі описують вимогу обов'язкового під'єднання кожного однофазного навантаження до мережі.

Математична модель (1) відноситься до класу моделей нескаларної оптимізації [2]. Для знаходження оптимального під'єднання навантажень за моделлю (1) розроблено метод обмеженого перебору можливих варіантів, який реалізується алгоритмом, що зображений на рис. 1.



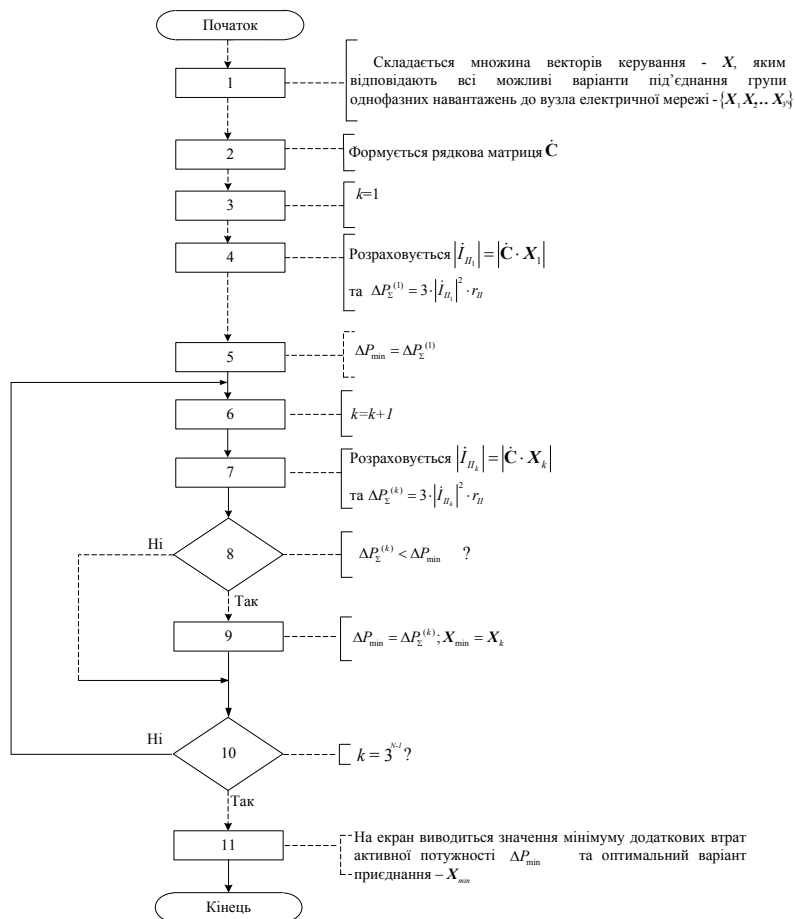


Рис.1 - Алгоритм для визначення оптимального варіанту під'єднання однофазних навантажень до лінійної напруги шляхом обмеженого перебору варіантів

Рядкова матриця  $\hat{C}$  формується із струмів  $\hat{I}_{lim}$  таким чином:

$$\hat{C} = (\text{Re}\hat{I}_{II11} + j \text{Im}\hat{I}_{II11} \quad \text{Re}\hat{I}_{II12} + j \text{Im}\hat{I}_{II12} \quad \text{Re}\hat{I}_{II13} + j \text{Im}\hat{I}_{II13} \quad \text{Re}\hat{I}_{II21} + j \text{Im}\hat{I}_{II21} \\ \text{Re}\hat{I}_{II22} + j \text{Im}\hat{I}_{II22} \quad \text{Re}\hat{I}_{II23} + j \text{Im}\hat{I}_{II23} \dots \\ \text{Re}\hat{I}_{IIN,1} + j \text{Im}\hat{I}_{IIN,1} \quad \text{Re}\hat{I}_{IIN,2} + j \text{Im}\hat{I}_{IIN,2} \quad \text{Re}\hat{I}_{IIN,3} + j \text{Im}\hat{I}_{IIN,3}) \quad (2)$$

Компоненти вектора  $X$  є змінні математичної моделі (1) -  $x_{im}$ . Вектор  $X$  складається із блоків:

$$X^T = (x_1 \ x_2 \ x_3 \dots x_n \dots x_{N-1})^T, \quad (3)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_{N-1}$  – вектори керування по 1; 2...n...N-1 однофазному навантаженню, які задовольняють умову обов'язкового під'єднання до мережі кожного із них.

Комбінації можливих під'єднань однофазних навантажень для визначення оптимального варіанту, можуть намічатись за схемою, табл. 1.

Таблиця 1 - Варіанти під'єднання однофазних навантажень до вузла електричної мережі

Комбінація під'єднання	Однофазні навантаження та варіанти їх під'єднання									
	Навантаження 1			Навантаження 2			...	Навантаження N-1		
	U <sub>A</sub>	U <sub>B</sub>	U <sub>C</sub>	U <sub>A</sub>	U <sub>B</sub>	U <sub>C</sub>		U <sub>A</sub>	U <sub>B</sub>	U <sub>C</sub>
1	1	0	0	1	0	0		1	0	0
2	1	0	0	1	0	0		0	1	0
3	1	0	0	1	0	0		0	0	1
...										
$3^{N-1}$	0	0	1	0	0	1		0	0	1

## Висновки

1. Знайти розв'язок задачі оптимізації розподільної мережі 0,4 кВ можна шляхом її декомпозиції на ряд підзадач з послідовним розв'язуванням кожної із них.
2. Для однієї із можливих підзадач – задачі оптимального під'єднання однофазних навантажень до лінійних напруг у вузлі мережі, розроблено математичну модель та алгоритм знаходження оптимального розв'язку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Куско А. Качество энергии в электрических сетях / Куско А., Томпсон М.: перевод с английского Рабодзея А.Н//. – М.: Додэка XXI, 2008 – 336 с.
- 2.Аввакумов В. Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения [Текст] / В. Г. Аввакумов.// – К.: Вища школа, 1990. – 188 с. ISBN 5-11-001321-7

**Леонід Борисович Терешкевич** — канд. техн. наук, доц., завідувачий кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

**Олександр Олексійович Хоменко** — аспірант кафедри ЕСЕЕМ, e-mail: cah4os2008@mail.ru.

**Leonid B. Tereshkevich** - candidate. Sc. Science , PhD. , Chair of electrical power consumption and power management.

**Oleksandr O. Khomenko** - postgraduate of ESEEM , e-mail: cah4os2008@mail.ru.

# АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ УМОВ ДОПУСТИМОЇ РОБОТИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРОЦЕСОРА EXCEL

Вінницький національний технічний університет;

## Анотація

Проведено аналіз вимог що висувуються до повітряних ліній при їх проектуванні. Розроблено математичну модель для вибору параметрів повітряної лінії.

**Ключові слова:** повітряні лінії електропередачі, математична модель, автоматизація.

## Abstract

The analysis of the requirements that apply to overhead power lines in their design is done. Mathematical model for options power lines is done.

**Keywords:** Overhead power lines, mathematical model, automation.

## Вступ

При проектуванні будь-яких промислових об'єктів значну увагу приділяють спорудженню ліній електропостачання. Щоб забезпечити передачу потужності усім споживачам, кількість та потужність яких збільшується, потрібно будувати нові лінії електропередачі, або замінювати старі на лінії з більшою пропускну здатністю.

При виборі кожної лінії потрібно знайти її оптимальні параметри. Обрахунок цих параметрів доволі кропітка робота. Вибір конструкційних матеріалів, проводів та ізоляції також виконується за цими параметрами [1].

Зараз на ринку присутня велика різноманітність проводів, кабелів та інших матеріалів, що ускладнює їх вибір. Оскільки потрібно вибрати такий провід, щоб задовольняв умовам електричних навантажень, а також був якомога економічно вигіднішим.

Застосування програмних комплексів спрощує та пришвидшує цей процес. При виконанні цієї роботи буде створений комплекс програм за допомогою яких усі внесені до бази даних марки проводів будуть перевірятись на допустимість та виводитись на екран комп'ютера.

## Результати дослідження

Проектування і спорудження повітряних ліній електропередачі ведеться у відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» [2]. Проектування будівельних конструкцій опор і фундаментів проводиться на підставі «Державних будівельних норм». У «Правилах улаштування електроустановок» встановлені вимоги до ліній з різними напругами, виходячи з їх призначення: чим вище напруга і потужність лінії, тим більший збиток приносить її пошкодження. Тому до ліній з більш високою напругою пред'являються і більш суворі вимоги.

У цій роботі було проаналізовано такі вимоги що виділяють для повітряних ліній електропередачі [3]:

- Умова що враховує механічну стійкість повітряної лінії
- Умова допустимості на нагрів в нормальному режимі роботи
- Умова допустимості нагрівання в після аварійному режимі роботи
- Умова короткочасного нагрівання струмами короткого замикання
- Умова допустимості втрат напруги в нормальному та аварійному режимі роботи
- умова недопустимості загального коронування

Математична модель вибору оптимального перерізу повітряної лінії має вигляд:

$$k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(x) \geq I_{\text{л}}; \quad k_{\text{доп}} = k_{\text{с}} \cdot k_{\text{п}}; \quad (1)$$

$$k_{\text{л}} > 1 \Rightarrow x_{\text{падоп}} \equiv k_{\text{па}} \cdot k_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}}(x) \geq k_{\text{ппа}} \cdot k_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}; \quad (2)$$

$$\Delta U_{\text{н}}(x) \leq \Delta U_{\text{доп}}; \quad (3)$$

$$k_L > 1 \Rightarrow x \geq x_{\text{па}\Delta U} \equiv \Delta U_{\text{па}}(x) \leq \Delta U_{\text{доп}}; \quad (4)$$

$$x \geq x_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_n}}{C}; \quad (5)$$

$$x \geq x_{\text{кор}}; \quad (6)$$

$$x \geq x_{\text{мех}}; \quad (7)$$

$$x \in X. \quad (8)$$

### Висновки

В результаті аналізу вимог, що висуваються до повітряних ліній при їх проектуванні, було створено математичну модель для вибору повітряної лінії за заданими параметрами потужностей, що мають передаватись, та довжини лінії.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б.І., Камінський А.В. Комп'ютерне моделювання процесу пошуку оптимальних перерізів кабельних ліній / Мокін Б.І., Камінський А.В. // Вісник ВПІ. - 2001. - №5. - С. 49-54.
2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України.// - 5-те вид., перероб. і доп. - Харків, 2014. — 793 с.
3. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий : СН 174-75 -М.: Стройиздат, 1976. – 40 с.

**Анатолій Володимирович Гнатюк** — студент групи Емс-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tolya.gnat@gmail.com;

Науковий керівник: **Олександр Миколайович Кравець** — к.т.н., доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Anatoliy V. Gnatyuk** — student of Emc-14b Faculty of Electrical Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tolya.gnat@gmail.com;

Supervisor: **Oleksandr M. Kravets** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of electrical power consumption and power management department, Vinnitsa National Technical University. Vinnitsa.

## ВИБІР РЕЖИМУ РОБОТИ НЕЙТРАЛІ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6-35КВ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація**

Режим роботи нейтралі залежить від конструктивного виконання, протяжності, умов безпеки, необхідної надійності, допустимих перенапруг та інших факторів. Аналіз режимів роботи нейтралі показав, що резистивна система заземлення нейтралі для повітряних мереж напругою 6–35 кВ сільськогосподарського призначення є найбільш ефективною.

**Ключові слова:** мережі напругою 6-35 кВ, режим роботи нейтралі, резистивна система заземлення

**Abstract**

Neutral mode, which depends on constructive execution, length, conditions of security necessary reliability allowable surge and other factors. Analysis of neutral mode shown that resistive neutral grounding system for air networks with voltage 6-35 kV for agricultural purposes is most effective.

**Keywords:** network voltage 6-35 kV neutral mode, resistive earthing system

**Вступ**

Спосіб заземлення нейтралі мережі є досить важливою характеристикою. Він визначає струм в місці пошкодження і перенапруги на непошкоджених фазах при однофазному замиканні, схему побудови релейного захисту від замикань на землю, рівень ізоляції електрообладнання, вибір апаратів для захисту від грозових і комутаційних перенапруг (обмежувачів перенапруг), безперебійність електропостачання, допустимий опір контуру заземлення підстанції та безпеку персоналу і електроустаткування при однофазних замиканнях.

Таким чином, очевидно, що режим заземлення нейтралі в мережі 6-35 кВ впливає на значне число технічних рішень, які реалізуються в конкретній мережі.

**Результати дослідження**

Залежно від режиму нейтралі електричні мережі розділяють на чотири групи:

- мережі з незаземленими (ізольованими) нейтралями;
- мережі з резонансно-заземленими (компенсованими) нейтралями;
- мережі з ефективно-заземленими нейтралями;
- мережі із глухо-заземленими нейтралями.

В Україні до першої та другої груп відносяться мережі напругою 6-35 кВ, нейтралі трансформаторів або генераторів яких ізольовані від землі або заземлені через заземлюючі реактори.

Результати теоретичних досліджень, виконаних різними авторами [1-4], із застосуванням різних методів моделювання, включаючи і результати, отримані на основі моделювання в фазних координатах, свідчать, що кожен із способів заземлення нейтралі забезпечений можливістю обмеження негативних наслідків ОЗЗ. У мережах з ізольованою нейтраллю зниження ємнісних струмів і перенапруг забезпечується обмеженням протяжності цих мереж. У мережах з резонансним заземленням нейтралі - налаштуванням дугогасильних реакторів в резонанс з ємністю мережі. У мережах з низькоомним резистором в нейтралі - обмеженням часу існування режиму ОЗЗ за рахунок селективного відключення пошкодженого елемента [1].

Залежно від конструктивного виконання, протяжності, умов безпеки, необхідної надійності, допустимих перенапруг та інших факторів, до мереж пред'являються різні вимоги. Жоден із способів заземлення всім вимогам задовольнити не може.

Область застосування кожного із способів заземлення нейтралі визначається насамперед вимогами до надійності електропостачання: резонансне - в мережах з електроприймачами, що не допускають навіть короточасних перерв електропостачання (з технологічних причин, за вимогами безпеки), резистивне в мережах, що допускають відключення електроприймачів, з ізольованою нейтраллю - у мережах малої протяжності.

Світова практика експлуатації мереж середньої напруги, (табл.1) показує, що найчастіше застосовується заземлення нейтралі через резистор або дугогасильний реактор. Режим заземлення нейтралі

через резистор порівняно новий і використовується в Україні рідко[4].

Таблиця 1.3 Режим заземлення нейтралі в мережах середньої напруги 3-69 кВ в різних країнах світу

Країна	Спосіб заземлення нейтралі			
	Ізольована	Заземлена через реактор	Заземлена через резистор	Глухозаземленою
Україна	+	+		
Росія	+	+		
Австралія			+	+
Канада			+	+
США			+	+
Іспанія		+	+	+
Португалія			+	
Франція		+	+	
Японія			+	
Германія		+	+	
Австрія		+	+	
Бельгія			+	
Великобританія			+	+
Швейцарія		+	+	
Фінляндія	+	+	+	
Італія		+	+	
Чехія		+	+	
Словакія		+	+	
Швеція		+	+	
Норвегія		+	+	

Необхідний рівень надійності електропостачання може забезпечити будь-яка система заземлення нейтралі при правильному виборі засобів релейного захисту та автоматики. Тому прийняття коректних рішень, спрямованих на підвищення ефективності застосовуваних засобів можливе тільки на шляху розробки і застосування повних моделей, що дозволяють підвищити точність визначення властивостей і характеристик мереж і вибору параметрів обладнання.

#### Висновки

В мережах напругою 6-35 кВ широко застосовується система з ізольованою нейтраллю, яка має ряд недоліків. Основними з них є перенапруги й підвищена небезпека ураження людей і тварин електричним струмом особливо при виникненні ОЗЗ.

У зв'язку з цим пропонується перехід на резистивну систему заземлення нейтралі. Резистивна система заземлення нейтралі повітряних мереж напругою 6–35 кВ сільськогосподарського призначення забезпечує зниження рівня дугових перенапруг, селективне виявлення ушкодженого приєднання, його швидке відключення й поліпшення умов електробезпеки.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Базанов В.П. О режимах работы трансформаторов напряжения. / В.П.Базанов, Т.Е.Путова // Электрические станции.– 1987.– №2. – С.56.
2. Дударев Л.Е. Численный анализ феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью/ Л.Е.Дударев, И.В.Волошек // - Электрические станции. – 1991.– №1. – С.66.
3. Дударев Л.Е. Подавление феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью/ Л.Е.Дударев, Аднан Эль-Хатиб // - Электрические станции.– 1993. – №10.– С.62-65.
4. Виштебеев А.В. О резистивном заземлении нейтрали в сетях 6-35 кВ / А.В.Виштебеев, К.П.Кадомская // Энергетик, №3, 2001. – С. 33-34.

**Воробей Андрій Олександрович – студент групи ЗЕ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [valanir.vin@gmail.com](mailto:valanir.vin@gmail.com).**

**Науковий керівник: Кутіна Марина Василівна - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроживлення та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету.**

**Andriy. O. Vorobey – Electric power engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [valanir.vin@gmail.com](mailto:valanir.vin@gmail.com).**

**Supervisor: Marina V. Kutina – Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia**

# Дослідження якості електричної енергії на підприємствах м.Вінниця

Вінницький національний технічний університет.

## *Анотація*

В доповіді показано, що покращення якості електричної енергії на підприємствах м.Вінниця приводить до створення нормального протікання технологічних процесів, а це в свою чергу сприяє випуску запланованої кількості продукції при належній її якості. Також підвищення якості електричної енергії безпосередньо відображається на умовах життя та діяльності людей.

**Ключові слова:** амплітуда, напруга, частота, несиметрія, підвищення якості електричної енергії.

## **Abstract**

The report shows that improving the quality of electricity in Vinnitsa enterprises leads to the creation of normal flow processes, which in turn promotes the production of the planned number of products with appropriate quality. Improving the quality of electrical energy directly displayed on the living conditions and human activities.

**Keywords:** amplitude, voltage, frequency, asymmetry, improving the quality of electricity.

## **Вступ**

Облік електричної енергії при її виробництві, розподілі та споживанні є найважливішими елементами ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів країни. Достовірність обліку електричної енергії цілком залежить від її якості, яка, крім того, впливає на працездатність електроустаткування, систем автоматики, релейного захисту, телемеханіки та зв'язку. Якість електричної енергії визначається ступенем відповідності її показників встановленим значенням. У світлі постійного росту цін на електричну енергію похибки вимірювань показників якості електричної енергії (ПЯЕЕ) виражають не тільки ступінь довіри до цих величин, але й стають економічними факторами. Огляд сучасного стану метрологічного забезпечення вимірювань ПЯЕЕ відповідно до ГОСТ 13109-97, що є основним нормативним документом у цій галузі, показав, що їх похибки вивчені у недостатній мірі. Це, насамперед, стосується показників відхилення та несиметрії напруг, для яких похибки не визначені взагалі. Крім того, ряд ПЯЕЕ, що характеризують несинусоїдальність напруги та несиметрію напруг, визначаються через оцінки параметрів, які розраховуються за тим самим набором дискретних значень досліджуваного електричного сигналу.

У теорії математичної статистики розроблено ряд методів визначення та вираження кореляційних зв'язків між досліджуваними величинами, які базуються на параметричному (при якому коефіцієнт кореляції визначається безпосередньо по параметрах розподілу досліджуваних величин) та непараметричному (заснованому на ранговій кореляції) підходах. Однак різні методи дають різні значення коефіцієнту кореляції при тих самих вибірках досліджуваних величин, і однозначної відповіді на питання вибору оптимального методу немає.

Достовірність оцінювання ПЯЕЕ залежить також від законів розподілу оцінок параметрів напруги, що для досліджуваних гармонійних електричних сигналів є арксинусоїдальними. Тому для достовірної оцінки ПЯЕЕ необхідно розрахувати статистику набору параметрів композиції декількох арксинусоїдальних законів розподілу, який традиційно застосовується при статистичній обробці результатів багатократних вимірювань у припущенні нормального закону їх розподілу.

Отже, задача підвищення достовірності вимірювань ПЯЕЕ шляхом урахування кореляційних зв'язків між вимірюваними даними та законів їх розподілу є важливою та актуальною, а її вирішення - доцільним та своєчасним.

**Мета дослідження.** Дослідити і оцінити якість електричної енергії.

**Об'єкт дослідження:** Методи та засоби підвищення якості електроенергії, норми якості електричної енергії, способи її корекції.

**Предмет дослідження.** Якість електроенергії і вимоги до щодо неї.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:**

– визначити основні фактори, що впливають на вибір методів та засобів підвищення і контролю якості електроенергії ;

– виконати теоретичні дослідження методів та засобів підвищення і контролю якості електроенергії.

**Рівень розробленості теми:** Дане питання не поширене, але актуальне. Видано багато книг, навчальних посібників, додаткової літератури, дисертацій, проведена велика кількість наукових конференцій, в яких викладена дана проблема. Над даним питанням працюють Шидловський А.Д., Кузнецов В.Г., Шепеленко І.В.

Сучасні електричні мережі характеризуються збільшенням кількості споживачів, які негативно впливають на якість електричної енергії, при одночасному збільшенні споживачів, які ставлять підвищені вимоги до електроенергії. Це вказує на наявність тенденції загострення проблеми забезпечення якості енергії в електричних мережах. Разом з тим великого значення набуває питання застосування енергозберігаючих технологій передачі й розподілу електричної енергії.

Проблеми якості електричної енергії і регулювання напруги тісно пов'язані між собою і в умовах ринкових відносин є особливо актуальними. Практичне вирішення цих задач вимагає аналізу режимів роботи електричних мереж і використовуваних методів та засобів регулювання напруги.

У даний час основним методом регулювання напруги є централізоване, здійснюване за допомогою пристроїв регулювання під навантаженням (РПН) або переключення без збудження (ПБЗ) трансформаторів центру живлення (ЦЖ). Розподільні електричні мережі (РЕМ) характеризуються низькою кількістю вимірювальних приладів і засобів телеконтролю. Регулювання напруги в такій мережі утруднене через складність одержання необхідної інформації.

При регулюванні напруги враховуються вимоги до якості електричної енергії тільки у споживачів того ієрархічного рівня, на якому розташовуються засоби регулювання. У результаті споживачі з графіком навантажень, відмінним від графіка навантажень центру живлення, протягом тривалого часу працюють при напрузі, що не відповідає оптимальній.

Низька ефективність застосовуваних методів у сполученні з використовуваними на сьогоднішній день технічними засобами регулювання напруги вказує на необхідність коригування існуючої концепції регулювання напруги в напрямку розробки методів, здатних адаптуватися до структури, що змінюється, і режимів роботи електричних мереж, а також враховувати багатофакторність задачі регулювання напруги в них.

Застосування комплексного підходу до багаторівневої РЕМ як до складної ієрархічної системи кібернетичного типу з урахуванням вимог до якості електричної енергії з боку всіх споживачів дозволить удосконалити метод зустрічного регулювання напруги. Це забезпечить підвищення ефективності процесу



експлуатації багаторівневих РЕМ за рахунок оптимізації процесу регулювання напруги в мережі в рамках задач автоматизованих систем диспетчерського управління (АСДУ) з урахуванням вимог до якості електричної енергії одночасно у всіх споживачів.

### **Показники якості електричної енергії**

Проблеми живлення - будь-які відхилення параметрів напруги від встановлених стандартом значень якості електроенергії.

Електропостачання характеризується надійністю та якістю. Передусім, це якість електроенергії, на яку впливають різноманітні порушення і спотворення напруги живлення. Їх спричиняють наприклад, блискавкові імпульси, комутаційні перенапруги, що виникають внаслідок комутації ділянок електричної мережі, провали та відхилення напруги під час автоматичного вмикання резерву і перемикання споживачів на інші джерела живлення.

### **Види показників якості електричної енергії**

Показниками якості електричної енергії являються:

- усталене відхилення напруги: фазної і міжфазної
- коефіцієнти несиметрії
- коефіцієнти спотворення синусоїдності напруги;
- характеристики провалів і перенапруг;
- розмах зміни напруги  $\delta U_t$ ;

### **Параметри визначення показників якості електричної енергії.**

При визначенні значень якості електричної енергії користуються наступними допоміжними параметрами:

- частота повторення змін напруги  $F\delta U_t$ ;
- інтервал між змінами напруги  $\Delta t_i, i+1$ ;
- глибина провалу напруги  $\delta U_p$ ;
- тривалість часової перенапруги  $\Delta t_{пер} U$ .

### **Норми якості електричної енергії**

Встановлено два види норм якості електричної енергії: нормально допустимі та гранично допустимі. Оцінка відповідності показників якості зазначеним нормам проводиться протягом розрахункового періоду, який рівний 24 год.

Якість електричної енергії по установленому відхиленню напруги в точці сумісного з'єднання до електричної мережі вважають відповідним вимогам справжнього стандарту, якщо всі виміряні за кожну хвилину протягом періоду часу (24г) значення сталого відхилення напруги знаходяться в інтервалі, обмеженому гранично допустимими значеннями, а не менше 95 % виміряних за той же період часу значень сталого відхилення напруги знаходяться в інтервалі, обмеженому нормально допустимими значеннями.

Додатково допускається визначати відповідність нормам стандарту за сумарною тривалістю часу виходу виміряних значень даного показника за нормально і гранично допустимі межі.

При цьому якість електричної енергії по сталому відхиленню напруги рахують відповідним вимогам справжнього стандарту, якщо сумарна тривалість часу виходу за нормально допустимі значення складає не більше 5 % від встановленого періоду часу, тобто 1 ч 12 мін, а за гранично допустимі значення — 0 % від цього періоду часу.

## Несиметрія напруг

Несиметрія напруг характеризується наступними показниками:

- Відхилення частоти. Відхилення частоти напруги змінного струму в електричних мережах характеризується показником відхилення частоти, для якого встановлено наступні норми: нормально припустиме і гранично допустиме значення відхилення частоти рівні  $\pm 0,2$  і  $\pm 0,4$  Гц відповідно.
- коефіцієнтом несиметрії напруг по зворотній послідовності;
- коефіцієнтом несиметрії напруг за нульовою послідовності.

Нормально припустиме і гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності в точках загального приєднання до електричних мереж рівні 2,0 і 4,0% відповідно.

Нормально припустиме і гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруг по нульовій послідовності в точках загального приєднання до чотирипровідних електричних мереж з номінальною напругою 0,38 кВ рівні 2,0 і 4,0% відповідно.

### Провал та тимчасова перенапруга

Провал напруги характеризується показником тривалості, для якого встановлена наступна норма:

- гранично допустиме значення тривалості провалу напруги в електричних мережах напругою до 20 кВ включно дорівнює 30 с. Тривалість автоматично усуває провалу напруги в будь-якій точці приєднання до електричних мереж визначається витримками часу релейного захисту та автоматики.

Статистичні дані, що характеризують провали напруги в електричних мережах України напругою 6-10 кВ та аналогічні дані по електричних мереж країн Європейського Союзу.

Тимчасова перенапруга: Тимчасова перенапруга характеризується показником коефіцієнта тимчасової перенапруги. Значення коефіцієнтів тимчасових перенапруг, що виникають в електричних мережах енергопостачальної організації.

### Класифікація пристроїв та засобів підвищення якості електроенергії

Загалом, при передачі енергії виникають три основні проблеми:

- стійкість передачі, значною мірою пов'язана з величиною транспортного кута;
- контроль напруги й зростання напруги за відсутності навантаження;
- підсинхронний резонанс, що може вивести з ладу генераторні установки електростанцій.

Будівництво нових ліній електропередачі пов'язано зі значними витратами й часто неможливе з причин екологічного характеру. Тому доводиться збільшувати потужність енергії, передаваної існуючими лініями, в основному за рахунок збільшення сили струму. Цього можна досягти тільки при таких умовах:

- коли немає теплових обмежень;
- є надійне керування розподілом потоків енергії між лініями, що живлять певну місцевість.

При дотриманні цих умов можна підвищити передавану потужності в режимі максимальної надійності, залишаючись у припустимих межах стійкості, тобто при значеннях транспортного кута не вище 40°. Для керування величиною транспортного кута використовуються різні пристрої, наприклад, поперечні (шунтувальні) й поздовжні компенсатори.

### Пристрої для поздовжньої компенсації

Лінії високої напруги мають індуктивний опір: що вище спадання напруги на ньому, то вищий транспортний кут. Ідея збільшення передаваної потужності проста. Величина індуктивного опору повинна компенсуватися послідовно ввімкненою ємністю. Нині для цього використовується кілька конструктивних рішень.



Рисунок 1 - Конденсатор постійної ємності.

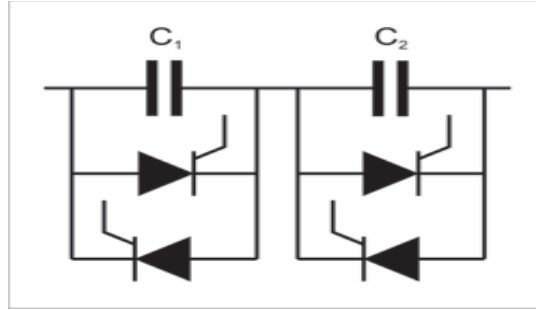


Рисунок 2 - Конденсаторна батарея з тиристорним перемиканням.

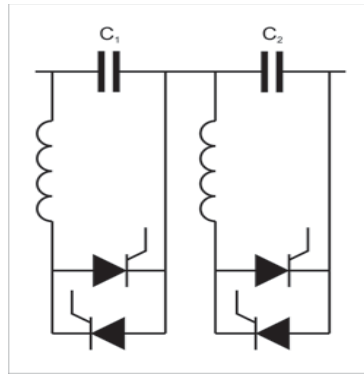


Рисунок 3 - Конденсаторна батарея з тиристорним керуванням.

У конденсаторі постійної ємності (рис. 1.3.1) ступінь компенсації постійний. Можна підвищувати передавану по лінії потужність, поки не будуть досягнуті обмеження по тепловиділенню. Такі системи не здатні придушувати появу підсинхронних коливань генераторів електростанцій, навпаки, при такому способі компенсації можуть створюватися умови, сприятливі для їхнього виникнення.

У конденсаторній батареї з тиристорним перемиканням (рис. 1.3.2) ступінь компенсації змінюється східчасто. Всі зауваження до рішення, зображеного на рис. 1.3.а, залишаються справедливими й для цього рішення.

У конденсаторній батареї з тиристорним керуванням (рис. 1.3.3) ступінь компенсації регулюється практично в будь-яких межах. Тут теж можна керувати стабільністю передачі й придушувати виникнення підсинхронних коливань. Тиристри працюють у режимі підлаштування фази. Модуль TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) – конденсаторна батарея з тиристорним керуванням – у процесі роботи є або конденсатором змінної ємності, або дроселем змінної індуктивності. Однак перемикання з режиму ємності в режим індуктивності й назад неможливо без проміжного вимкнення через резонансні явища. Модулі TCSC звичайно мають достатню динаміку для придушення підсинхронних коливань.

### Пристрій поперечної компенсації

Пристрій, увімкнений у середню точку лінії здатний поглинати й повертати реактивну потужність, забезпечує сталість напруги в цій точці. При цьому транспортний кут зменшується вдвічі й може бути збільшена передавана потужність. Рішення полягає в під'єднанні до лінії ємності, а паралельно їй - регульованого пристрою, здатного компенсувати надлишкову реактивну потужність для підтримування постійного значення напруги в точці під'єднання (рис. 1.3.4).

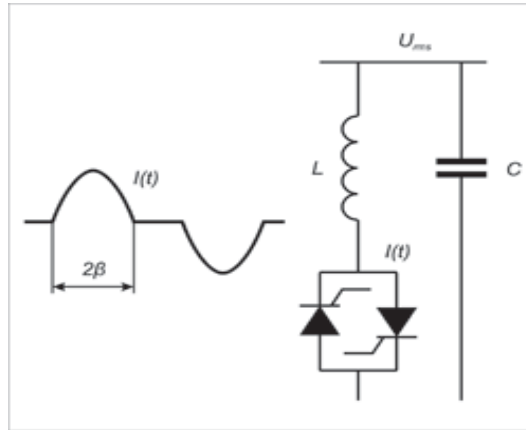


Рисунок 4 - Схема пристрою поперечної компенсації в лінії.

Де:  $I(t)I_{rms}$  – діюче значення струму;

$U_{rms}$  – діюче значення напруги;

$L$  - індуктивність реактора;

$C$  - ємність батареї конденсаторів;  $\omega$  - кутова частота;  $\beta$  - кут пропускання струму;

$Q_C$  – потужність конденсаторної батареї;

$Q_L$  – потужність реактора;  $Q_{SVC}$  – потужність статичного тиристорного компенсатора.

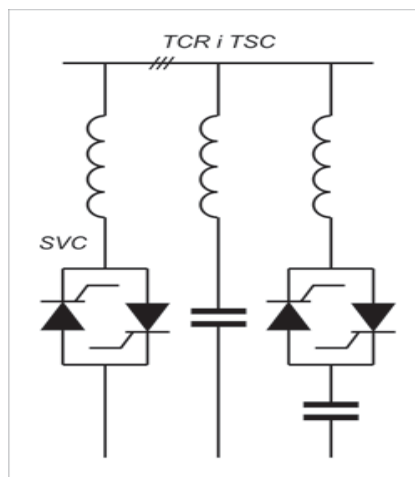


Рисунок 5 - Схема пристрою SVC.

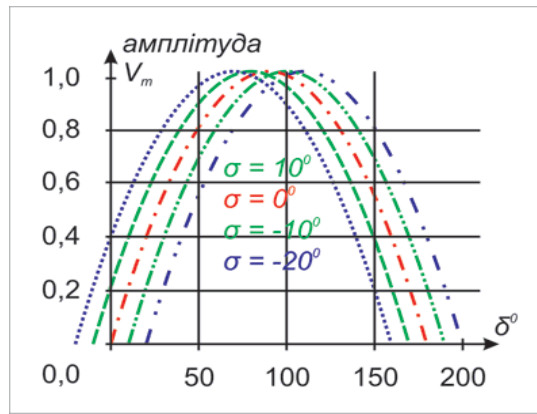


Рисунок 6 - Залежність потужності від кута  $\delta$ .

Де:  $V_s$  – напруга джерела;

$V_r$  – напруга приймача;

$X$  - реактор, що має чисто індуктивний опір.

Індуктивність змінюється за рахунок використання тиристорів. Такі системи називаються SVC (Static VAR Compensator) - ССКРП (система статичної компенсації реактивної потужності).

Статичний контактор, який керує силою струму в реакторі, генерує в мережі гармоніки. Це послужило першою причиною для встановлення ємностей у систему фільтрів. Існують й інші причини, пов'язані зі структурою мережі, в основному, з виникненням паралельного резонансу через наявність ємностей в установці SVC. У загальному вигляді схема установки SVC показана на рис. 1.3.5. До неї входять коло керування реактором TCR (Thyristor Controlled Reactor – реактор з тиристорним керуванням) і коло ступінчастого під'єднання елементів конденсаторної батареї TSC (Thyristor Switched Capacitor - конденсаторна батарея з тиристорним перемиканням).

Через брак коштів часто важко встановити значну фіксовану ємність. Це потребує також встановлення модуля TCR великої потужності. Тому використовують кілька конденсаторних батарей. TSC можуть під'єднуватися або з'єднуватися окремо, а TCR значно меншої потужності має функцію «верньєра» для забезпечення постійного керування реактивною потужністю. Необхідно відзначити, що мережеві SVC, зазвичай, мають достатню динаміку для того, щоб придушувати виникнення підсинхронних коливань. Коли в мережі відсутнє навантаження, через розподілену ємність лінії відбувається зростання напруги. Для його обмеження необхідно поглинати реактивну потужність. Саме тому установки SVC часто проектуються з урахуванням необхідності працювати й як поглинальні пристрої.

### Фазозсувальний трансформатор

Кут  $\delta$  (між напругами) є найважливішим параметром регулювання потужності (рис. 1.3.6).

Фазозсувальні трансформатори використовуються з 80-х років для керування енергопотоками в мережах. У зв'язку з обмеженням державного втручання в керування енергомережами, з розвитком торгівлі електроенергією й зв'язків між енергосистемами різних країн, нині завдання керування енергопотоками стає особливо актуальним. Залежність величини переданої потужності  $P$  від кута зсуву фаз, забезпечуваного фазозсувальним трансформатором, виражається в такий спосіб:

$$P = V^2/X \cdot \sin(\delta - \sigma).$$

Регулюючи кут зсуву фаз, можна керувати активною потужністю. При подальшому ускладненні технології можливі регулювання й амплітуди, що дає змогу керувати реактивною потужністю. На рис. 1.3.7 показана схема фазозсувального трансформатора.

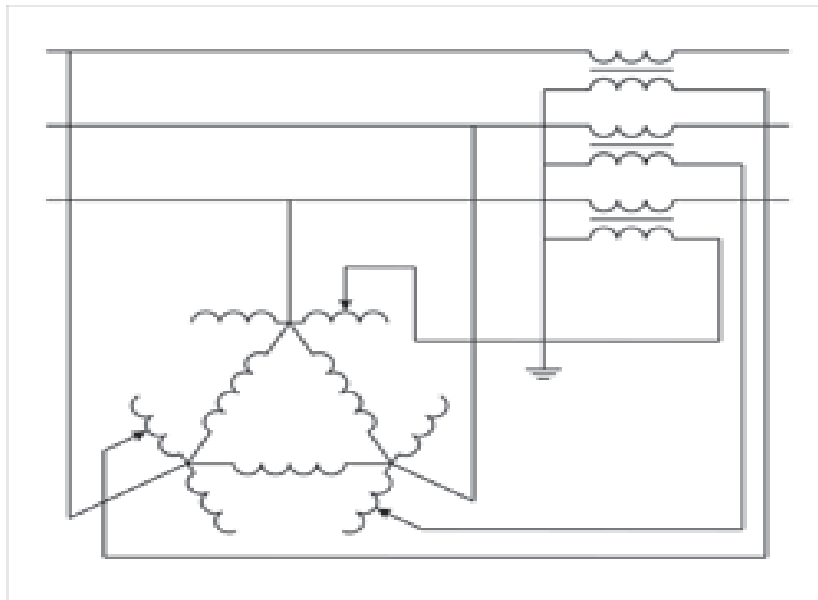


Рисунок 7 - Схема фазозсуваючого трансформатора.

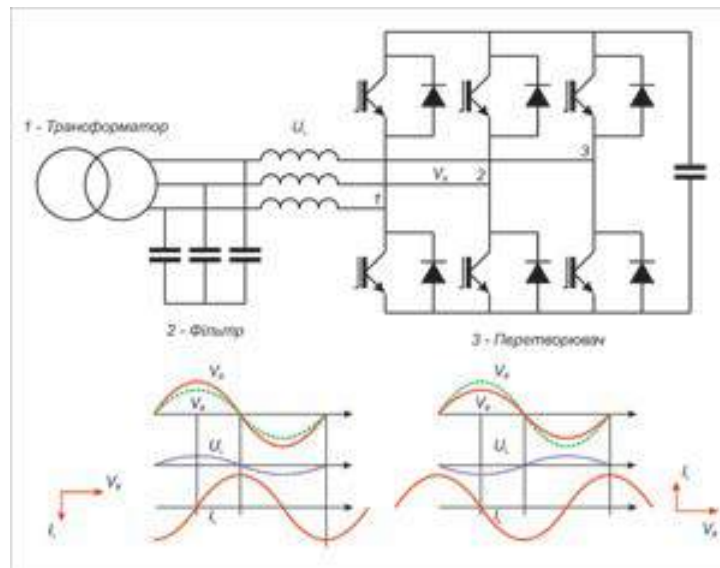


Рисунок 8 - Принцип роботи FACTS.

Сучасні FACTS (гнучкі системи передачі енергії змінного струму).

Системи FACTS з'явилися близько 15 років тому. Передумовою їхньої розробки була поява на ринку електронних компонентів високої потужності, що замикаються, – IGBT, GTO, IEGT. Дотепер широко застосовуються класичні системи FACTS, засновані на використанні тиристорів (керування за струмом). Сучасні системи FACTS використовують компоненти, які можуть керуватися командами за напругою. Найважливіша властивість FACTS – їхня здатність поглинати або повертати реактивну потужність – на рис. 1.3.8. На рисунку напруга вторинної обмотки трансформатора,  $V_g$  – основна гармоніка напруги на виході перетворювача. Перетворювач керується в режимі PWM (Pulse Width Modulation – широтно-імпульсної модуляції – ШІМ). Це виправдує наявність фільтра між перетворювачем і мережею. Напруга мережі  $V_0$  і напруга на виході перетворювача співфазні. Виникнення будь-якого розходження між цими напругами викликає спад напруги на відповідному реакторі поздовжньої компенсації, яка також співфазна з напругою мережі ( $U_L$ ). Знак цієї напруги відповідає знаку різниці  $V_0 - V_g$ . Підсумковий струм  $I_L$  зсунений щодо цієї напруги на  $90^\circ$ . При  $V_g < V_0$  система працює в індуктивному режимі, при  $V_g > V_0$  – у ємнісному. Відповідно

до описаної структури розроблялися й уже застосовуються сучасні пристрої поздовжньої й поперечної компенсації.

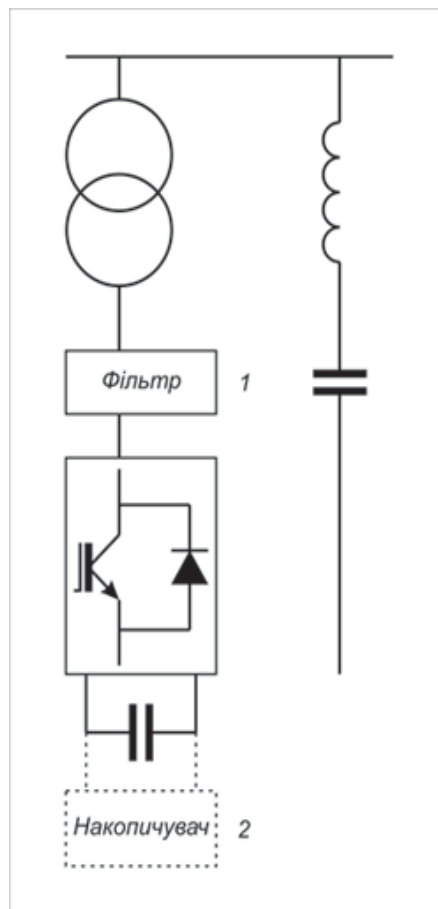


Рисунок 9 - Схема STATCOM.

Поперечна компенсація – STATCOM (STATic synchronous COMPensator - статичний синхронний компенсатор).

Хоча компенсатори STATCOM (рис. 1.3.9) здатні поглинати й повертати реактивну потужність  $Q$ , їхнє застосування, зазвичай, обмежується статичною компенсацією внаслідок браку коштів.

Звичайно  $Q_{\max} = Q_F + Q_{\text{STATCOM}}$  і  $Q_{\min} = Q_F - Q_{\text{STATCOM}}$ , причому  $Q_{\text{STATCOM}}$  трохи вище від величини  $Q_F$ , щоб забезпечити можливість поглинання реактивної потужності за відсутності навантаження в мережі. Коли напруга в точці підключення залишається постійною, компенсатор STATCOM поводить, як компенсатор SVC. Однак у режимі обмеження потужності компенсатор STATCOM стає джерелом струму, тоді як компенсатор SVC набуває властивості конденсатора. Компенсатори STATCOM можуть також поводитися, як активні фільтри. Зрозуміло, що за додаткову функціональність компенсаторів STATCOM доводиться й додатково платити. Серед безлічі функцій цих компенсаторів класичними є наступні:

- регулювання напруги шляхом поглинання або повернення реактивної потужності;
- придушення підсинхронних коливань.

При зниженні напруги SVC поводить, як конденсатор, і реактивна потужність падає пропорційно квадрату напруги. Система STATCOM у такій же ситуації переходить у режим постійного джерела струму. Напруга на виводах конденсатора може підтримуватися постійною.

Поздовжня компенсація – SSSC (Static Synchronous Series Compensator - статичний синхронний поздовжній компенсатор)

У цих системах вдається уникнути таких недоліків систем TCSC (конденсаторна батарея з тиристорним керуванням), як неможливість плавного переходу від ємнісного режиму до індуктивного.

SSSC (рис. 1.3.10) може повертати тільки реактивну потужність за винятком випадків, коли контур постійного струму одержує живлення від накопичувача енергії. У розподілі енергії використовується такий самий принцип, що одержав назву DVR (Dynamic Voltage Restorer – система динамічного відновлення напруги), хоча за функціональністю вони трохи різняться. Тут метою є підтримка найбільш уразливих споживачів мережі при короткочасних збурюваннях. Потужність наявних на ринку установок DVR не перевищує 1 МВА.

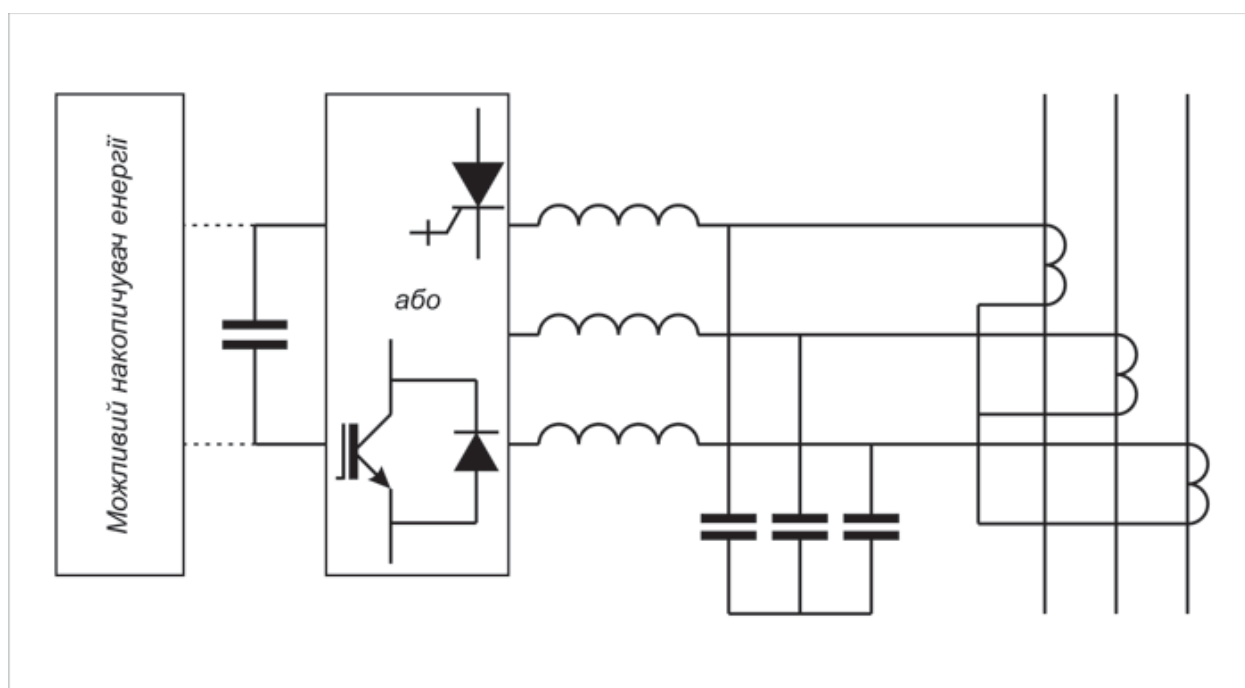


Рисунок 10 - Схема SSSC.



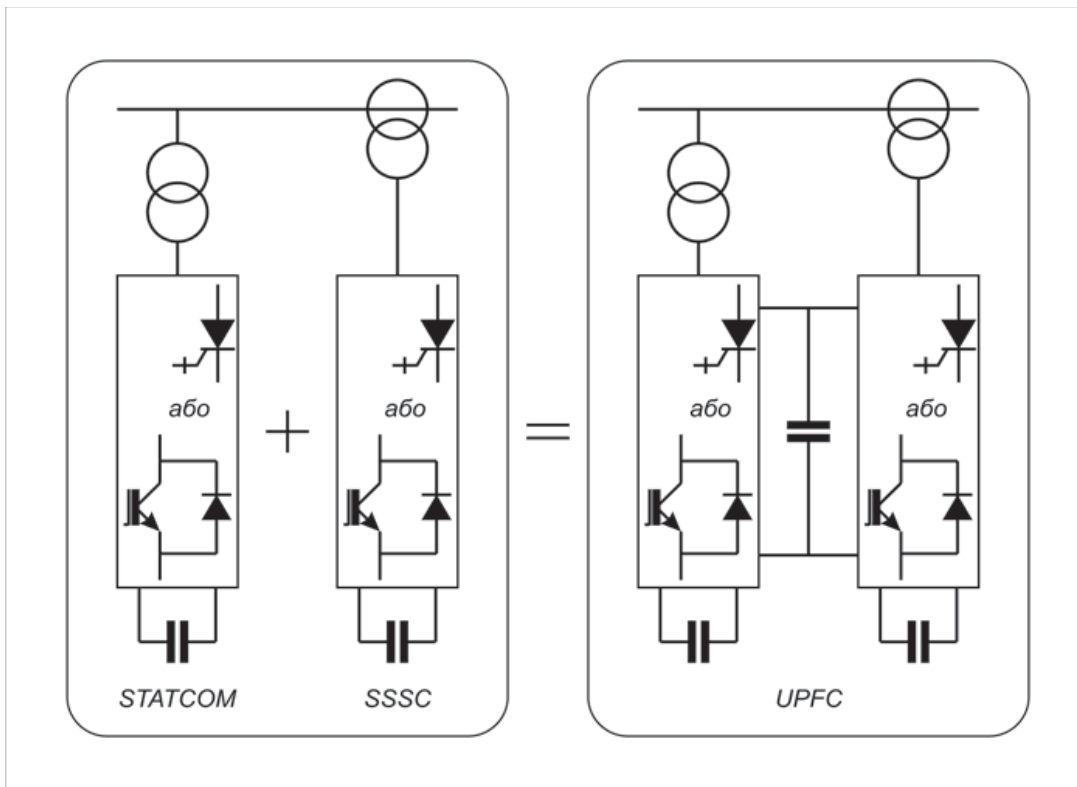


Рисунок 11 - Схема UPFC.

Універсальна компенсація – UPFC (Unified Power Flow Controller - уніфікована система керування енергопотоками).

Потужності систем STATCOM й інших типів SSSC настільки високі, що використання їх без накопичувачів енергії достатньої ємності неможливе. Якщо таких накопичувачів немає, має бути змога керувати величиною транспортного кута, як у випадку використання фазозсувального трансформатора, але зі значно вищою швидкістю.

Система UPFC робить цю проблему реальною без використання будь-якого накопичувача енергії. Система UPFC – це не що інше, як об'єднання систем STATCOM і SSSC (рис. 1.3.і).

Це найскладніша із систем FACTS. Вона дає змогу здійснювати такі функції:

- безпосередньо керувати напругою. Додавати або віднімати напруги, фазованих вузлом поперечної компенсації з реактивною потужністю;
- поперечну компенсацію – шляхом керування поперечним перетворювачем з переведенням останнього в режим поглинання або повернення реактивної потужності. Напруга повинна підтримуватися постійною;
- поздовжню компенсацію – шляхом додавання послідовної напруги, зі зсувом на 90° стосовно струму зв'язку. При цьому необхідно керувати вихідною напругою й реактивною потужністю на виході;
- зсув фаз фазозсувальним пристроєм: якщо величина й фаза поздовжньої напруги такі, що при її підтримці на виході модуля вона зменшує величину зсуву фаз стосовно входу. Це має важливе значення при керуванні передаваною активною потужністю.

Нарешті, можна одночасно використовувати всі функції – кількість ступенів свободи системи дає змогу це робити, – коли необхідно керувати реактивною, й активною потужністю. Переваги системи UPFC очевидні. Хоча нині система не дуже поширена, найближчим часом ця технологія буде активно розвиватися, здебільшого, в містах, де особливо складно будувати додаткові лінії.

## Висновки

Енергетика - основа розвитку господарства. Вона забезпечує технологічні процеси в промисловості, дає тепло і світло людям. Це система галузей, що охоплює паливну промисловість та електроенергетику з їх підприємствами, комунікаціями, системами управління, науково-дослідною базою.

Сучасні електричні мережі характеризуються збільшенням кількості споживачів, які негативно впливають на якість електричної енергії, при одночасному збільшенні споживачів, які ставлять підвищені вимоги до електроенергії. Це вказує на наявність тенденції загострення проблеми забезпечення якості енергії в електричних мережах. Разом з тим великого значення набуває питання застосування енергозберігаючих технологій передачі й розподілу електричної енергії.

Проблеми якості електричної енергії і регулювання напруги тісно пов'язані між собою і в умовах ринкових відносин є особливо актуальними. Практичне вирішення цих задач вимагає аналізу режимів роботи електричних мереж і використовуваних методів та засобів регулювання напруги.

При регулюванні напруги враховуються вимоги до якості електричної енергії тільки у споживачів того ієрархічного рівня, на якому розташовуються засоби регулювання. У результаті споживачі з графіком навантажень, відмінним від графіка навантажень центру живлення, протягом тривалого часу працюють при напрузі, що не відповідає оптимальній.

Низька ефективність застосовуваних методів у сполученні з використовуваними на сьогоднішній день технічними засобами регулювання напруги вказує на необхідність коригування існуючої концепції регулювання напруги в напрямку розробки методів, здатних адаптуватися до структури, що змінюється, і режимів роботи електричних мереж, а також враховувати багатофакторність задачі регулювання напруги в них.

Таким чином, тема наукової роботи є актуальною, тому що спрямована на дослідження потреб енергетики України при вирішенні проблем енергозбереження завдяки підвищенню ефективності функціонування електричних мереж, а також забезпечення якості електричної енергії у споживачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шидловский А.Д. Повышение качества энергии в электрических цепях / Кузнецов В.Г. Научная думка, 1985 г – 254 с.
2. Розанов М. Н. Надежность электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 200 с.
3. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.

Янковецький Ярослав Анатолійович – студент групи 3Е-12Б, факультет електроенергетики. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [yva1995@bk.ru](mailto:yva1995@bk.ru).

Науковий керівник: Бурбело Михайло Йосипович доктор. техн. наук, професор, Вінницький національний технічний університет

Yankovetskyu Jaroslav Anatolievich. - student group 3E-12B, Department of Electricity. Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [yva1995@bk.ru](mailto:yva1995@bk.ru).

Supervisor: Michael Yosipovich. Burbelo Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University

# АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ БАТАРЕЙ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Розглядаються умови роботи батарей статичних конденсаторів при несиметричній напрузі та їх вплив на електричні мережі. Розроблена математична модель, яка виключає технічно недопустимі рішення, які можливі за даних умов.*

**Ключові слова:** *батареї статичних конденсаторів, реактивна потужність, компенсація.*

## **Abstract**

*The conditions of static capacitor batteries with unbalanced voltage and their impact on the electrical network. The mathematical model that excludes technically unacceptable decision possible under the circumstances.*

**Keywords :** *battery of static capacitors, reactive power, compensation.*

## **Вступ**

В електричних мережах України мають місце суттєві втрати активної потужності, які в окремих електропостачальних компаніях сягають 18-20% [1]. Для зменшення зазначених втрат використовують батареї статичних конденсаторів (БСК), які генерують реактивну потужність і тим самим зменшують струм та втрати активної потужності в мережі.

Властивості БСК визначаються умовами, в яких вони працюють (відхиленням напруги, її несиметрією та несинусоїдальністю), і особливо, якщо відповідні параметри набувають значень, які наближаються до граничних, наприклад, визначених ГОСТ 13109-97. Характеристики БСК за таких умов змінюються і, як наслідок, їх вплив на живильні мережі також буде іншим в порівнянні із тим, яким би він був при симетричній, синусоїдальній напрузі номінального значення. У вузлах з несиметричною напругою БСК не тільки будуть зазнавати вплив цієї напруги, але і самі впливатимуть на якість електроенергії.

Керування потужністю БСК, не враховуючи рівень несиметрії напруг у вузлі їх під'єднання, може привести до технічно недопустимих результатів, наприклад, таких, коли порушуються вимоги ГОСТ 13109-97 за показниками, які регламентують якість електроенергії.

Прийняття технічних рішень про зміну потужності БСК необхідно приймати із врахуванням всіх впливових факторів. Тому, дослідження, спрямоване на вивчення зазначених явищ є актуальним.

Мета роботи – розробка математичних моделей, що забезпечать ефективне керування потужністю БСК в умовах несиметрії напруг.

## **Результат дослідження**

Експериментальними дослідженнями, які приводились в електричних мережах різноманітного призначення, встановлено факт наявності суттєвої несиметрії напруг, яка може перевищувати нормовані ГОСТ 13109-97 значення [2]. Робота батареї симетричного виконання в умовах несиметрії напруг досліджена в [3,4].

Результатом цього дослідження встановлено, що вмикання БСК до вузла з несиметричною напругою приводить до посилення несиметрії напруг, в результаті чого несиметрія може набути недопустимих значень.

В таких випадках керування слід виконувати за допомогою математичної моделі (модель записана в символічному вигляді):

$$\begin{cases} Q(\mathbf{X}) \rightarrow \min \\ Q(\mathbf{X}) \geq 0 \\ U_2(\mathbf{X}) \leq U_{2\text{доп}} \end{cases}$$

де  $\mathbf{X}$  – вектор керування;

$Q$  – реактивна потужність в лінії живлення;

$U_2$  – напруга зворотної послідовності у вузлі під'єднання БСК;

$U_{2\text{доп}}$  – допустиме значення напруги зворотної послідовності, яке відповідає граничному значенню коефіцієнта несиметрії напруги на зворотній послідовності.

Перше обмеження математичної моделі виключає можливість появи реактивної потужності, яка має напрямок з мереж споживання в мережі енергопостачальної компанії, що є технічно недопустимим. Друге обмеження забезпечує несиметрію напруги у вузлі під'єднання БСК допустимих за ГОСТ13109-9 значень.

Працездатність математичної моделі перевірена на числових прикладах.

### Висновок

1. Керування БСК, яке відбувається з метою зменшення втрат в мережах живлення, має здійснюватись з врахуванням всіх можливих наслідків. Практична реалізація такого підходу може бути забезпечена шляхом використання математичного моделювання.

2. У разі суттєвої несиметрії напруг у вузлі під'єднання БСК, керування можна здійснювати за наведеною математичною моделлю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз роботи енергопостачальних компаній щодо розрахунків споживачів за електроенергію в січні – листопаді 2010 року та зниження ТВЕ в січні – жовтні 2010 року / (За даними НАК «Енергетична компанія України») // Новини енергетики. – 2011. – №1. – С. 22 – 25.

2. Карташев И.И. Качество электрической энергии в муниципальных сетях Московской области / И.И. Карташев, И.С. Пономаренко, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов, В.В. Васильев. // Промышленная энергетика. – 2002. – №8. – С. 42 – 47.

3. Терешкевич Л. Б. Аналіз впливу батарей статичних конденсаторів на роботу системи електропостачання з несиметричною напругою / Л. Б. Терешкевич, Т. М. Червінська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №2. – С. 39–43.

4. Аввакумов В. Г. Про показники для оцінювання впливу БСК на несиметрію режиму електричної мережі / В. Г. Аввакумов, Л. Б. Терешкевич, Т. М. Червінська // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2010. – №.666 – С. 3–8. – ISSN 0321–0499.

**Ніколюк Юрій Вікторович** - студент групи 3Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nikolyuk1994@mail.ru;

Науковий керівник: **Терешкевич Леонід Борисович**, к.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Yura Nikolyyuk** - student group 3E-12b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nikolyuk1994@mail.ru;

Supervisor: Dr. **Tereshkevich Leonid B.** Cand. Sc. (Eng), Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa

# ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУ- ВАННЯ АВАРІЙНИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ ПРИ ОБРИВІ ПРОВОДУ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КАР'ЄРІВ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Запропоновано комбінована система протиаварійної автоматики, що дозволяє виявити пошкодження на ранній стадії його виникнення та швидко відключити пошкоджену ділянку мережі при виникненні обриву проводу в системах електропостачання кар'єрів.*

**Ключові слова:** автоматизована система, однофазне замикання на землю, обрив проводу.

## *Abstract*

*A combined system pressure transmitters that can detect damage at an early stage of its development, and quickly turn off the damaged area network in the event of breakage of water-supply systems in quarries..*

**Keywords:** pressure transmitters, combined system, single-phase circuit, wire breakage.

## Вступ

Побудова системи електропостачання залізородних кар'єрів повинна враховувати надійність кар'єрних пересувних повітряних та кабельних ліній, експлуатованих кабелів, перемикаючих пунктів і пересувних кар'єрних трансформаторних підстанцій.

Питання безпеки гірничих промислових підприємств є особливо гострими. Рівень електротравматизму на таких підприємствах сягає 47% від загального числа нещасних випадків. Основними причинами такого рівня електротравматизму є нездатність існуючих засобів захисту та автоматики вчасно виявити та ліквідувати пошкоджені елементи.

## Результати дослідження

Режим роботи систем електропостачання кар'єрів характеризується несиметричністю навантаження фаз, різноманітністю і нерівномірністю добового навантаження та режимом заземлення нейтралі трансформаторів. Ці, та багато інших факторів суттєво впливають на ефективність застосування методів і засобів захисту від однофазних замикань на землю (ОЗЗ), оскільки врахування їх впливу є на даний час складною задачею [1].

Результати досліджень для визначення реальних характеристик параметрів ізоляції показали, що виникненню стійкого ОЗЗ передують поступове зниження активного опору ізоляції, або серія імпульсних пробів ізоляції з поступовим зниженням активного опору ізоляції. Симетричне зниження активного опору ізоляції, які відновлюються зумовлене наявністю шунтівних зв'язків та їх поступове збільшення. Стійке замкнення на землю виникає зі зниженням активного опору ізоляції мережі до рівня 3...5 кОм [1].

Виміри активного опору ізоляції в місці пошкодження після відключення мережі показали, що для повітряної мережі напругою 6 кВ він знаходився в межах 0,25...4 кОм [1, 2]. Під впливом підвищення вологості навколишнього середовища відбувається плавна зміна активного опору ізоляції, наявність шунтувальних зв'язків та перенапруга викликає стрибкоподібну зміну активного опору ізоляції. Очевидно, що для цілей діагностики метод контролю повинен фіксувати як плавну зміну активного опору ізоляції, так і стрибкоподібну. За інших рівних умов, врахування динаміки зміни активного опору ізоляції повинно бути визначаючим при виборі методу контролю.

Особливою складністю відрізняється режим ОЗЗ, який супроводжується розривом фазного проводу в ПЛ кар'єрів і падінням його на землю. Однофазне замикання на землю через великий перехід-

ний опір часто призводить до значних пошкоджень ізоляторів, загорянню опор, пошкодженню заземлення опор, створює небезпечне поле розтікання струму, в яке можуть потрапити тварини чи люди, впливає на умови роботи вимірювальних приладів та пристроїв релейного захисту і автоматики [3, 4].

Пропонується протиаварійна система, що ґрунтується на методі в якому плавна зміна активного опору ізоляції фаз мережі відносно землі фіксується шляхом накладення на контрольовану мережу тестового сигналу, наприклад, випрямленої напруги і контролю реакції мережі на його вплив, а стрибкоподібна зміна активного опору ізоляції фіксується шляхом використання перехідного процесу в колі попередньо зарядженого конденсатора до напруги, пропорційної активному опору ізоляції РМ відносно землі. З метою забезпечення селективності захисту системи та підвищення чутливості до такого виду пошкодження як обрив проводу, пропонується застосування методу виявлення обриву проводу в розподільних електричних мережах напругою 6- 35 кВ, що ґрунтується на контролі значення струму зворотної послідовності до моменту падіння проводу на землю і напругу нульової послідовності після падіння проводу на землю.

### Висновки

Підвищення надійності системи електропостачання кар'єрів можна забезпечити шляхом оптимізації процесу керування технічним станом системи електропостачання кар'єрів в процесі експлуатації на основі технічної діагностики. Тому запропоновано комбіновану систему, в якій плавна зміна активного опору ізоляції фаз мережі відносно землі фіксується шляхом накладення на контрольовану мережу тестового сигналу, наприклад, випрямленої напруги і контролю реакції мережі на його вплив, а стрибкоподібна зміна активного опору ізоляції фіксується шляхом використання перехідного процесу в колі попередньо зарядженого конденсатора шляхом вимірювання максимального значення струму розряду конденсатора, який зворотно пропорційний активному опору ізоляції в місці пошкодження, та метод захисту від обриву проводу, що ґрунтується на контролі значення струму зворотної послідовності до моменту падіння проводу на землю і напругу нульової послідовності після падіння проводу на землю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Прусс В. Л. Повышение надёжности электрических сетей / В. Л. Прусс, В. В. Тесленко –Л.: Энергоатомиздат: Ленинградское отделение, 1989. – 208 с.
2. Кутін В. М. Визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі змінного струму / В. М. Кутін, В. В. Вашковський // Вісник ВПІ. –2000. – №1. – С. 29 – 36.
3. Кутіна М.В. Захист від аварійних режимів розподільних мереж зі складною топологією / М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Остроградського. — 2007. — №3(44) — С. 129-131.
4. Кутіна М. В. Однофазне замикання на землю при обриві проводу в мережах напругою 6-35 кВ / М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Остроградського. — 2010. — №3 (62), Ч.2. — С.103-106. – ISSN 1995–0519.

**Свіргун Микола Юрійович** – студент групи 3Е-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3E13b.Svirgyn@gmail.com.

Науковий керівник: **Кутіна Марина Василівна** - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

**Mikola Y. Svirgun** - Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3E13b.Svirgyn@gmail.com.

Supervisor: **Marina V. Kutina** – Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## МЕТОДИ ВИБОРУ ВАРІАНТУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Здійснено аналіз використання методу аналізу ієрархій для вибору варіанту енергоефективного обладнання, який дозволив визначити умови для забезпечення його ефективності.

**Ключові слова:** матриця парних порівнянь, шкала відносної важливості, вектор пріоритетів.

### Abstract

The analysis of the analytic hierarchy process for choosing energy efficient equipment options is realized that allow to define the conditions for its efficiency.

**Keywords:** matrix of pairwise comparisons, the relative importance of scale, the vector priorities.

### Вступ

Під час енергетичного аудиту об'єктів, що досліджуються, постає задача вибору енергоефективного обладнання. В результаті може бути запропоновано декілька варіантів такого обладнання, які відрізняються деякими характеристиками, але за основними функціями – схожі. В такому випадку постає задача вибору такого обладнання, яке, виконуючи покладену на нього задачу, буде найбільш вигідне для підприємства-замовника аудиторських послуг.

Одним з відомих методів вибору енергоефективного обладнання є метод аналізу ієрархій [1, 2]. Метод передбачає наявність експертів, які будуть порівнювати запропоновані варіанти обладнання (альтернативи) по запропонованим критеріям (вартість, виробник, наробіток до відмови тощо). Після оброблення результатів опитування експертів і проведення розрахунків відповідно до алгоритму, що передбачає метод, розраховуються значення вектору глобальних пріоритетів, які вказують на ієрархію рекомендацій до застосування енергоефективного обладнання.

В роботі було проаналізовано приклад вибору трьох варіантів насосів, які забезпечують однакову продуктивність і напір. Перший – українського виробництва (ЕЦВ-10-63-150), другий – датського виробництва (SP-46-19) і третій – також датського виробництва (SP-60-17). Дані про насоси наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Відомості про запропоновані альтернативи

Шифр критерію	Назва критерію (характеристики)	Одиниця виміру	Тип насосу		
			Український	Датський	Датський
	Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	50	50	50
	Напір	м	150	150	160
1	Виробник	-	Буча	Grundfos	Grundfos
2	Гарантія	міс.	3	12	12
3	Вартість	тис. грн.	30,4	123	118
4	Матеріал виготовлення	-	Чавун	Нержавіюча сталь	Нержавіюча сталь
5	Потужність	кВт	45	30	37
6	Наробіток до відмови	тис. год	18	25	25

Після опитування експертів і використання шкали відносної важливості, сформовано матриці парних порівнянь в яких порівнюються критерії та альтернативи по кожному з критеріїв за шкалою від 1 до 9 і здійснено розрахунок відповідно до алгоритму методу. В результаті визначено вектор пріоритетів критеріїв (рис. 1а) та вектор глобальних пріоритетів, який вказав на найкращу альтернативу – другий варіант насосу (рис. 1б).

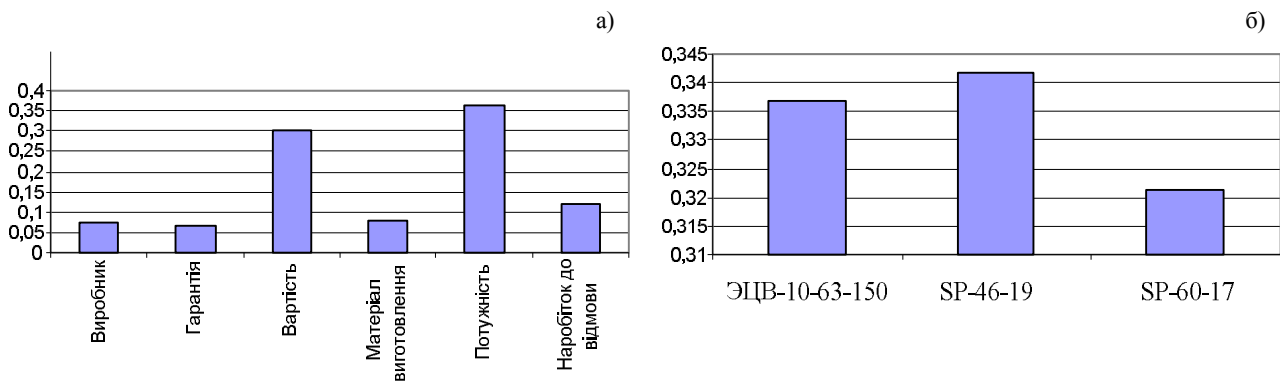


Рис. 1. Пріоритетність альтернатив (а) та критеріїв (б)

Використання вказаного методу дає імовірнісний результат, а тому важливим кроком, вважаємо, є використання перехресної перевірки, яка застосовується енергоаудиторам для підвищення достовірності результатів [3, 4].

Метою роботи є обґрунтування ефективності використання методу аналізу ієрархій шляхом застосування методу приведених витрат і визначення умов для оцінювання його ефективності.

### Результати дослідження

Після отримання вищенаведеного результату, здійснено визначення приведених витрат на кожен альтернативу енергоефективного насоса за виразом

$$B = E \cdot K + W \cdot C_w \quad (1)$$

де  $E$  – коефіцієнт щорічних витрат;  $K$  – вартість насоса, грн.;  $W$  – спожита електроенергія, кВт·год;  $C_w$  – вартість електроенергії, грн./кВт·год.

В результаті було побудовано залежності приведених витрат від часу використання насоса за рік при сталій вартості електроенергії  $C_w = 1,8$  грн./кВт·год (рис. 2а) та залежність приведених витрат від вартості електроенергії при сталому річному періоді роботи 1000 год/рік (рис. 2б).

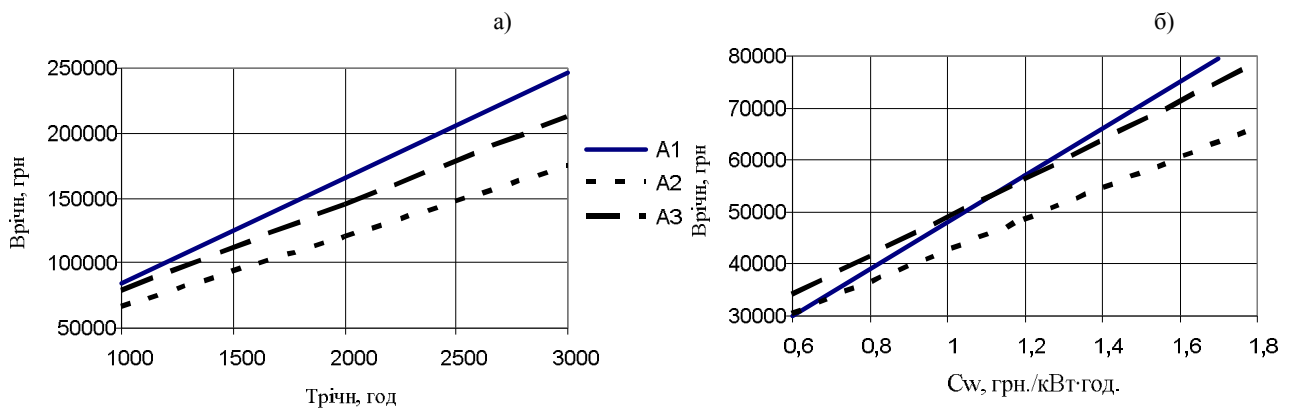


Рис. 2. Залежність приведених витрат на альтернативи насосів (A1-A3)

Аналіз рис. 2. показує, що, дійсно, експертні оцінки вказують на більш вигідний варіант (альтернатива A2). Однак, як видно з рис. 2б, при вартості електроенергії, яка становить нижче 0,6 грн./кВт·год., більш вигідним стає насос українського виробництва. Невелика ціна може бути під час використання диференційованого тарифу в нічні години, або у випадку непромислового споживача. Тому, перехресна перевірка методу аналізу ієрархій є доцільною для більш достовірного результату, а однією з вагомих умов ефективного його використання є врахування діючих тарифів на електроенергію.

### Висновки

Проаналізовано метод аналізу ієрархій для вибору варіанту енергоефективного насоса. Встановлено, що для підвищення достовірності результату його використання доцільно здійснювати перехресну перевірку, наприклад, з використанням методу річних приведених витрат. В результаті перевірки



показано, що на ефективність використання методу аналізу ієрархій впливає значення тарифу на електроенергію. З наведеного прикладу видно, що при тарифі, меншому за 0,6 грн/кВт·год., метод не дає точного результату і найкращою альтернативою є насос українського виробництва.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетичний аудит : Навчальний посібник / [Соловей О. І., Розен В. П., Лега Ю. Г. та ін.]. – Черкаси : ЧДТУ, 2005. – 299 с.
2. Метод аналізу ієрархій як інструмент для прийняття рішень при стратегічному плануванні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://pidruchniki.com/15660721/menedzhment/metod\\_analizu\\_iyerarhiy\\_instrument\\_dlya\\_priynuyattya\\_rishen\\_pri\\_strategichnomu\\_planuvanni](http://pidruchniki.com/15660721/menedzhment/metod_analizu_iyerarhiy_instrument_dlya_priynuyattya_rishen_pri_strategichnomu_planuvanni) / (дата звернення 09.03.2015). — Назва з екрана.
3. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями : навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.
4. Бабенко О. В. Метод перехресної перевірки результатів оцінювання освітлювального навантаження під час проведення енергетичного аудиту виробничих приміщень / О. В. Бабенко, В. В. Захаров, Д. Л. Ферфецький. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. - 2014. - Вип. 2 . - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV\\_2014\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV_2014_2_5)

**Олексій Вікторович Бабенко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [oleksij\\_babenko@ukr.net](mailto:oleksij_babenko@ukr.net);

**Марина Вікторівна Олійник** — студент групи 4Е-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Babenko Oleksii V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [oleksij\\_babenko@ukr.net](mailto:oleksij_babenko@ukr.net);

**Olijnyk Maryna V.** — Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ТАРИФНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ АГРОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Проаналізовано систему стимулюючого регулювання споживання активної електроенергії, яка реалізується за допомогою диференційованих тарифів, що враховують збільшення енерговитрат в електромережах при збільшенні навантаження споживачів в години „пік”.*

**Ключові слова:** понижувальна підстанція, диференціювання, тариф, ціна, енергозбереження, система стимулювання, розподілення енерговитрат.

### *Abstract*

*Analyzed the system of incentive regulation active consumption of electricity, which is implemented through differentiated tariffs that take into account the increase in electric power consumption while increasing load of customers in an hour "peak".*

**Keywords:** the downward substation, differentiation, tariff price, energy efficiency, system promotion, distribution of energy.

### Вступ

Впровадження диференційованих за часом цін на ринку електроенергії є досить складним завданням. Існує дві причини, що стримують широке впровадження споживачами диференційованих за часом тарифів на електроенергію:

- 1) невідповідність для ряду споживачів впровадження диференційованих за часом тарифів та відсутність стимулювання споживачів у разі переходу їх на диференційовані за часом тарифи;
- 2) необґрунтованість тарифних коефіцієнтів диференційованих за часом тарифів з точки зору відповідності витрат на виробництво та передавання електроенергії.

### Результати дослідження

Розглянемо можливість застосування методики стимулювання, яка була запропонована в [1, 2], в сучасних умовах. Коефіцієнт надбавки (скидки) для годин „пік” нараховується, якщо графік споживання підприємства за нерівномірністю відрізняється від графіка навантаження енергосистеми. Ціна електроенергії для годин „пік” визначатиметься за формулою:

$$\text{Ц}_{\text{п}} = \text{Ц}_{\text{с}} k_{\text{п}} (1 + k_j k_n^*), \quad (1)$$

де  $\text{Ц}_{\text{с}}$  – середня ціна електроенергії;  $k_{\text{п}}$  – тарифний коефіцієнт для зони „пік” ( $k_{\text{п}} = 1,8$ );  $k_j$  – коефіцієнт технологічних витрат для мереж даного класу напруги;  $k_n^*$  – коефіцієнт надбавки (знижки) до ціни в піковій зоні.

Причому надбавка (знижка) підприємству за споживання в години „пік” залежить від частки „пікового” електроспоживання  $W_n^*$  та відносної його тривалості  $t_n^*$  і становитиме

$$k_n^* = \frac{W_n^*}{t_n^*} - k_n. \quad (2)$$

Частку споживання електричної енергії підприємством в години „пік” та відносну тривалість пікового навантаження визначають за формулами

$$W_n^* = \frac{W_n}{W}; \quad t_n^* = \frac{t_n}{24}, \quad (3)$$

де  $W_n$ ,  $W$  – спожита електроенергія відповідно в години „пік” та протягом доби;  $t_n$  – тривалість пікового навантаження протягом доби.

Розглянемо розрахунок пікового тарифу на прикладі Деражнянського плодоконсервного заводу (таблиця).

Таблиця

**Розрахунок тарифів на активну електроенергію Деражнянського плодоконсервного заводу**

Показник	Розрахунковий період			
	жовтень	листопад	грудень	січень
Загальне споживання електроенергії, кВт·год	37150	17380	17920	14736
Споживання енергії в години "пік", кВт·год	27863	4130	5690	3684
Частка споживання електроенергії в години "пік" ( $W_n^*$ ), %	75	24	32	25
Тарифний коефіцієнт для зони "пік" ( $k_n$ )	1,8	1,8	1,8	1,8
Надбавка (знижка) за збільшення (зменшення) споживання в години "пік" ( $k_n^*$ ), грн/кВт·год	+1,2	-0,84	-0,4	-0,8
Середній роздрібний тариф на електроенергію ( $C_c$ ), грн/кВт·год	1,825	1,825	1,825	1,907
Ціна за електроенергію за діючою системою оплати, грн/кВт·год	3,285	3,285	3,285	3,433
Ціна за електроенергію при оплаті за пропонованою системою ( $C_n$ ), грн/кВт·год	3,68	3,009	3,154	3,158

**Висновки**

Така організація ціни стимулюватиме споживача до зменшення навантаження перш за все в години „пік” та переносу їх на години „нічного провалу”, де знижки найбільші.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Мельничук Л. М. Диференціація роздрібних тарифів на електроенергію з урахуванням технологічних витрат в електромережах [Текст] / Л. М. Мельничук // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону: Науковий збірник / За ред. Ткачук І.Г. / Івано-Франківськ : Вид-во ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. – 2008. – Вип. 4. – Т.2. – С. 290-295.
2. Мороз О. О. Механізми диференціації роздрібних тарифів на активну електроенергію [Текст] / О. О. Мороз, Л. М. Мельничук // Економіка АПК. – 2010. – № 5. – С. 130-132.
3. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.

**Біленький Валентин Петрович** – студент групи 4Е-126, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: valik.beliy@yandex.ua

Науковий керівник: **Мельничук Людмила Михайлівна** – к.е.н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних засобів, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Бурбело Михайло Йосипович** - доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

**Belenky Valentin** - student of 4E-12b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [valik.beliy@yandex.ua](mailto:valik.beliy@yandex.ua)

Supervisor: **Melnichuk Lyudmila**, – Cand. Sc.(Econ.), Assistant Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Burbelo Michailo**. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of electrical systems of power and energy management Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ЛЮМІНІСЦЕНТНИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОЛЮСНИХ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Запропоновано новий безконтактний метод вимірювання температури на основі використання ефекту температурного згасання люмінофора та розроблено конструкцію засобу вимірювання температури, що його реалізує.

**Ключові слова:** температура, люмінесценція, люмінофор, випромінювання, вимірювання.

### Abstract

The new noncontact method of measuring of temperature is offered on the basis of the use of effect of the temperature fading of phosphor and the construction of means of measuring of temperature is worked out, that it will realize.

**Key words:** temperature, luminiscence, luminophor, radiation, measurement.

### Вступ

Температура є одним з основних параметрів, що значною мірою визначає хімічні та фізичні властивості речовини [1, 2]. При порушенні діелектричних властивостей міжвиткової ізоляції спостерігається зростання температури дефектної зони, що, запускаючи лавиноподібний процес, призводить до подальшого термічного руйнування, швидкість якого зростає пропорційно часу розвитку дефекту. Своєчасне виявлення такого роду дефектів є особливо важливим при експлуатації силових генераторних установок промислових електричних станцій, де вчасне виявлення аномального зростання температури полюсних обмоток є перспективним напрямком запобігання аварійним ситуаціям, що можуть призвести до значних негативних наслідків.

### Результати дослідження

На сьогоднішній день переважна більшість безконтактних засобів вимірювання температури ґрунтується на використанні пірометричних методів теплового випромінювання, ключовою ідеєю яких є фотофіксація інтенсивності теплового випромінювання об'єкта дослідження [2]. Основним недоліком цих методів при вимірюванні температури до 180 °С, що є верхньою межею допустимих температурних відхилень ізоляції Н – класу (найбільш термостійкого класу ізоляції електричних машин) [3], є недостатня інтенсивність.

Перспективним шляхом вирішення проблеми підвищення чутливості безконтактного вимірювання температури є використання ефекту люмінесцентного випромінювання. У цьому випадку залежність квантового виходу фотолюмінесценції від температури описуватиметься за допомогою наступної залежності [4]:

$$\eta(T) = \frac{1}{1 + qe^{\frac{-E_n}{kT}}}, \quad (1)$$

де  $q$  – стала, що характеризує властивості центра люмінесценції;  $k$  – стала Больцмана;  $e$  – стала Ейлера.

Звідси, залежність інтенсивності люмінесцентного випромінювання від температури може бути представлена у наступному вигляді:

$$I_l = \frac{I_{\max}}{1 + qe^{\frac{-E_n}{kT}}}, \quad (2)$$

де  $I_{\max}$  – максимально можливе значення інтенсивності люмінесценції для даного люмінофора при сталому значенні інтенсивності і частоти збуджуючого випромінювання, на яку поширюється положення закону Больцмана.

З рівняння (4) видно, що температурне згасання проявляється лише при досягненні деякого критичного рівня температури люмінофора, який буде тим менше, чим меншою буде енергія переходу центру люмінесценції на більш високий енергетичний рівень. А при температурах, що є нижчими від критичного рівня, справедливою буде рівність:

$$I_l \approx I_{\max}. \quad (3)$$

Для реалізації запропонованого методу безконтактного вимірювання температури пропонується конструкція засобу вимірювання температури, структурна схема якого приведена на рис. 1

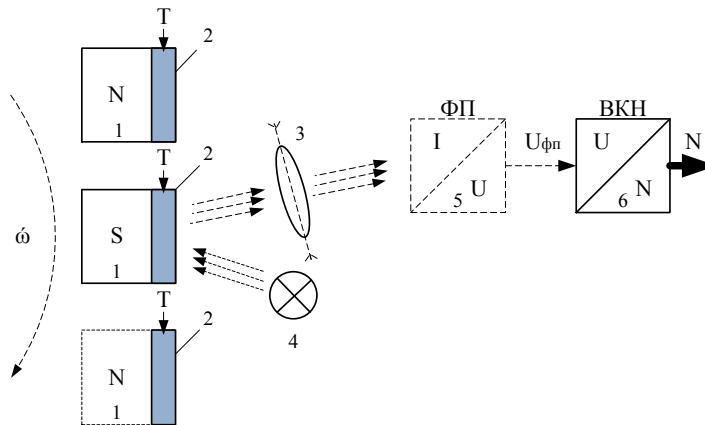


Рис. 1 Структурна схема безконтактного засобу вимірювання температури

### Висновки

1. Запропоновано новий безконтактний метод вимірювання температури, який за рахунок використання ефекту температурного згасання люмінофора дозволив забезпечити високу чутливість та перенесення інформативного сигналу у область більш високих частот, що дозволило підвищити точність вимірювання температури у порівнянні з методами теплової пірометрії.

2. Розроблено конструкцію безконтактного засобу вимірювання температури, що реалізує запропонований метод вимірювання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Посудін Ю. І. Фізика і біофізика навколишнього середовища / Ю. І. Посудін – Київ: Світ, 2000. – 303 с.
2. Дубас Л. Г. Бесконтактная пирометрия для плотного вещества / Л. Г. Дубас // Журнал технической физики. – 2013. – том 83, вип. 1 – С. 134 – 139.
3. Белікова Л. Я. Электричні машини. Навчальний посібник. / Л. Я. Белікова, В. П. Шевченко – Одеса: Наука і техніка, 2011. – 480 с.
4. Гурвич А. М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. Учеб. Пособие для вузов. / А. М. Гурвич – Москва: «Высшая школа», 1971. – 336 с.

**Валерій Федорович Граняк** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет

**Valerii Fedorovich Hraniak** –Cand. Sc. (Eng), senior Lecturer of Department of Theoretical electrical engineering and electric measurings, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ОБОРОТНИХ ГІДРОАГРЕГАТІВ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Аналізуються особливості діагностування існуючих дефектів оборотних гідроагрегатів в насосному та турбінному режимах, а також в режимі синхронного компенсатора.

Ключові слова: оборотний гідроагрегат, насосний режим, турбінний режим, режим синхронного компенсатора, биття валу.

### Abstract

Features of diagnosing of existing defects of reversible hydrounits in pump and turbine modes, and also in a mode of the synchronous jack are analyzed.

Keywords: the reversible hydrounit, a pump mode, a turbine mode, a mode of the synchronous jack, shaft palpation.

В роботі [1] розглянуті принципи роботи, математичні моделі та алгоритми системи автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ), яка призначена для функціонування на Дністровській ГЕС-2. Система базується на принципах частотно-часового спектрального аналізу, який перетворює входні вібросигнали в амплітудно-частотно-часові спектри (АЧЧС). Крім того, САДП-РДГ отримує дані про струми навантаження та рівень води у водосховищі.

Аналогічна система може бути створена для Дністровської гідроакумулюючої електростанції (ГАЕС). Разом з тим, вібродіагностування агрегатів ГАЕС має деякі істотні особливості.

1. Агрегати гідроакумулюючих електростанцій є оборотними, тобто можуть працювати в двох режимах – насосному і турбінному. В першому режимі ГАЕС, споживаючи надлишкову енергію від енергосистеми в години мінімуму навантажень, перекачує воду з нижнього водосховища у верхній акумулюючий басейн. В другому режимі ГАЕС працює в години максимального споживання енергії. Використовуючи воду з верхнього басейну, вона видає електроенергію в систему.

Окрім цих режимів можливий також (досить рідко), так званий, режим синхронного компенсатора, коли від оборотного агрегату в систему надходить лише реактивна енергія.

Отже, нейроподібна мережа для вібродіагностування оборотного гідроагрегату повинна реалізувати три режими роботи з різними параметрами настроювання а саме:

- фонових значення вейвлет-коефіцієнта  $j$ -ї смуги частот в певний момент часу  $D_{0xj}$ ;
- узагальнених числових коефіцієнтів, що характеризують залежність вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ї смуги частот від потужності навантаження  $v_j$ ;
- узагальнених числових коефіцієнтів, що характеризують залежність вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ї смуги частот від рівня води у водосховищі  $p_j, q_j$ ; (в режимі синхронного компенсатора ці коефіцієнти відсутні);
- вагові коефіцієнти, які визначають важливість урахування вейвлет-коефіцієнтів смуг частот АЧЧС і  $i$ -го вібросигналу в рівні вірогідності  $k$ -го нейрона  $w_{ki}$ .

Окремо відзначимо, що струми навантаження в усіх трьох режимах різні. Крім того, в перших двох режимах відрізняються одне від одного рівні води у нижньому водосховищі та верхньому акумулюючому басейні.

2. Окрім традиційної для звичайних гідроагрегатів вібрації у потужних оборотних гідроагрегатів має місце явище биття валу [2].

За означенням, биття – це коливання, які є результатом додавання двох гармонічних коливань з близькими частотами. При цьому, частота коливань значень розмаху при битті дорівнює різниці частот коливань, які додаються.

Слід також пам'ятати, що биття в електромеханічних системах можуть бути пов'язані не лише з електромагнітними дефектами, а мати суто механічне походження.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія. / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. В. Усов та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 169 с.
2. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М., 1996. – 276 с.

Сергій Олександрович Биковский – здобувач наукового ступеня «кандидат технічних наук» кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Вячеслав Губейович Мадьяров – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Самоїл Шулімович Каців – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця,  
e-mail: kaciv@ineeem.vntu.edu.ua

Науковий керівник: Василь Васильович Кухарчук – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Sergey A. Bykovsky – the competitor of scientific degree "Cand.Tech.Sci." of chair theoretical electrical engineers and electric measurements, Vinnitsa national technical university, Vinnitsa

Vyacheslav G. Madjarov – Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair theoretical electrical engineers and electric measurements, Vinnitsa national technical university, Vinnitsa

Samoil Sh. Katsyv – Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair theoretical electrical engineers and electric measurements, Vinnitsa national technical university, Vinnitsa, e-mail: kaciv@ineeem.vntu.edu.ua

The supervisor of studies: Vasil Vasilovich Kuharchuk – Dr.Sci.Tech., Professor, the manager of chair theoretical electrical engineers and electric measurements, Vinnitsa national technical university, Vinnitsa

# ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ 1-ГО І 2-ГО ПОРЯДКІВ ЯК ЗАСТУПНИХ ІНФОРМАТИВНИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ ВІБРОШВИДКОСТІ ТА ВІБРОЗМІЩЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Проведена ідентифікація інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків як альтернативних заступних інформативних еквівалентів основних базисних параметрів вібраційного стану гідрогенераторів ГЕС (віброшвидкості і віброзміщення).

**Ключові слова:** вібрація, контроль, гідроенергетика, віброприскорення, віброшвидкість, віброзміщення, інтегральні віброприскорення.

## Abstract

Integrated vibroaccelerations of 1st and 2nd order as the alternative informative equivalents of base parameters (vibroshifft) of a vibrating state of hydrogenerators of hydroelectric station have been identified.

**Keywords:** vibration, control, hydroenergetics, vibroshifft, integrated vibration acceleration.

## Вступ

Для проведення процедури динамічного контролю вібраційного стану гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків [1] розв'язується задача їх ідентифікації як можливих заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості та віброзміщення, відповідно. Останні, як відомо, разом з віброприскоренням є базисними, відтак – вихідними, в формуванні системи параметрів, що якісно і кількісно описують вібраційний стан об'єктів контролю [2-4]. Водночас запропоновані альтернативні фізичні величини в змозі помітно зменшити загальний обсяг обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю. Розкриття і математичне обґрунтування цієї властивості є основною метою даної роботи.

Варто зазначити, що у разі проведення динамічного виду віброконтролю, коли гідрогенератор перебуває в стані перехідного процесу, наприклад, під час запуску та розгону системи, актуальність поставленої задачі набуває виняткового значення, оскільки саме такий вид контролю вібраційного стану об'єктів гідроелектроенергетики на сьогодні є надзвичайно затребуваним, але водночас – малодослідженим і в самій теорії віброконтролю, і в її практиці [2-4].

## Заступні інформативні еквіваленти фізичних величин

Заступними інформативними еквівалентами фізичної величини називатимемо всі інші фізичні величини, відлікові значення яких перебувають в лінійній залежності від відлікових значень оригінала. Тоді для останнього можна записати

$$Y_k = c_1 X_{k-s} + c_2, \quad (1)$$

де  $k = 0, 1, 2, \dots$ ;  $c_1, c_2$  – інваріанти до відлікових значень  $X$ , наприклад, постійні або залежні від часу явно величини,  $s \leq k$  – константа;  $X$  – один із еквівалентів фізичної величини  $Y$ .

Під час проведення процедури контролю заступні інформативні еквіваленти здатні замінювати оригінали на різних етапах вторинних перетворень. За певних умов така заміна з точки зору зменшення обчислювальних, часових та апаратних ресурсів може виявитися ефективною.

## Ідентифікація інтегрального віброприскорення 1-го порядку як заступного інформативного еквівалента віброшвидкості

Для знаходження та ідентифікації можливих заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості і віброзміщення побудуємо узагальнені рекурсивні оператори, які розкривають правила однозначного відображення послідовності відлікових значень дискретного у часі сигналу



віброприскорення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  у послідовності значень віброшвидкості  $\{v_0, v_1, \dots, v_k, v_{k+1}, \dots\}$  та віброзміщення  $\{s_0, s_1, \dots, s_k, s_{k+1}, \dots\}$ , відповідно.

Для віброшвидкості таким оператором є відображення [1]

$$v_{k+1} = v_0 + \Delta t \sum_{i=0}^k a_i. \quad (2)$$

В формулі (2)  $\Delta t$  – це крок дискретизації, значення якої наразі вважаємо довільним, але постійним.

Відповідно до [1],

$$\xi_k^{(1)} = \sum_{i=0}^k a_i = a_0 + a_1 + \dots + a_k, \quad (3)$$

сума в формулі (2) є  $k$ -м відліковим значенням інтегрального віброприскорення 1-го порядку.

Тоді з урахуванням (3) вираз (2) набуває вигляду (1)

$$v_{k+1} = \Delta t \xi_k^{(1)} + v_0. \quad (4)$$

Згідно з формулою (4), за нульового значення  $v_0 = 0$  поміж відліковими значеннями віброшвидкості та інтегрального віброприскорення 1-го порядку буде сформовано пряму пропорційність

$$v_{k+1} = \Delta t \xi_k^{(1)}. \quad (5)$$

Границями допускового інтервалу слугуватимуть

$$\xi_{\min}^{(1)} = \frac{v_{\min}}{\Delta t} \quad \text{та} \quad \xi_{\max}^{(1)} = \frac{v_{\max}}{\Delta t}.$$

### Ідентифікація інтегрального віброприскорення 2-го порядку як заступного інформативного еквівалента віброзміщення

Відлікове значення віброзміщення  $s$  на  $(k+1)$ -му кроці дискретизації [1]

$$s_{k+1} = s_0 + (k+1)\Delta t v_0 + \Delta t^2 \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2}. \quad (6)$$

Неважко помітити, що подвійна сума в формулі (6) є  $(k-1)$ -шим відліковим значенням інтегрального віброприскорення 2-го порядку [1]

$$\begin{aligned} \xi_k^{(2)} &= \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2} = a_0 + (a_0 + a_1) + \dots + (a_0 + \dots + a_k) = \\ &= \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(1)} = \xi_0^{(1)} + \xi_1^{(1)} + \dots + \xi_k^{(1)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тому формулу (6) можна переписати з урахуванням (7):

$$s_{k+1} = s_0 + (k+1)\Delta t v_0 + \Delta t^2 \xi_{k-1}^{(2)}. \quad (8)$$

Отримане співвідношення (8) є оператором відображення послідовності відлікових значень віброприскорення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  об'єкта вимірювання або контролю у відлікові значення віброзміщення  $\{s_0, s_1, \dots, s_k, s_{k+1}, \dots\}$ . Цей оператор вирізняється рядом позитивних якостей.

Однією з таких якостей є *узагальненість* оператора, що дозволяє математично описувати процес зазначеного перетворення не тільки за стаціонарних режимів роботи об'єкта віброконтролю, але і під час його перехідних процесів, і здійснювати це як за нульових, так і ненульових початкових умов віброшвидкості  $v_0$  та віброзміщення  $s_0$ . Іншою істотною якістю зазначеного оператора є його *лінійність*, оскільки рівняння відображення (9) можна записати у вигляді (4).

Якщо всі початкові умови для об'єкта віброконтролю водночас покласти рівними нулю, тобто  $s_0 = 0$ ,  $v_0 = 0$ ,  $a_0 = 0$ , оператор відображення (9) зазнає істотних і важливих спрощень. Зауважимо, що така ситуація у виробничій практиці зустрічається доволі часто. Наприклад, саме такі передумови спостерігаються під час запуску та розгону системи гідрогенератора у разі проведення контролю його вібраційного стану. Як зазначалося вище на сьогодні такий вид віброконтролю на об'єктах гідроенергетики є затребуваним, але малодослідженим.

Відтак за нульових початкових умов в формулі (8) спостерігають якісні зміни, де між відліковими значеннями віброзміщення та інтегрального віброприскорення 2-го порядку встановлюється не просто лінійна залежність, а формується пряма пропорційність

$$s_{k+1} = \Delta t^2 \xi_{k-1}^{(2)}. \quad (9)$$

Щодо границь допускового інтервалу, то для зазначеного режиму роботи вони мають бути розраховані на підставі формули (9)

$$\xi_{\min}^{(2)} = \frac{s_{\min}}{\Delta t^2}; \quad \xi_{\max}^{(2)} = \frac{s_{\max}}{\Delta t^2}.$$

### Висновки

В доповіді розв'язано задачу ідентифікації інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків як можливих альтернативних заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості та віброзміщення, які у разі їх введення у вихідний базис теорії віброконтролю здатні помітно зменшити загальний обсяг обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю під час динамічного контролю вібраційного стану гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС в стаціонарних та, головне, перехідних режимах роботи останніх.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ведміцький Ю. Г. Числове перетворення вібропараметрів гідрогенератора на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк // Метрологія та прилади. – №5(55). – 2015. – С. 21 - 27.
2. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1996. – 276 с.
3. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
4. Вибрации в технике : справочник. В 6-ти т. / Ред. совет : В. Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. – 509 с.

**Юрій Григорович Ведміцький** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teeb@i.ua.

**Yuryy Gr. Vedmitchyk** – Cand. Sc. (Eng), Docent, Associate Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teeb@i.ua.

# ІНТЕГРАЛЬНІ ВІБРОПРИСКОРЕННЯ В ТЕОРІЇ ВІБРОКОНТРОЛЮ. СУТНІСТЬ І АЛЬТЕРНАТИВА

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Для проведення процедури динамічного контролю вібраційного стану об'єктів гідроенергетики та покращення окремих його метрологічних характеристик запропоновано новий клас позасистемних фізичних величин – інтегральних віброприскорень, які за інформативною здатністю можуть слугувати еквівалентами традиційним віброшвидкості та віброзміщенню, але за можливістю зменшення загального обсягу обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю – ефективною альтернативою.

**Ключові слова:** вібрація, контроль, гідроенергетика, віброприскорення, віброшвидкість, віброзміщення, інтегральні віброприскорення.

## Abstract

For dynamic control of systems of hydroenergetics the new system of physical quantities (integrated vibration acceleration) has been created. This system by criterion of information ability is equivalent standard (vibrospeed and vibroshift), but concerning economy of time and hardware resources is the effective.

**Keywords:** vibration, control, hydroenergetics, vibrospeed, vibroshift, integrated vibration acceleration.

## Вступ

Динамічний контроль вібраційного стану об'єктів гідроенергетики є одним з ефективних методів забезпечення їх роботи як за усталених режимів, так і, головне, під час перехідних процесів [1]. У разі небезпеки цей різновид контролю дозволяє вже на ранніх етапах визначати не тільки моменти критичного зростання ймовірності аварійного стану системи в цілому, але і своєчасно виявляти в ній потенційно уразливі ланки, що здатні спричинити аварію.

З-поміж основних параметрів, які описують вібраційний стан об'єктів контролю, базисними є віброзміщення, віброшвидкість та віброприскорення [1-4]. Згідно з чинними стандартами, перший з названих параметрів визначається як вібраційна складова переміщення, інші ж два – як її перша та друга похідні часу, відповідно.

Уважний аналіз вихідного базису теорії віброконтролю [1], а також дослідження практики його проведення у виробничих умовах, зокрема, на об'єктах гідроенергетики [1, 2], дозволяє виявити, з одного боку, потребу, а з іншого – дотепер ще нереалізовану можливість помітного заощадження часових та апаратних ресурсів у спосіб зменшення обчислювального навантаження на первинний тракт засобу віброконтролю за інших рівних умов. Однак успішна реалізація цієї можливості попередньо вимагає створення та розбудови нового класу позасистемних фізичних величин. Позаяк введення у вихідний базис теорії контролю нових об'єктів повинно отримати належне достатнє математичне обґрунтування, теоретичне відображення сутності зазначених фізичних величин, розкриття і дослідження їх основних властивостей і стало основною метою заявленої роботи.

## Інтегральні віброприскорення. Попередні зауваження

Нововведені фізичні величини називатимемо *інтегральними віброприскореннями  $n$ -го порядку*, де  $n = 0, 1, 2, \dots$ , оскільки вони формуються на основі послідовності відлікових значень дискретизованого за часом віброприскорення. Істотно, що, кількість математичних операцій, необхідних для визначення інтегрального віброприскорення  $n$ -го порядку на кожному відліку часу буде меншою, аніж це потрібно у разі проведення  $n$  кратного інтегрування віброприскорення. Водночас таке віброприскорення за виконання певних умов здатне перебувати у відношенні прямої пропорційності з інтегралом, внаслідок чого, природно, матиме ті ж інформативні властивості, що і сам інтеграл.

Із заявленого ряду інтегральних віброприскорень важливими є віброприскорення 1-го і 2-го порядків, оскільки зазначені фізичні величини є *заступними інформативними еквівалентами* [4] віброшвидкості та віброзміщення, відповідно.

### Інтегральні віброприскорення $n$ -го порядку

Отже, вихідною умовою задачі є впорядкована зчислена послідовність  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$

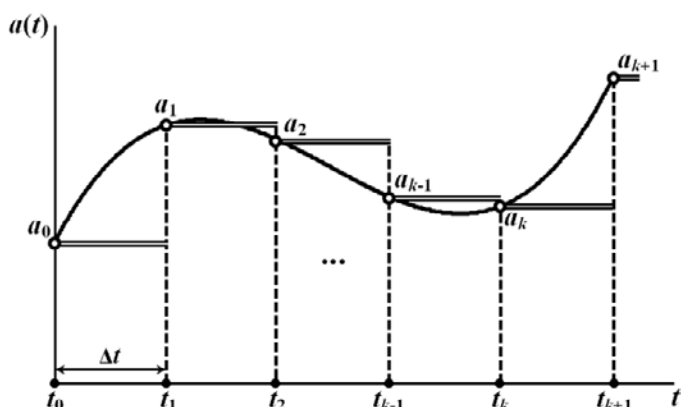


Рис. 1. Неперервний та дискретний сигнали віброприскорення  $a(t)$

відлікових значень дискретного у часі сигналу  $a_k = a(t_k)$ , де  $t_k = k \Delta t$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , згенерованого сенсорним акселерометром засобу віброконтролю на основі поточних значень віброприскорення  $a(t)$  об'єкта контролю, починаючи з деякого початкового моменту часу  $t_0$ , наприклад,  $t_0 = 0$  (рис. 1). Змінна  $\Delta t$  – це крок дискретизації, значення якої надалі вважатимемо довільним, але постійним.

Фізичну величину  $\xi^{(n)}$  називатимемо *інтегральним віброприскоренням  $n$ -го порядку*, де  $n = 0, 1, 2, \dots$ , якщо її відлікові

значення визначатимуться за правилом

$$\xi_k^{(n)} = \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(n-1)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} \xi_{i_2}^{(n-2)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} \dots \sum_{i_n=0}^{i_{n-1}} a_{i_n}, \quad (1)$$

а впорядкована сукупність цих значень утворюватиме послідовність  $\{\xi_0^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \dots, \xi_k^{(n)}, \xi_{k+1}^{(n)}, \dots\}$ .

Відтак рекурсивна формула (1) виявляє себе як оператор однозначного відображення послідовності  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в послідовність  $\{\xi_0^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \dots, \xi_k^{(n)}, \xi_{k+1}^{(n)}, \dots\}$ .

Формула (1) носить узагальнений характер і визначає ряд споріднених фізичних величин тієї ж розмірності, яку має і сама вихідна величина віброприскорення  $a(t)$ .

На підставі формули (1) внаслідок її узагальненості у дедуктивний спосіб неважко отримати інтегральні віброприскорення за конкретних значень  $n = 0, 1, 2, \dots$ .

### Інтегральні віброприскорення 1-го порядку

Для *інтегрального віброприскорення 1-го порядку*  $\xi^{(1)}$  правилом визначення  $k$ -го відлікового значення, відповідно до формули (1), є оператор

$$\xi_k^{(1)} = \sum_{i_1=0}^k a_{i_1} = a_0 + a_1 + \dots + a_k, \quad (2)$$

на основі якого і відбувається відображення послідовності відлікових значень віброприскорення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в послідовність  $\{\xi_0^{(1)}, \xi_1^{(1)}, \dots, \xi_k^{(1)}, \xi_{k+1}^{(1)}, \dots\}$ .

### Інтегральні віброприскорення 2-го порядку

Відлікові значення *інтегрального віброприскорення 2-го порядку*  $\xi^{(2)}$ , згідно з (1), де  $n = 2$ , необхідно розраховувати за формулою

$$\begin{aligned} \xi_k^{(2)} &= \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2} = a_0 + (a_0 + a_1) + \dots + (a_0 + \dots + a_k) = \\ &= \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(1)} = \xi_0^{(1)} + \xi_1^{(1)} + \dots + \xi_k^{(1)}, \end{aligned} \quad (3)$$

яка і слугує оператором відображення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в  $\{\xi_0^{(2)}, \xi_1^{(2)}, \dots, \xi_k^{(2)}, \xi_{k+1}^{(2)}, \dots\}$ .

### Інтегральні віброприскорення. Прикінцеві зауваження

Організація розрахунку відлікових значень інтегральних віброприскорень будь-якого порядку є нескладною. Це доводить рис. 2, де показано фрагмент алгоритму з додатково уведеним в тіло циклу рекурсивним оператором, за допомогою якого здійснюється послідовне визначення інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків на кожному кроці часового відліку.

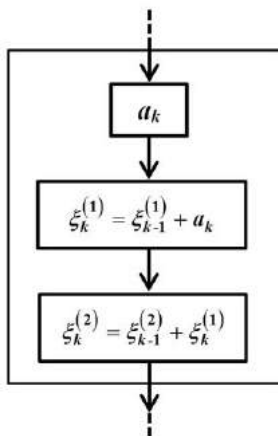


Рис. 2. Рекурсивний оператор розрахунку

$$\xi_k^{(1)} \text{ і } \xi_k^{(2)}$$

Втім варто звернути увагу і на те, що за практичної реалізації зазначеного алгоритму для збереження даних вимагатиметься додатковий ресурс фізичної пам'яті засобу контролю, об'єм якої буде тільки зростати, якщо зменшуватиметься крок дискретизації  $\Delta t$  і збільшуватиметься час проведення контролю. Це питання може виявитися, і, досить імовірно, виявиться, проблемним, що врешті потребуватиме свого вирішення, але в кожному конкретному випадку окремо.

Наприкінці зауважимо, що власне сама фізична величина віброприскорення об'єкта контролю є інтегральним віброприскоренням 0-го порядку  $\xi^{(0)}$ . Її відлікові значення дорівнюють  $\xi_k^{(0)} = a_k$ .

Також на увагу заслуговують інтегральні віброприскорення, для яких  $n > 2$  та  $n < 0$ . Щоправда, в цій роботі зазначені випадки не розглядаються.

### Висновки

Для проведення процедури динамічного контролю вібраційного стану об'єктів гідроенергетики запропоновано новий клас позасистемних фізичних величин – інтегральних віброприскорень, які за інформативною здатністю можуть слугувати еквівалентами традиційним віброшвидкості та віброзміщенню, але за можливістю зменшення загального обсягу обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю – ефективною альтернативою. Відтак в доповіді розкрито математичну сутність зазначених фізичних величин, виявлено та досліджено їх окремі властивості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1996. – 276 с.
2. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
3. Вибрации в технике : справочник. В 6-ти т. / Ред. совет : В. Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
4. Ведміцький Ю. Г. Числове перетворення вібропараметрів гідрогенератора на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк // Метрологія та прилади. – №5(55). – 2015. – С. 21 - 27.

**Юрій Григорович Ведміцький** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teeb@i.ua.

**Yuryu Gr. Vedmitckyy** – Cand. Sc. (Eng), Docent, Associate Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teeb@i.ua.

## ПОРІВНЯННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИВОДІВ РІЗНИХ ТИПІВ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТУ

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Запропоновано підхід до визначення динамічних властивостей приводу похилого дифузійного апарату засобами імітаційного моделювання на основі створених математичних моделей системи приводу різних типів. Проведено порівняння динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого приводу похилого дифузійного апарату з приводом постійного струму.*

**Ключові слова:** похилий дифузійний апарат, електричний привод, динамічні властивості, стійкість системи.

### **Abstract**

*An approach to determine dynamic properties over diffusion of advanced vehicle simulation modeling tools based on mathematical models created by different types of drive system. The comparison of the dynamic properties of asynchronous frequency-controlled drive unit elderly diffusion driven DC.*

**Keywords:** advanced diffusion apparatus, electric drive, dynamic properties, the stability of the system.

### **Вступ**

Сьогодні похилий дифузійний апарат (ПДА), який використовується в цукровому виробництві [1] для екстракції соку з бурякової стружки і являє собою транспортуючі шнековали, охоплені коритоподібним корпусом, приводиться в рух здебільшого приводом постійного струму. Така система приводу приводиться в рух двома двигунами постійного струму, що обертають шнековали з різних їх кінців, між якими виникає значний пружний зв'язок, що суттєво впливає на динамічні властивості привода. Однаковість динамічних моментів двигунів в такій системі забезпечується послідовним ввімкненням їх роторних обмоток та живлення від одного тиристорного перетворювача. Динамічні властивості такої системи досліджувалась у [2,3].

Однак, останнім часом досить часто зустрічаються намагання запровадити асинхронний привод з частотним регулюванням, що ґрунтується на відомих перевагах даного типу приводу та застарілості основного обладнання існуючих систем приводу постійного струму. На практиці ці намагання зустрічаються зі значними труднощами, пов'язаних із необхідністю забезпечення синхронного обертання двох двигунів при виникненні режиму їх нерівномірного завантаження внаслідок технологічних особливостей роботи ПДА.

Дослідження таких режимів ускладнюється відсутністю адекватного математичного опису механічної частини привода, яка б враховувала основні експлуатаційні характеристики роботи ПДА. Це призводить до помилок на стадії проектування, які виливаються в ненадійну роботу привода або надмірні витрати коштів на основні елементи привода.

У зв'язку з цим значної актуальності набуває математичне моделювання частотно-регульованого приводу ПДА, що дасть змогу правильно синтезувати та проектувати системи автоматичного керування цим приводом, а також дослідження динамічних властивостей таких систем та їх порівняння з традиційною системою привода постійного струму.

### **Результати дослідження**

На основі математичних моделей механічної частини привода ПДА описаних у [4] та поданого у [5] математичного опису електромагнітних та електромеханічних процесів в асинхронному двигуні (АД) розроблено структурну схему асинхронного привода, яка пов'язує основні його змінні через конструкційні та експлуатаційні параметри. За її допомогою можна синтезувати два типи системи

частотно-регульованого привода з різними варіантами живлення двох АД: від одного спільного перетворювача частоти (ПЧ) або від індивідуальних (рис. 1).

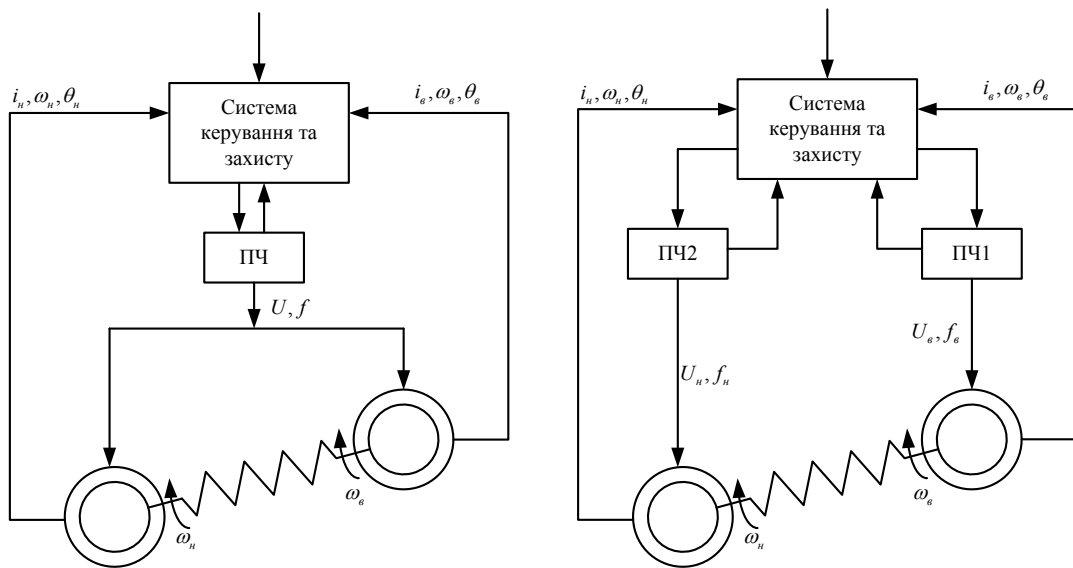


Рис. 1. Варіанти живлення АД привода ПДА

На рисунку 1  $i_n, \omega_n, \theta_n, i_e, \omega_e, \theta_e$  струм, швидкість обертання та кут повороту валу нижнього та верхнього двигуна відповідно. При живленні від одного ПЧ напруга  $U$  і  $f$  частота обох двигунів однакова. Система керування може мати зворотні зв'язки за струмом, швидкістю обертання та куту повороту кінця валу, але впливати на швидкість обертання чи момент окремого двигуна не здатна. При живленні АД від індивідуальних ПЧ система керування може змінювати напругу та частоту окремо на кожному двигуні та таким чином впливати на швидкість обертання та кут повороту валу окремого двигуна, що забезпечує кращі динамічні характеристики привода.

Отримані вище математичні моделі дало змогу створити імітаційні моделі різних типів привода в середовищі MATLAB Simulink та провести дослідження його динамічних властивостей за методикою описаною у [2], а також синтезувати алгоритми систем керування для обох варіантів живлення.

Важливою задачею є порівняння динамічних властивостей синтезованих систем із традиційною системою привода постійного струму даного механізму. Зокрема, на рисунку 2 визначено границю стійкості в системі координат: статичний момент  $M_c$  по відношенню до номінального моменту двигуна  $M_{ном}$ , коефіцієнт нерівномірності навантаження шнеко валу  $\alpha$  для таких типів привода: 1 – привід постійного струму, 2 – асинхронний привід зі спільним ПЧ, 3 – асинхронний привід з індивідуальними ПЧ. Штриховкою вказано стійку зону.

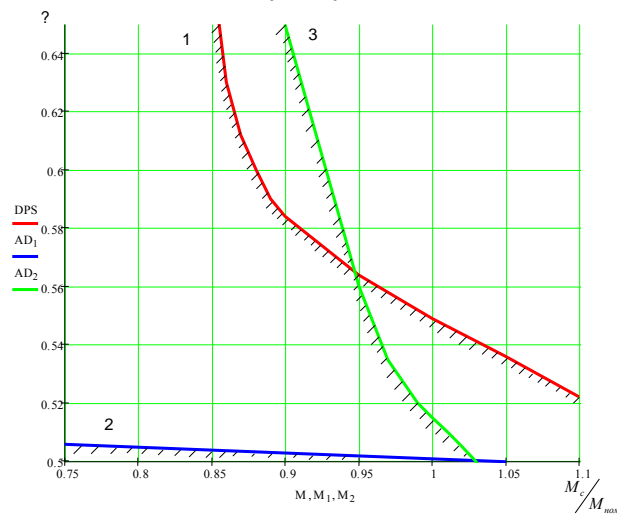


Рис. 2 Визначення зони стійкості різних типів привода

Як видно з отриманих залежностей асинхронний привод зі спільним ПЧ значно поступається приводу постійного струму і є дуже чутливим до нерівномірного завантаження шнековалів, внаслідок чого може втрачати стійкість. Значно кращими властивостями володіє привод з індивідуальними ПЧ, оскільки використання векторного керування в даному типі дає змогу синхронізувати обертання обох двигунів навіть при значній нерівномірності завантаження. Незаперечною перевагою привода постійного струму є його переважувальна здатність, чого досягти в асинхронному приводі є досить важко. Особливо це стосується пускових режимів з номінальним завантаженням дифузійного апарату.

### Висновки

Розроблено математичний опис асинхронного частотно-регульованого привода похилого дифузійного апарата. Запропоновано системи автоматичного керування асинхронним приводом зі спільним та індивідуальними перетворювачами частоти та створенні їх імітаційні моделі, які дозволяють досліджувати динамічні властивості привода. Визначено зони стійкості частотно-регульованого привода та наведено їх порівняльні характеристики по відношенню до привода постійного струму. Отримані результати можуть бути використанні для оптимального проектування привода ПДА.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1985. – 520 с.
2. Кухарчук В. Дослідження динамічних режимів роботи системи привода похилого дифузійного апарата методом імітаційного моделювання / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. - №4. – С. 7 – 12.
3. Кухарчук В. Динамічні властивості системи привода похилого дифузійного апарата / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2013. – №2. – С. 86 – 93.
4. Ведміцький Ю. Математична і електричні моделі механічної частини шнекових дифузійних апаратів / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, А. М. Коваль // Вісник інженерної академії України. – 2010. – №1. С. 155 – 160.
5. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 272 с.

*Андрій Миколайович Коваль – асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний університет, м. Вінниця*

*Andriy M. Koval— Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia*



## ПРОГРАМНО – АПАРАТНИЙ КОНТУР ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ САЕП ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРА

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Запропоновано підхід до знаходження лінеаризованої моделі системи електропривода на прикладі ШП-ДПС з заданим ступенем адекватності за вибірками вхідних/вихідних даних в SystemIdentificationToolbox. Здійснено налагодження контуру положення САК з двигуном RS-385SH-2270 засобами Simulink.

**Ключові слова:** мікроконтролер, система автоматичного керування, ідентифікація, програмно-апаратний контур, налаштування, регулятор.

### Abstract

The approach of the electric drive linearized model determination with the chosen level of the adequacy on the PWM-DC system example based on input/output data in SystemIdentificationToolbox was done. The positioning loop establishing of the automatic control system with the RS-385SH-2270 motor using Simulink was done.

The survey of the serial port and output responses to port was predefined in the testing algorithm. It allows to test the system in real time. The system test results show the adequacy of the system settings. A slight overshoot is determined by the expert criteria, which allows the obtaining of the advantage in the system performance. The delayed reactions caused by the reducer backlash.

**Keywords:** microcontroller, automatic control, identification, software - hardware circuit, configuration, controller.

### Вступ

Пакет прикладних програм Matlab містить в собі підпрограми для широкого кола задач, останні релізи яких мають багато нових можливостей, зокрема, для синтезу законів керування електроприводами, для дослідження та аналізу їх роботи, для знаходження оптимальних налаштувань коригуючих пристроїв системи [1, 2].

### Результати дослідження

В роботі [3] пропонується реалізація програмно апаратного контуру, структурна схема якого представлена на рисунку 1. На схемі: Controller – система керування, реалізована на восьмирозрядному мікроконтролері Atmega2560, Ampl. – підсилювач, DC – колекторний двигун постійного струму RS-385SH-2270, R – редуктор, PS – сенсор положення, PC – персональний комп'ютер, API\_MATLAB – прикладний програмований інтерфейс.

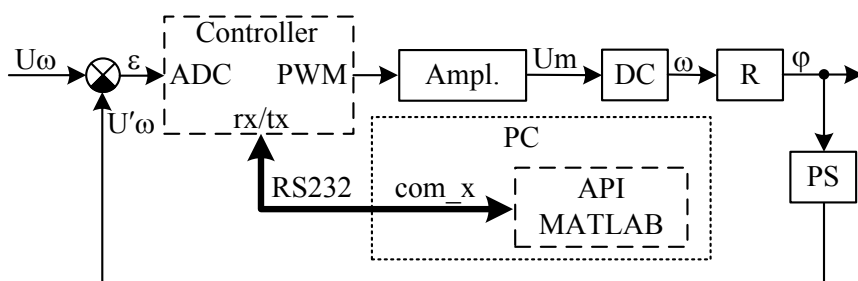


Рисунок 1. Структурна схема запропонованого підходу

ма мікроконтролера, 6 – дискретний вихід для створення сигналу ШІМ, 7 – електричний двигун постійного струму з постійними магнітами RS-385SH-2270 [6], 8 – редуктор (передаточне число 137), 9 – сенсор кутового положення вала робочого органа.

В праці проводились дослідження системи електричного привода ШП-ДПС стабілізації кутового положення. Фотографія дослідної установки представлена на рисунку 2, де 1 та 2 - відповідно послідовні порти комп'ютера та мікроконтролера, 3 - підсилювач із реверсивним мостом, 4 – вхід вбудованого АЦП, 5 – мікросхема

В процесі дослідження системи на її вхід було подано низку характерних сигналів, які були генеровані за допомогою Reference Voltage блока в Simulink середовищі, виведені на послідовний порт комп'ютера та зчитані із цього ж порта згідно з рисунком 1. Отримана база знань, що характерно описує поведінку досліджуваної системи та її властивості, дозволила знайти параметри регулятора та використати їх в бо пудові оптимальної системи керування.

На рисунку 3 представлено графіки дослідження налаштованої запропонованим методом системи. Випробування проводилось в реальному часі, завдяки можливості взаємодії сесії Simulink із периферією

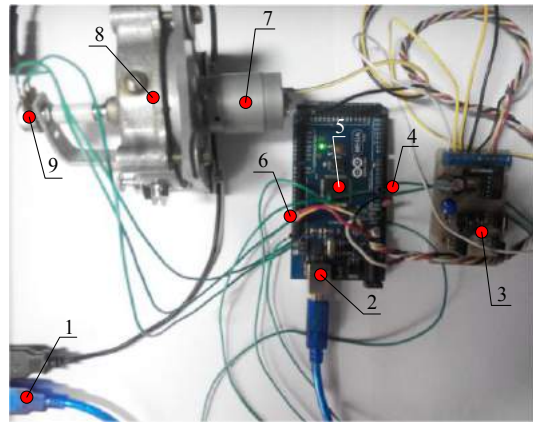


Рисунок 2. Фото дослідної установки



Рисунок 3. Графіки сигналу задання та відпрацювання задачі системою

## Висновки

Таким чином, запропонований підхід дозволяє отримати вибірку вхідних даних та реакції системи в режимі реального часу, отримати математичну модель контуру керування із заданим ступенем адекватності, здійснити налаштування регулятора згідно експертного критерію швидкодія/точність, згенерувати програму на мові програмування C і уже із визначеними оптимальними параметрами регулятора записати її в мікроконтролер.

В алгоритмі роботи системи керування було передбачено опитування послідовного порта та виведення реакції на порт. Це дозволило провести випробування системи в режимі реального часу. Результат тестування системи показаний на рисунку 13. Згідно графіків на можна зробити висновок про адекватність налаштувань системи. Незначне перерегулювання відповідає критерію, заданому експертом, що дозволило отримати перевагу в швидкодії системи. Затримка реакції зумовлена вибором зазору шестерень редуктора.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Learn about new product capabilities.[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/products/matlab/whatsnew.html>.
2. Creating an Endoscopic Surgical Stapler Prototype Using Model-Based Design .[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступу: [http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/creating-an-endoscopic-surgical-stapler-prototype-using-model-based-design.html?s\\_tid=srchtitle](http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/creating-an-endoscopic-surgical-stapler-prototype-using-model-based-design.html?s_tid=srchtitle).
3. Шевчук Ю. В. Програмно-апаратний контур для знаходження параметрів моделі об'єкта керування САЕП та визначення оптимальних налаштувань регулятора [Текст] / Ю. В. Шевчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 207-211.

**Шевчук Юрій Володимирович** — доцент кафедри ЕМСАІТ, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yuriy.shevchuck@gmail.com;

**Yuriy V Shevchuk** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of EMSAIT, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Запропонована адаптивна система керування дорожнім рухом за критерієм мінімальної транспортної затримки з комбінованим керуванням інтенсивністю транспортного потоку

**Ключові слова:** світлофор, регулювання дорожнього руху, адаптивна система, мікроконтролер, транспортна затримка, перехрестя.

### Abstract

The proposed adaptive traffic control system by the criterion of minimal transport delay with combined intensity control traffic flow.

**Keywords:** traffic lights, traffic regulation, adaptive system, microcontroller, transport delay, crossroads.

### Вступ

В умовах зростаючої автомобілізації в нашій країні, підвищення ефективності функціонування роботи автомобільного транспорту у містах та їх розвиток нерозривно пов'язані із збільшенням пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі, як наслідок це вимагає будівництва нових і реконструкцію існуючих шляхів, та оптимізацію керування дорожнім рухом з використанням інтелектуальних адаптивних систем керування [1]. Крім того застосування адаптивних систем керування дорожнім рухом в умовах міста дозволяє проводити моніторинг інтенсивності руху, завантаженості та швидкості руху на ділянках автодоріг.

Метою роботи є розроблення методу світлофорного регулювання з врахуванням інтенсивності та завантаженості руху на перехресті.

### Результати дослідження

В роботі запропонована програмно-апаратна реалізація системи автоматизації світлофорного регулювання на основі адаптивного керування перехрестя. В якості критерію оптимізації вибрано критерій мінімальної транспортної затримки яка розраховується за відомою формулою Вебстера [2]:

$$t_{ij} = \frac{T_c \cdot (I - N_{ij})^2}{2(I - N_{ij}x_{ij})} + \frac{x_{ij}^2}{2\lambda_{ij}(I - x_{ij})} - 0,65 \left( \frac{T_c}{\lambda_{ij}^2} \right)^{1/5} \cdot x_{ij}^{2+3x_{ij}}, \quad (1)$$

де  $\lambda_{ij}$  – інтенсивність руху за напрямом  $i$  на перехресті  $j$ ;  $N_{ij}$  – відношення тривалості дозволяючого сигналу до тривалості циклу;  $x_{ij}$  – ступінь насиченості конкретного напрямку руху;  $T_c$  – тривалість циклу регулювання.

Проаналізувавши формулу (1) можна зробити висновок, що перша складова формули дозволяє визначити затримку при регулярному прибуття автомобілів до перехрестя, друга складова враховує випадковий характер прибуття, вона отримана на основі теорії масового обслуговування і дозволяє визначити середню затримку в даному напрямку перехрестя, який представляється одноканальною системою обслуговування, куди надходить потік заявок з постійною інтенсивністю, і відповідно третя складова є коригувальним членом, що дозволяє врахувати похибка при розрахунку затримки по перших двом складовим формули в порівнянні з її значенням, визначеним експериментально.

Запропоновано знизити вплив другої складової рівняння (1) за рахунок зменшення ступені наси-

ченості конкретного напрямі руху на перехресті -  $x_{ij}$ , це досягається збільшенням рівномірності потоку за рахунок узгодженого керування світлофорами встановлених на сусідніх перехрестях, які забезпечують основний потік на даному перехресті. Рівномірність потоку досягається зміщенням фаз спрацювання світлофорів перехрестя відносно фаз попереднього, через який проходить основний транспортний потік. Алгоритм визначення зміщення фаз полягає у визначенні максимально інтенсивного напрямку на  $(j-1)$ -ому перехресті та розрахунку часу зміщення по середній швидкості в даному напрямку, при цьому враховується обмеження часу зміщення, яке не перевищує часу циклу. Алгоритм можна представити у вигляді системи рівнянь (2):

$$\begin{cases} \lambda_m = \max(\lambda_{ij-1}); \\ t_k = V_{сеп}^m / s; \\ t_k \leq T_c, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\lambda_m$  - максимальна інтенсивність руху на попередньому перехресті;  $t_k$  - час зміщення фаз;  $V_{сеп}^m$  - середня швидкість в напрямі з максимальною інтенсивністю руху.

### Висновки

Отже запропонований комбінований підхід до побудови адаптивної системи керування дорожнім рухом дозволяє врахувати не тільки інтенсивність руху на перехресті, а і розподіл цієї інтенсивності в залежності від параметрів потоку на попередньому перехресті, тому керування транспортним потоком здійснюється зміною часу дозволяючих сигналів відповідних напрямків так і зміною зміщення фаз регулювання. Запропонована система реалізована в мікропроцесорному виконанні на базі контролера Atmega 2560.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения/ Ю.А. Кременец.– М.: ИКЦ «Академия», 2005. - 279с.
2. Engelbrecht, R. J., Fambro, D. B., Roupail, N. M. and Barkawi, A. A. (1997), "Validation of Generalized Delay Model for Oversaturated Conditions", Transportation Research Record 1572, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp. 122-130.

**Андрій Сергійович Горбань** — студент групи ІЕМ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м Вінниця;

**Олександр Сергійович Кметюк** — студент групи ІЕМ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м Вінниця.

Науковий керівник: **Дмитро Петрович Проценко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Andriy S. Gorban** — student of Department of electric power industry and electromechanical, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Alexander S. Kmetiuk** — student of Department of electric power industry and electromechanical, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Dmytro P. Protsenko** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electromechanical systems automation in industry and transport department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТАТОРА ТА КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОЇ МАШИНИ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розроблено стенд для визначення технічного стану статора та ротора асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, який використовується в навчальному процесі для студентів 1-2 курсів.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, дефектація, обмотки.

## Abstract

Stand was developed to determine technical condition of stator and rotor induction motor with squirrel cage that used in in the educational process for students of 1-2 courses.

**Keywords:** induction motor, fault detection, windings.

## Вступ

Сьогодні широке розповсюдження набули асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Вони використовуються в різноманітних технологічних установках завдяки простоті керування та значній ефективності. Але інколи дані машини можуть виходити з ладу. Тому метою роботи є створення стенду для контролю технічного стану статора та короткозамкненого ротора асинхронної машини.

## Результати дослідження

Розроблено стенд-тренажер, який дозволяє набути навичок у виявленні різних пошкоджень обмоток статора та короткозамкненого ротора асинхронного двигуна. Стенд був розроблений для дисципліни «Робоча професія» для студентів 1-2 курсів. Зовнішній вигляд представлений на рисунку 1.

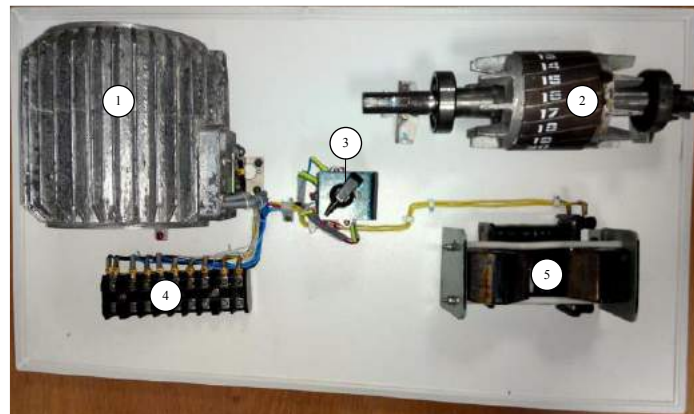


Рис. 1. Зовнішній вигляд стенду для визначення пошкоджень обмоток статора та короткозамкненого ротора асинхронного двигуна

На рисунку: 1 – статор; 2 – короткозамкнений ротор; 3 – пакетний перемикач; 4 – клемна колодка; 5 – електромагніт.

Дефектацію електричних машин проводять для визначення характеру і об'єму ремонтних робіт. Прийняту в ремонт машину ретельно оглядають і ставлять на ній ремонтний номер за яким вона проходить увесь цикл ремонту. Потім проводять випробування, які дозволяють визначити ступінь розборки машини для уточнення об'єму ремонтних робіт. Всі несправності механічних частин і обмоток записують в спеціальну відомість, яка використовується для видачі нарядів на виконання ремонтних робіт [1]. В даному стенді імітовано різні типи пошкоджень обмоток статора, а саме:

обрив обмотки, міжвиткове замикання між двома обмотками та замикання обмотки на корпус. В залежності від положення пакетного перемикача студенту представляється можливість визначити який саме тип пошкодження в обмотках статора. Цілісність обмотки короткозамкненого ротора визначається за допомогою електромагніта за методикою, яка представлена в роботі [1]. Також вимірюють величину повітряного зазору між статором і ротором [2].

### **Висновки**

За допомогою розробленого стенда та дослідів, які пропонуються в лабораторній роботі, студенти можуть підтвердити свої теоретичні знання та закріпити отримані професійні навички. Це може значно допомогти в подальшій роботі на підприємстві та науковій діяльності. В подальшому існує перспектива використання цього методу в дослідженні асинхронного двигуна з фазним ротором.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Головин В.П. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Рабочая профессия» / Головин В.П. – В. ВГПУ, 1995 г. – 44с.
2. Казак М.О. Методичні вказівки, частина 2 / Казак М.О. – В. ВНТУ – 2015 р. – 50 с.

**Владислав Володимирович Гадомський** – студент групи 2ЕМ-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний університет, Вінниця.

Наукові керівники: **Микола Омелянович Казак** – інженер кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості та на транспорті; **Вадим Сергійович Бомбик** – асистент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості та на транспорті, аспірант.

**Vladislav Gadomsky** - student group 2EM-13b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsa.

Supervisor: **Nikolai Kazak** - engineer of department of electromechanical systems of automation in industry and transport; **Vadym Bombyk** – assistant of department of electromechanical systems of automation in industry and transport, a PhD student.

## ВЕБ ТЕХОЛОГІЇ В РОБОТОТЕХНІЦІ

Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Створення рухомого робота на гусеничному шасі з радіокеруванням, обладнаного набором датчиків та відеокамерою та реалізація на ньому автономної системи збору, аналізу та обробки, збереження даних. Створення передумов для збору та аналізу відео потоку з бортової веб-камери камери.

**Ключові слова:** веб-сервер, інформаційна система, збір даних, аналіз даних, аналіз відеопотоку.

### Abstract

The rolling robot on crawler with radio creating, equipped with a set of sensors and web-camera and implementing an autonomous system for collecting, analyzing and processing, storage data. The preconditions for collecting and analyzing of video stream from a onboard webcam camera creating.

**Keywords:** web-server, information system, data collection, data analysis, video stream analysis.

### Вступ

Останні десятиліття показують сильний прорив в галузі роботобудування. За основу роботизованих платформ беруть мікропроцесорні бази різного типу складності і, відповідно, з різного рівня потенціалом, від восьмирозрядних мікроконтролерів [1], тринадцятирозрядних контролерів [2,3] до систем із повноцінними обчислювальними системами на борту [4,5].

Метою роботи є створення самохідної роботизованої платформи загального призначення, який би володів потенціалом комунікації всіма наявними типами інтерфейсів, аналізу та збереження даних в реляційній базі даних, можливістю віддаленого керування та роботи з відеопотоком.

### Результати роботи

Структурна схема платформи показана на рисунку 1. На схемі: LT та RT – відповідно лівий та правий траки, LSS та RSS – сенсори швидкості лівого та правого траків, Controller – система керування в основі, якої лежить Raspberry Pi одноплатний комп'ютер, EW – Ethernet WiFi модуль, WC – веб-камера, MD – драйвер для керування двигунами, M1 та M2 – двигуни для лівого та правого траків, R1 та R2 – редуктори для лівого та правого траків.

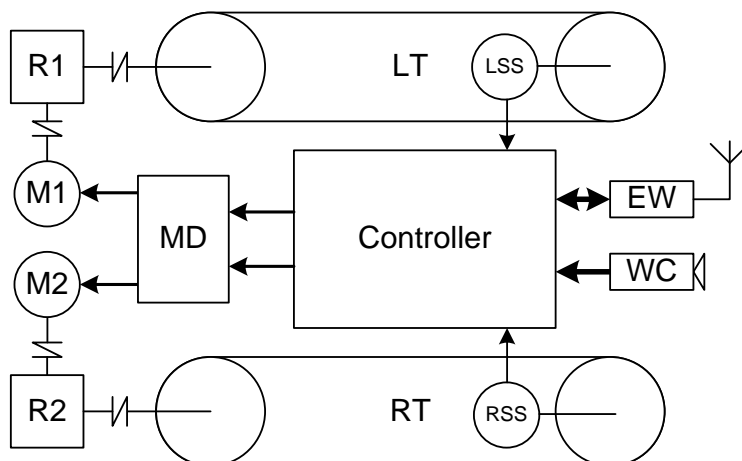


Рисунок 1. Структурна схема самохідної роботизованої платформи

Згідно концепції виконання автономного робота з віддаленим керуванням, було прийняте рішення реалізації веб-сервера, на якому виконуються всі необхідні алгоритми для керування системами робота, збору, аналізу та збереження інформації.

Для віддаленого керування роботом було розроблено два типи клієнтських додатків для керування роботом із браузера персонального комп'ютера та мобільного пристрою типу смартфон або планшет.

Для реалізації алгоритмів керування роботом було використане наступне програмне забезпечення:

- Apache – веб-сервер для доступу до сайту.
- Motion – сервіс для обробки зображення з камери.
- WebIOPi – бібліотека допоміжного функціоналу по роботі з pin'нами Raspberry Pi B+.

та мови програмування:

- Python3 – для прикладних програм.
- Javascript – скрипти веб-сервісу.
- HTML (HyperText Markup Language) та CSS (каскадні таблиці стилів) – Зовнішній вигляд сайту.

Перевагою отриманої платформи є потенціал реалізації керування різними процесами залежно від інформації отриманої з відеопотоку. Для аналізу відеопотоку в бортову операційну систему встановлено програмне забезпечення Motion. Motion – це вільне програмне забезпечення з відкритим кодом, що використовується для відео спостереження, розроблене для операційних систем Linux. Воно може контролювати відеосигнал від однієї або декількох камер і здатне виявляти рухомі об'єкти і, після допрацювання, – розпізнавати форми, кольори та відстані до них.

## Висновки

Основним завданням на даному етапі було забезпечення злагодженої роботи всіх блоків та систем згідно авторських алгоритмів, що було досягнуто.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Complete microcontroller portfolio to meet your every design need. [Електронний ресурс] / Atmel. – Режим доступу: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/default.aspx?src=parent>
2. Multiple Platform Support [Електронний ресурс] / Microsoft. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/net/multiple-platform-support>
3. Шевчук Ю. В. Дослідження продуктивності роботи stm32f407vgt6 із .net mf [Текст] / Ю. В. Шевчук // Вісник Вінницького національного технічного університету. – 2014. – № 1. – С. 99-104.
4. WebIOPi - The Raspberry Pi Internet of Things Framework [Електронний ресурс] / WebIOPi. – Режим доступу: <http://webiopi.trough.com/>
5. Welcome to the home of Motion, a software motion detector. [Електронний ресурс] / Motion. – Режим доступу: <http://www.lavrsen.dk/foswiki/bin/view/Motion/WebHome>

**Владислав Вікторович Ішук** — учасник гуртка «Електроніка та робототехніка» кафедри ЕМСАІТ факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, учень 23 школи м. Вінниця, e-mail: [yuriy.shevchuck@gmail.com](mailto:yuriy.shevchuck@gmail.com);

**Андрій Гнатюк** — студент гр. ЕМмс-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [yuriy.shevchuck@gmail.com](mailto:yuriy.shevchuck@gmail.com);

**Юрій Володимирович Шевчук** — доцент кафедри ЕМСАІТ, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [yuriy.shevchuck@gmail.com](mailto:yuriy.shevchuck@gmail.com);

**Vladislav V. Ishchuk** — participant of «Electronic and robototectic» facultativ of EMSAIT Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Andriy K. Gnatiuk** — student of EMms-15b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Yuriy V Shevchuk** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of EMSAIT, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕНТИЛЬНИХ ДВИГУНІВ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Виконано аналіз існуючих методів моделювання вентильних двигунів і дано рекомендації до використання різних моделей двигуна. Для навчального процесу запропоновано використовувати модель вентильного двигуна, яка побудована за аналогією з моделлю двигуна постійного струму.

**Ключові слова:** математична модель, структурна схема, вентильний двигун.

### Abstract

The analysis of existing methods of modeling valve engines and the recommendations for use of them in engine models. For the educational process proposed to use the model of valve engine, which is built on a model similar to the DC motor.

**Keywords:** Mathematical model, block diagram, engine valve.

### Вступ

Останнім часом, вентильний двигун (ВД) швидко набуває популярності, проникаючи в багато галузей промисловості. Знаходить застосування в різних сферах використання: від побутових приладів до рейкового транспорту. ВД з електронними системами керування часто об'єднують в собі кращі якості безконтактних двигунів і двигунів постійного струму.

Метою роботи є аналіз існуючих методів моделювання ВД і вибір моделі, яка буде найзручніша для використання в навчальному процесі вищого навчального закладу.

### Результати дослідження

Вентильний електродвигун – тип синхронної машини, реалізований в замкнутій системі з використанням датчика положення ротора, системи керування (перетворювача координат) і силового напівпровідникового перетворювача. Часто їх також називають безконтактними (безколекторними) двигунами постійного струму або оберненою машиною постійного струму [1].

Цей тип двигуна створений з метою поліпшення властивостей двигунів постійного струму [1].

Принцип роботи ВД, ґрунтується на використанні датчика положення ротора, перетворювача координат і силового напівпровідникового перетворювача. Вони спільно формують на обмотках статора машини фазні напруги таким чином щоб результуючий вектор напруги завжди був зсунутий на кут  $90^\circ$  і нерухомий щодо осі магнітного поля ротора [1].

Існує багато підходів до побудови моделі ВД. Розглянемо деякі з них.

1. У роботі [2] розглядається модель ВД, яка схожа до моделі двигуна постійного струму (ДПС) незалежного збудження за виключенням відсутнього зворотного зв'язку по електрорушійній силі двигуна. При цьому, параметри моделі враховують також активний опір та індуктивність узгоджувального трансформатора і дроселя. Структурна схема моделі представлена на рис. 1.

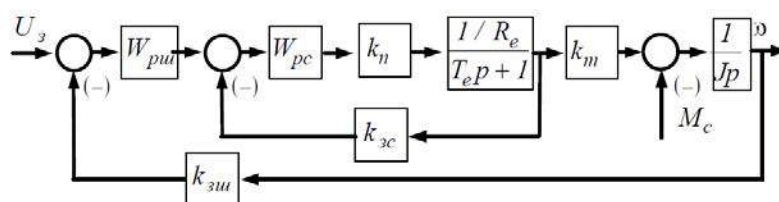


Рис. 1. Структурна схема ВД за аналогією з ДПС

Такий метод моделювання має право на існування, оскільки синхронна машина з сенсорами положення ротора працює за таким самим принципом, як і ДПС, за виключенням того, що у якості якоря ДПС використовується статор ВД, а функцію обмотки збудження виконують постійні магніти ротора (індуктора). Слід зауважити, що функцію колектора ДПС виконує вентильний вузол ВД, який складається з сенсора положення ротора та вентилів. Колектор при цьому виконує роль інвертора напруги.

Таким чином, вентильний двигун за своїми властивостями може бути описаний математичною моделлю ДПС.

2. В роботі [3] ВД розглядається як асинхронний (АД), у якого відсутнє ковзання. Для його моделювання використовується модель АД у фазних координатах, в якій швидкість обертання магнітного поля статора визначається залежно від кута повороту ротора. Дана модель може використовуватися у системах, де ВД працює без регулятора швидкості, оскільки розрахунок регулятора та його реалізація буде занадто складною. Проте, дана модель описує фазні струми і дає повне уявлення про перебіг електромагнітних перехідних процесів у двигуні.

3. В роботі [4] ВД описується як асинхронний з приведенням в ортогональну систему координат  $d-q-0$ . Дана система координат використовується для опису синхронних машин, оскільки вона за означенням обертається відносно трифазної нерухомої зі швидкістю поля статора. При такому підході отримуються простіші математичні залежності, але результат потрібно переводити у трифазну систему. Модель ВД в такому разі буде схожою до ДПС незалежного збудження з врахуванням деяких коректив у параметрах і тієї особливості, що на вхід моделі подається тривалість імпульсів напруги живлення.

## Висновки

Оскільки в навчальному процесі для вивчення електроприводів та систем керування ними часто необхідно розраховувати параметри контурів зворотного зв'язку, то використання другого підходу до побудови моделі ВД буде суттєво ускладнювати розрахунок системи. Тому рекомендуємо для розрахунків замкнених систем використовувати першу модель ВД, а для оцінки перебігу електромагнітних процесів самого двигуна – другу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентильный двигатель. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C).

2. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й.Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.

3. Ефромеев А. Г. Методика выбора вентильного двигателя для построения физической модели привода / А. Г. Ефромеев // Известия ТулГУ. - Технические науки. - 2011. - С. 352 -359.

4. Динамические модели вентильного двигателя при различных сочетаниях параметров/ С. Г. Воронин, Д. В. Коробатов, Р. Т. Киякпаев, А. С. Кульмухаметова. //Известия Академии электротехнических наук РФ. Издание Академии электротехнических наук РФ. – М.: "Янус-К" – №12, 2011. – С. 47-52.

**Руденко Олег Віталійович** – студент групи ІЕМ-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleshka.rudenko.95@gmail.com;

**Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

**Rudenko Oleg V.** - student of IEM-12b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleshka.rudenko.95@gmail.com;

**Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department of electromechanical systems auto-tion in industry and transport, Vinnytsia National Technical University

Supervisor: **Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electromechanical, they automation in industry and transport, m. Vinnytsya.

## МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ AUTOCAD ELECTRICAL ДЛЯ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

У роботі дано коротку характеристику середовища автоматизованого проектування AutoCad Electrical, вказано на його переваги, порівняно зі звичайною програмою Autocad та сформувано рекомендації для використання названих графічних середовищ в навчальному процесі вищого навчального закладу.

**Ключові слова:** AutoCad Electrical, проектування, САПР, електрична схема.

### *Abstract*

The work was given a brief description aided design environment AutoCad Electrical, stated on its advantages compared with conventional software Autocad and formed recommendations for use-Than these desktop environments in the educational process of higher education.

**Keywords:** AutoCad Electrical, design, CAD, electrical circuit.

### Вступ

В умовах переходу України до європейських стандартів та впровадження в багатьох сферах людської діяльності нових інформаційних технологій особливо актуальним стає питання підготовки сучасних фахівців [1]. Кожен фахівець у технічній сфері повинен вміти розробляти документацію на предмет своєї галузі. Часто трапляється так, що кожна галузь знань використовує для побудови документації своє специфічне програмне середовище. Так, наприклад, для формування текстової використовують текстовий редактор MS Word, Open Office, а для графічної інформації – програмні продукти КОМПАС, AutoCad, MS Visio тощо [1]. Кожна з названих програм та інші мають свої особливості, переваги та недоліки. Але коли говорять про уніфікацію форматів, єдині вимоги до конструкторської документації, стандартизацію у побудові проектів, то виникають певні правила, які можна назвати правилами гарного тону, модою чи професійністю. Наприклад, якщо говорять про формування текстової наукової інформації, то її, зазвичай, виконують у текстовому редакторі MS Word з розширенням файлу .doc та використанням редактора формул MS Equation 3.0. Якщо мова йде про побудову принципів схем, то вдаються до використання AutoCad чи MS Visio. А якщо ці схеми електричні, то використовують AutoCad Electrical.

### Результати дослідження

Програмне середовище AutoCAD Electrical побудоване на базі графічного редактора AutoCAD і тому володіє всіма його перевагами.

В області двовимірного проектування AutoCAD як і раніше дозволяє використовувати елементарні графічні примітиви для отримання складніших об'єктів [2]. Крім того, програма надає величезні обсяги можливостей роботи з шарами і анотативними об'єктами (розмірами, текстом, позначеннями) [2]. Використання механізму зовнішніх посилань (XRef) дозволяє розбивати креслення на складові файли, за які відповідальні різні розробники, а динамічні блоки розширюють можливості автоматизації 2D-проектуювання звичайним користувачем без використання програмування [2]. Починаючи з версії 2010 в AutoCAD реалізована підтримка двовимірного параметричного креслення [2].

Сучасна версія програми включає в себе повний набір інструментів для комплексного тривимірного моделювання (підтримується твердотільне, поверхневе і полігональне моделювання)

[2]. AutoCAD дозволяє отримати високоякісну візуалізацію моделей з допомогою рендеринга mental ray. Також в програмі реалізовано управління тривимірним друком (результат моделювання можна відправити на 3D-принтер) і підтримка хмар точок (дозволяє працювати з результатами 3D-сканування) [2]. Тим не менш, слід зазначити, що відсутність тривимірної параметризації не дозволяє AutoCAD безпосередньо конкурувати з машинобудівними САПР середнього класу, такими як Inventor, SolidWorks та іншими [2]. До складу AutoCAD, починаючи з 2012 версії, включена програма Inventor Fusion, яка реалізує технологію прямого моделювання [2].

Програма інженерного проектування AutoCAD Electrical містить всі функції AutoCAD, а також такі спеціальні функції для проектування електричних пристроїв, як бібліотеки графічних образів, створення звітів по специфікаціям і проектування пристроїв введення / виводу ПЛК, які роблять процес проектування керуючих систем швидким і ефективним [3].

Вкажемо на основні можливості AutoCAD Electrical. При цьому розділимо ці переваги на розділи: документація до електричних схем, компонування електричних панелей, схемотехнічне проектування та проектування електричних систем управління [3].

Документація до електричних схем [3]: використання вкладки «Розташування» дозволить автоматизовано сформулювати всю необхідну інформацію про пристрої, які використовуються в проекті; автоматичне формування звітів з гнучкими налаштуваннями; міграція проектів з AutoCAD в AutoCAD Electrical; можливість спільної роботи замовника з виконавцем (просте спільне використання креслень у форматі DWG™ з іншими зацікавленими особами); чітка та інтуїтивно зрозуміла організація файлів і проектів; гнучка організація файлів з можливістю перетягування в іншу папку; можливість публікації в PDF.

Компонування електричних панелей [3]: можливість створення креслень компоновок монтажних панелей; можливість проектування клемних з'єднань (редактор клемних колодок підвищує точність проектування); відстежувальні меню для швидкого редагування, що суттєво скорочуює час редагування; експорт файлів XML в Wago ProServe або Phoenix Contact; створення 3D-моделей з даними про клемних з'єднаннях. (Відео: 56 сек)

Схемотехнічне проектування [3]: покращені можливості роботи з проводами (сортування за властивостями); автоматична нумерація проводів і завдання позиційних позначень; можливість повторної побудови фрагментів схем з використанням конструктора кіл та автоматичною нумерацією елементів; широкі бібліотеки графічних образів для електричних схем; можливість перевірки креслення в режимі реального часу (виявлення проблем до початку етапу побудови); більш зручний інтерфейс.

Проектування електричних систем управління [3]: взаємодія з Autodesk Inventor (ручне рішення для проектування мехатронних систем з використанням Inventor); зв'язування катушки і її контактів в реальному часі (відстеження контактів батьківських і дочірніх компонентів); можливість креслення пристроїв введення / виводу ПЛК на основі табличних даних; наявність стандартизованих бібліотек; доступ до даних каталогу в браузері каталогів (попередній перегляд і вставка елементів в браузері каталогів); інтеграція деталей Inventor (інтеграція з 3D-деталлями електричних кіл в Inventor

### Висновки

Отже програма AutoCAD Electrical задовольняє всім вимогам до побудови принципів електричних схем при надзвичайно широких можливостях до редагування елементів та самих креслень, розширеної бібліотеки елементів, автоматичній нумерації та формування звітів. Використання її в навчальному процесі покращить шанси на працевлаштування майбутніх спеціалістів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухаренко В.Н. О некоторых аспектах развития информационно-образовательных технологий / В.Н. Кухаренко, Т.А. Олейник, Е.В. Рыбалко, А.А. Савченко // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Сборник трудов ХГПУ. – 1999. – Вып. 7. – С. 383-387.
2. ВІКІПЕДІЯ. AutoCAD. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>.
3. AUTODESK. Режим досупу: <http://www.autodesk.ru/products/autocad-electrical/features/all/gallery-view>.

**Паланюк Олександр В'ячеславович** – студент групи ІЕМ-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksanderp020895@gmail.com;

**Мошноріз Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Мошноріз Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

**Palanuk Oleksandr V.** - student of IEM-12b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksanderp020895@gmail.com;

**Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department of electromechanical systems auto-tion in industry and transport, Vinnytsia National Technical University

Supervisor: **Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electromechanical, they automation in industry and transport, m. Vinnytsya.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Здійснено модернізацію лабораторного стенду для дослідження двигуна постійного струму з використанням сучасної інформаційно вимірювальної системи. Розроблено віртуальний лабораторний стенд в програмному середовищі LabVIEW.

**Ключові слова:** лабораторний стенд, двигун постійного струму, експериментальні дослідження, віртуальний лабораторний стенд, LabVIEW.

### Abstract

Was done laboratory stand for the study of a DC motor with using modern information and measuring system. Developed a virtual laboratory stand in the software environment LabVIEW.

**Keywords:** laboratory stand, DC motor, experimental research, virtual reality laboratory stand-tion, LabVIEW.

### Вступ

Обладнання лабораторних установок з часом стає застарілим: крім зношення, що супроводжується зменшенням його надійності, не відповідає сучасним вимогам до експериментальних досліджень. Існуючий стенд для дослідження двигуна постійного струму змішаного збудження побудований на аналогових приладах, що мають низьку точність та невисоку надійність. Використання інформаційно вимірювальних систем нового зразка на базі мікроконтролерів та мікропроцесорів дають більш точні значення при дослідженні обладнання. Крім того паралельне використання з експериментальними дослідженнями віртуальних лабораторних комплексів (ВЛК), які є аналогами промислових об'єктів, вже стали незамінним інструментом для проведення досліджень в реальному масштабі часу, імітації досліджуваних модельованих об'єктів з високим ступенем реалізму, можливістю інтерактивної дії на досліджувані модельовані процеси. Приклади реалізації таких ВЛК можна переглянути в роботах [1-3].

Метою роботи є модернізація існуючого стенду для дослідження двигуна постійного струму шляхом заміни аналогових вимірювальних приладів вимірювальними системами на базі мікроконтролера та розробки ВЛК.

### Результати дослідження

На модернізованому лабораторному стенді з'явилась можливість проводити експериментальні дослідження двигунів постійного струму всіх типів збудження. Нова система ідентифікації дозволяє більш точно знімати експериментальні дані дослідних характеристик машини. Розширився діапазон досліджень роботи машини постійного струму в режимах двигуна, рекуперації та перекидання двигуна.

Інформаційна частина стенда виконана на базі мікроконтролера ATMEGA8, реалізованого за технологією CMOS (8-розрядний), заснованого на AVR-архітектурі RISC.

Розроблена система регулювання струму збудження машини постійного струму (рис. 1) та його ідентифікація на базі мікросхеми IR2110. Розроблена також система ідентифікації напруги машини.



Рис. 1. Блок для регулювання струму збудження

Здійснено моделювання роботи цифрового амперметра в середовищі Proteus (рис. 2).

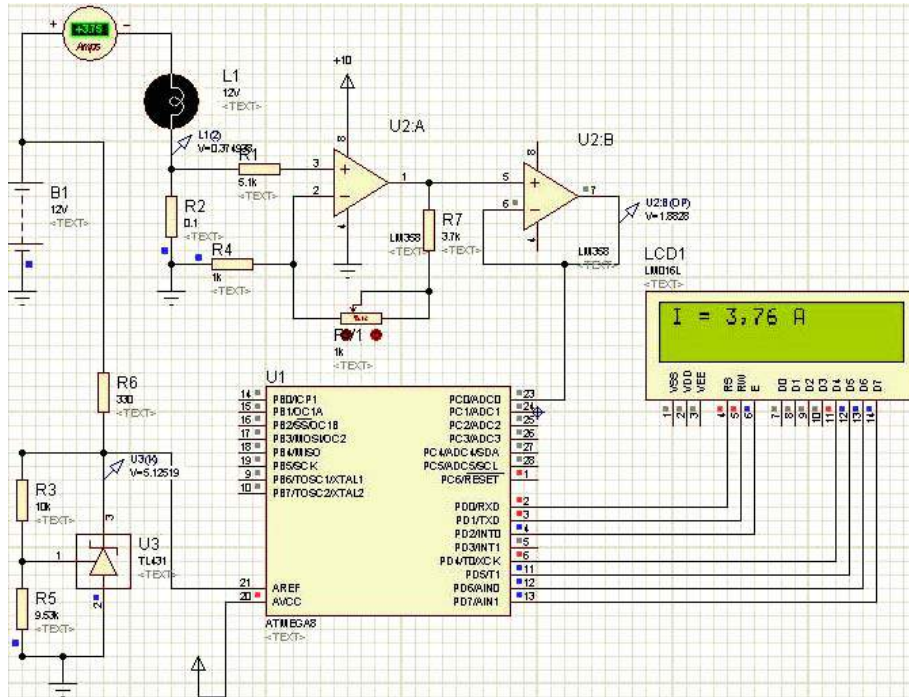


Рис. 2. Моделювання роботи цифрового амперметра

Розроблена методика проведення експериментальних досліджень.

Для розробки ВЛК використано програмний пакет LabVIEW, який має достатньо зручний для користувача інтерфейс і потужні засоби графічного програмування.

Зовнішній вигляд розробленого ВЛК роботи двигуна постійного струму, навантаженого генератором зображено на рис. 3, а його структура – на рис. 4.

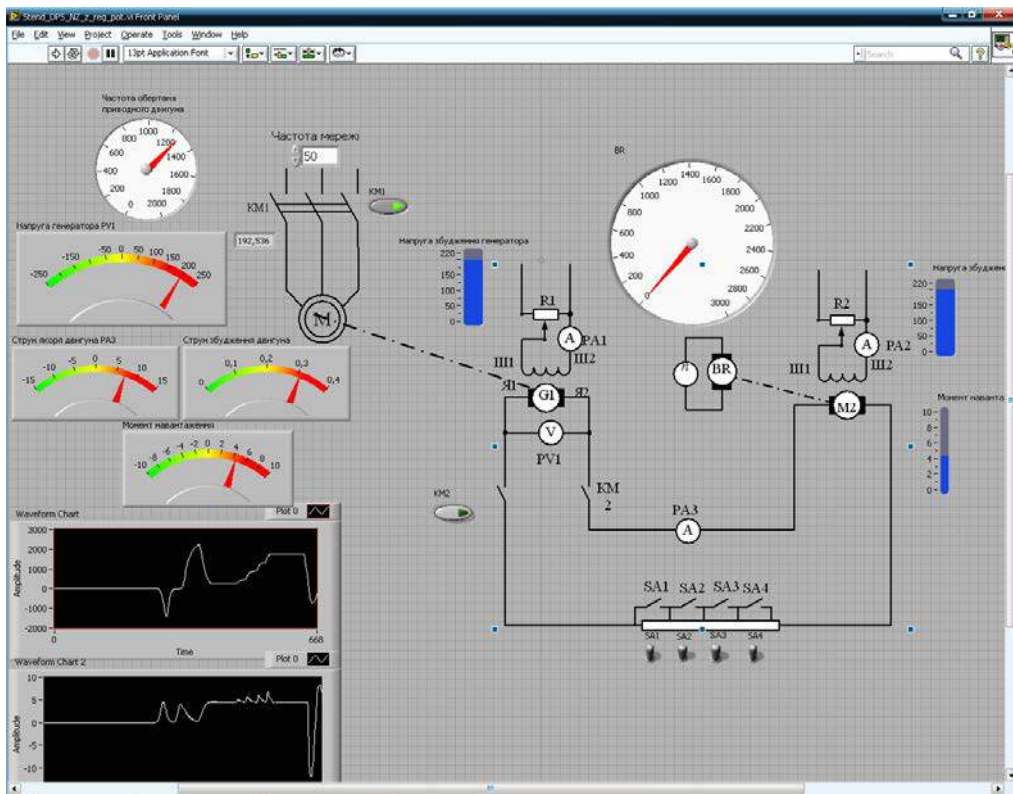


Рис. 3. Зовнішній вигляд ВЛК

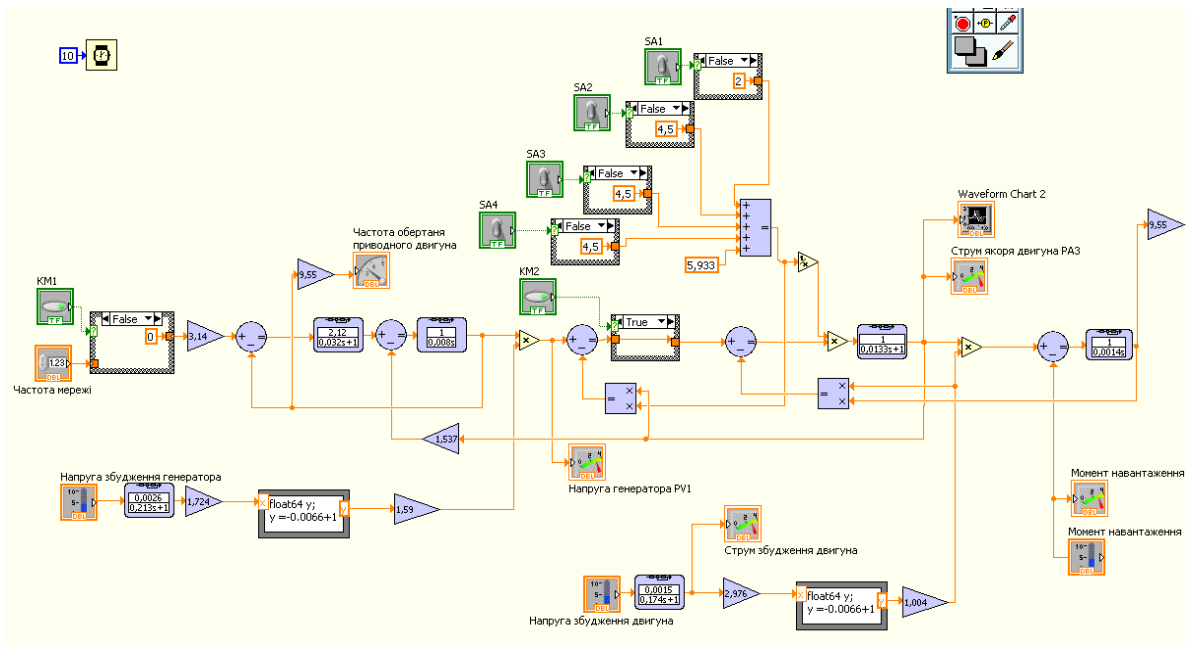


Рис. 4. Структурна схема ВЛК

### Висновки

Здійснено модернізацію стенда для дослідження двигуна постійного струму за рахунок чого підвищилась точність експериментальних досліджень та розширився діапазон їх проведення, а також підвищилась надійність установки.

Розроблений ВЛК в програмному середовищі LabVIEW, що дозволяє розширити горизонти енергоефективної експлуатації промислових електромеханічних систем, а також у структурі професійної освіти підготовки фахівців інженерних спеціальностей, виробничого персоналу при проведенні перепідготовки або підвищенні кваліфікації зі значним економічним ефектом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В. В. Віртуальний лабораторний комплекс для дослідження перетворювача частоти Altivar 71 по Ethernet [Текст] / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №1. – С.77-83.
2. Левицький С. М. Віртуальний лабораторний комплекс для дослідження людино-машинного інтерфейсу в середовищі Trace Mode 6. Обмін даними між операторськими станціями в реальному часі [Текст] / С. М. Левицький, М. П. Розводюк // Zbiór raportów naukowych. «Tendencje, zbiory danych, innowacje, praktyka w nauce» (29.04.2014 - 30.04.2014) - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2014. - 72 str. – S. 40-45. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej konferencji 29.04.2014 - 30.04.2014 roku. Lublin.
3. Левицький С. М. Віртуальний лабораторний комплекс для дослідження частотно-регульованого електроприводу в середовищі VISUAL STUDIO [Текст] / С. М. Левицький, М. П. Розводюк // Zbiór raportów naukowych. „KNOWLEDGE SOCIETY „(30.10.2014 -31.10.2014) – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2014. - 68 str. S.51–58. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej Konferencji 30.10.2014 - 31.10.2014 roku. Łódź. Część 7.

**Розводюк Михайло Петрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

**Беседін Руслан Олександрович** – студент групи ЕПА-15сп, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: besedin.ruslan@gmail.com

**Тимошенко Олег Леонідович** – студент групи ЕПА-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: timoha2010\_94@mail.ru



**Mykhailo P. Rozvodiuk** – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

**Ruslan O. Besedin** – student of the group ЕПА-15sp, Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: besedin.ruslan@gmail.com

**Oleh L. Tymoshenko** – student of the group ЕПА-15m, Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: timoha2010\_94@mail.ru

# СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНОЮ УСТАНОВКОЮ ІЗ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА ТИСКОМ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розроблено лабораторний стенд для дослідження компресорної установки, що дозволяє експериментально оцінити вплив налаштувань параметрів регулятора тиску системи автоматичного керування на якість регулювання.

**Ключові слова:** компресор, система керування, контролер.

## Abstract

The laboratory stand for the study of compressor installation is done. This allows you to experimentally assess the impact of configuration parameters pressure regulator automatic control system for quality control.

**Keywords:** compressor, control system, controller.

## Вступ

Стиснуте повітря широко використовується для забезпечення роботи пневмоінструменту, а також є одним із важливих технологічних показників сучасного виробництва. Машина, що призначені для отримання стиснутого повітря називаються компресорами. Найбільшого поширення набули компресори поршневого типу, оскільки легко забезпечують створення високого тиску [1].

Для забезпечення стабільної роботи пневмоінструменту, чи заданих параметрів технологічного процесу важливо підтримувати постійний тиск в нагнітаючому трубопроводі. Це досягається при використанні різноманітних систем автоматичного регулювання тиску.

Метою роботи є розроблення лабораторного стенду для дослідження роботи компресорної установки при різних параметрах налаштувань регулятора тиску системи автоматичного керування.

## Результати дослідження

Структурна схема системи автоматичного регулювання тиску зображена на рис. 1. Приводний двигун компресора живляться від мережі змінного струму промислової частоти через перетворювач частоти Altivar 28. Загальну логіку керування здійснює програмований логічний контролер (ПЛК) LOGO! 12/24RC залежно від сигналів від задавача інтенсивності та сенсора надлишкового тиску. Використання ПЛК обумовлено їх перевагами, які детально розглянуті в роботах [2, 3].

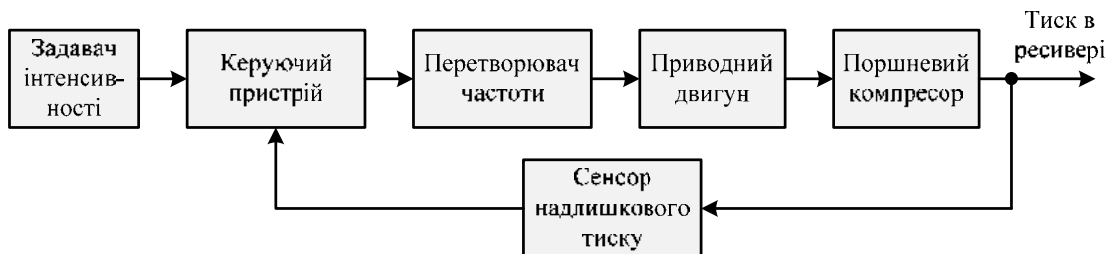


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного регулювання тиску

Відповідна принципова електрична схема компресорної установки зображена на рис. 2: QF1, QF2 – автоматичні вимикачі; SB1 – «Пуск»; SB2 – «Стоп»; SA1 – робота привода із фіксованою швидкістю (частотою  $f_{\phi}$ ); SA2 – режим роботи регулятора тиску (А – автоматичний «1», Н – ручний «0»); RP1 – задавач тиску; UZ1 – перетворювач частоти; M1 – приводний двигун; A1 – електроконтактний манометр; A2 – сенсор надлишкового тиску (технічні характеристики наведено в табл. 1).

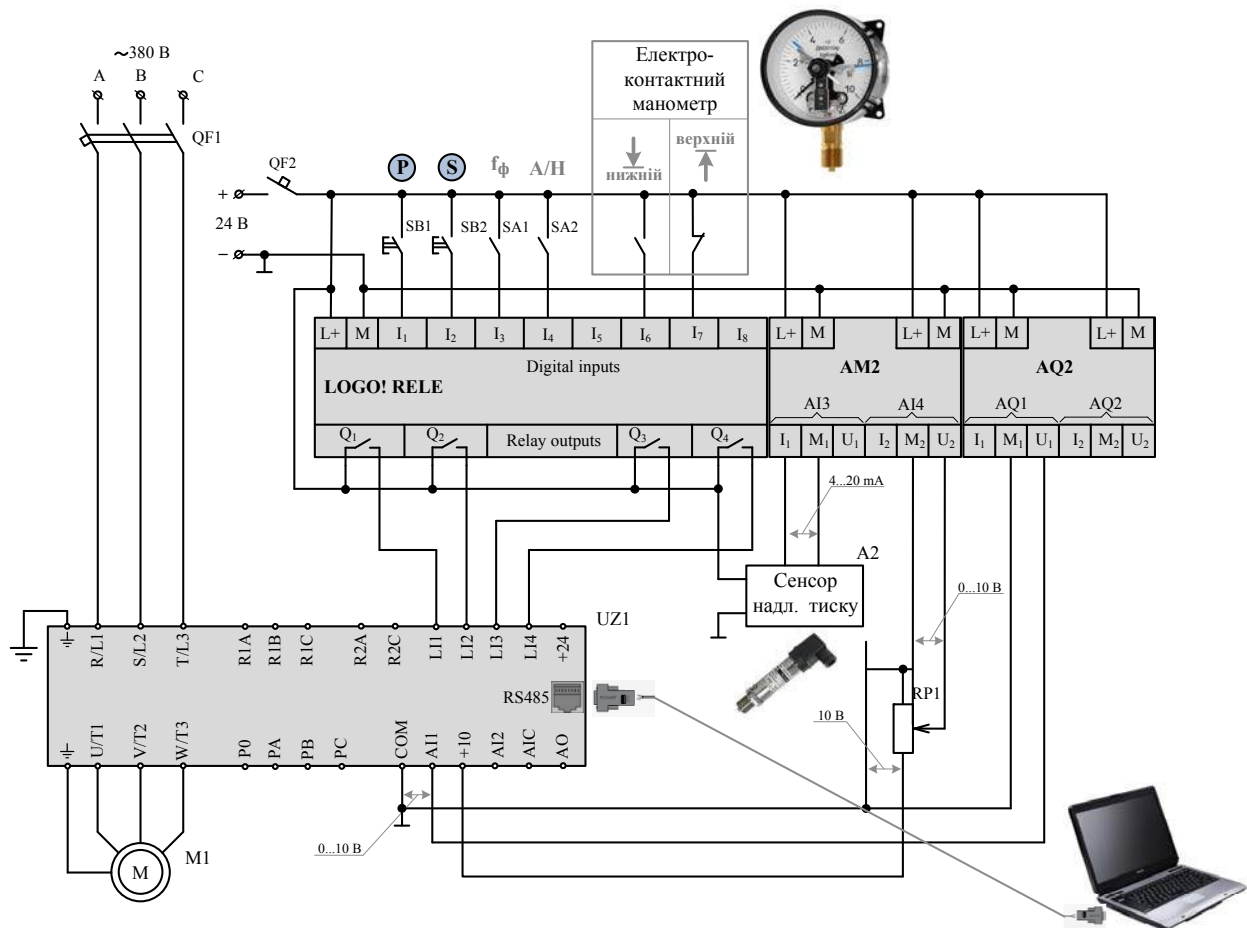


Рис. 2. Принципова електрична схема компресорної установки

Табл. 1. Технічні характеристики сенсора надлишкового тиску

Тип	ПД100-ДИ1,0М-1,0.И.11
Верхня межа вимірювання (ВМВ), МПа	1,0
Тип нормуючого перетворювача	Мікропроцесорний
Клас точності	1,0 ( $\pm 1,0\%$ від ВМВ)
Тип вихідного сигналу, мА	4...20

Функція ПІ-регулятора ПЛК LOGO! 12/24RC дозволяє реалізувати пропорційний та інтегральний регулятори, які можна використовувати окремо або їх комбінувати. Вікно налаштування параметрів (Par) функції ПІ-регулятора зображено на рис. 3.

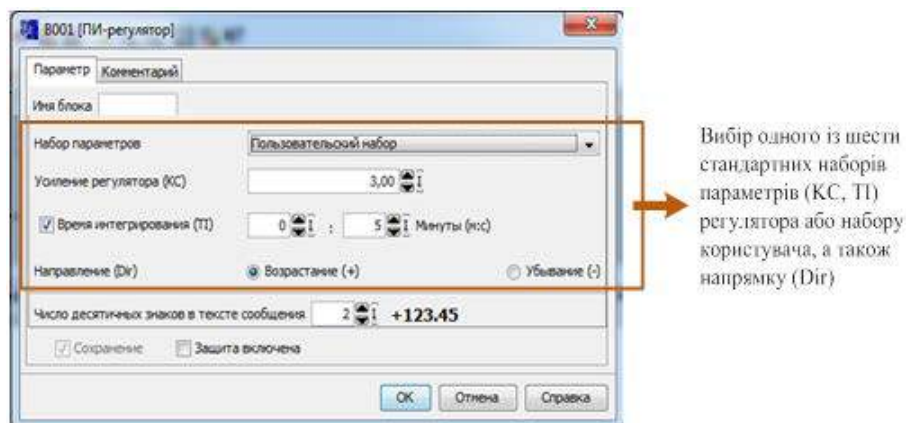


Рис. 3. Фрагмент вікна налаштування параметрів функції ПІ-регулятора в середовищі LOGO!Soft Comfort

При перегляді комутаційної програми в режимі online-тестування або симуляції, програма LOGO! Soft Comfort відображає тренд ПІ-регулятора, показуючи стан регульованої величини PV, виходу AQ і заданого значення SP. Тренд відображає зміни в AQ і PV з плином часу відносно SP. Інтервал вибірки часу можна конфігурувати, що дозволяє робити вибірки протягом необхідного інтервалу часу.

На рис. 4 наведено приклад тренду ПІ-регулятора в режимі online-тестування при пуску компресора, який забезпечує нагнітання тиску в ресивері до рівня 3,6 атмосфери. Параметри налаштування ПІ-регулятора тиску:  $K_C = 3$ ;  $T_I = 5$  с.

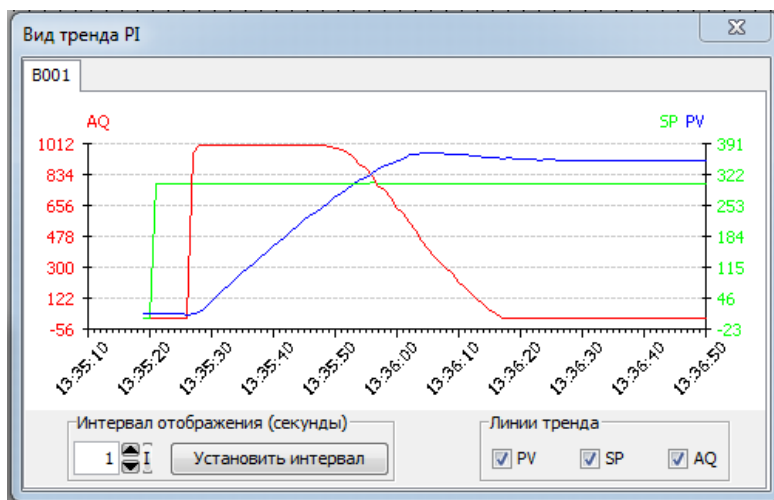


Рис. 4. Приклад тренду ПІ-регулятора в режимі online-тестування

Аналіз отриманого тренду параметрів дозволяє зробити висновок, що система автоматичного керування коректно відпрацьовує керуючий сигнал з перерегулюванням в межах 3 %, що свідчить про її якість.

## Висновки

Розроблено лабораторний стенд для дослідження роботи компресорної установки, що дозволяє експериментально оцінити вплив налаштувань параметрів регулятора тиску системи автоматичного керування на якість регулювання.

Встановлено, що при заданих параметрах налаштувань ПІ-регулятора тиску ( $K_C = 3$ ;  $T_I = 5$  с) система автоматичного керування коректно відпрацьовує керуючий сигнал з перерегулюванням в межах 3 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шерстюк А. Н. Насосы, вентиляторы и компрессоры / А. Н. Шерстюк. – М. : «Высшая школа», 1972. – 344 с.
2. Ремизевич Т. В. Современные программируемые логические контроллеры / Т. В. Ремизевич // Приводная техника. – 1999. – № 1-2. – С. 8–20.
3. Митин Г. П. Системы автоматизации с использованием программируемых логических контроллеров / Г. П. Митин, О. В. Хазанова. – М. : ИЦ МГТУ «Станкин», 2005. – 136 с.

**Роман Сергійович Білозор** — студент групи ЕМ<sub>мс</sub>-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: roman1595@ukr.net.

**Сергій Миколайович Бабій** — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Bilozor Roman S.** – Department of Electromechanical Systems Automation in in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : roman1595@ukr.net.

**Babiy Sergiy M.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electromechanical Systems Automation in in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ УНІВЕРСАЛЬНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розроблено універсальний блок живлення з використанням багатообмоткового трансформатора та тиристорного регулятора напруги, що дозволяє отримати різні значення вихідних напруг постійного струму, а також регульоване значення напруги змінного струму.

**Ключові слова:** універсальний блок живлення, тиристорний регулятор напруги, багатообмотковий трансформатор.

### Abstract

Was developed universal power supply unit with using many winding transformer and thyristor voltage regulator that provides a variety of output voltage DC and regulated voltage AC.

**Keywords:** universal power supply unit, thyristor voltage regulator, many winding transformer.

### Вступ

Широке застосування електронних пристроїв в усіх сферах діяльності людини визначає великий об'єм технічних, експлуатаційних і економічних вимог як до самих електронних пристроїв так і до їх основних складових вузлів та пристроїв. Одним з таких пристроїв є блок живлення. В наш час є різноманітна кількість джерел живлення з різними функціональними можливостями, які як правило виконані тільки на певне фіксоване значення напруги. Тому метою роботи є створення універсального блоку живлення, який дозволить отримати на виході різні значення напруг постійного струму, а також регульовану напругу змінного струму.

### Результати дослідження

Розроблено універсальний блок живлення для отримання значень вихідних напруг 6В, 12В, 18В, 27В, 33В постійного струму та напруги 36В змінного струму з використанням багатообмоткових трансформаторів [1] T1 та T2. Також в блоці живлення є можливість плавного регулювання вихідної напруги від 0В до 220В змінного струму з використанням тиристорного регулятора напруги [2]. Зовнішній вигляд універсального блоку живлення представлений на рисунку 1.

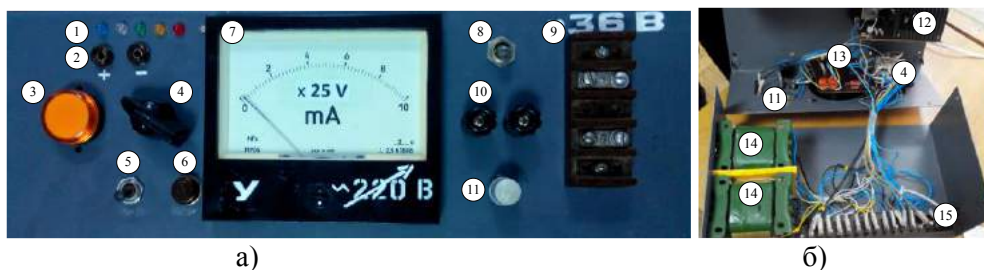


Рис. 1. Зовнішній вигляд універсального блоку живлення: а) передня панель; б) внутрішня будова

На рисунку: 1 – прилади світлової сигналізації (відповідно для рівнів напруг 6В, 12В, 18В, 27В та 33В постійного струму (зліва-направо)); 2 – з'єднувальні клеми вихідної напруги постійного струму; 3 – сигнальна лампа підключення блоку до мережі; 4 – пакетний перемикач; 5 – перемикач включення живлення трансформаторів T1 та T2; 6 - запобіжник плавкий; 7 – вольтметр для вимірювання змінної вихідної напруги; 8 – перемикач включення живлення тиристорного регулятора напруги; 9 – з'єднувальні клеми з гвинтовими затискачами вихідної напруги 36В змінного струму; 10 – з'єднувальні клеми регульованої вихідної напруги 0 В÷220 В змінного струму; 11 – регулятор вихідної напруги змінного струму; 12 – тиристорний регулятор напруги; 13 – мостова схема виправлення, додаткові опори для розширення діапазона вимірювального

прилада та однопівперіодний випрямляч для налагодження приладу магнітоелектричної системи по вимірюванню змінної напруги; 14 – трансформатори T1 та T2; 15 – з'єднувальні клеми.

Принципова схема універсального блока живлення показана на рисунку 2.

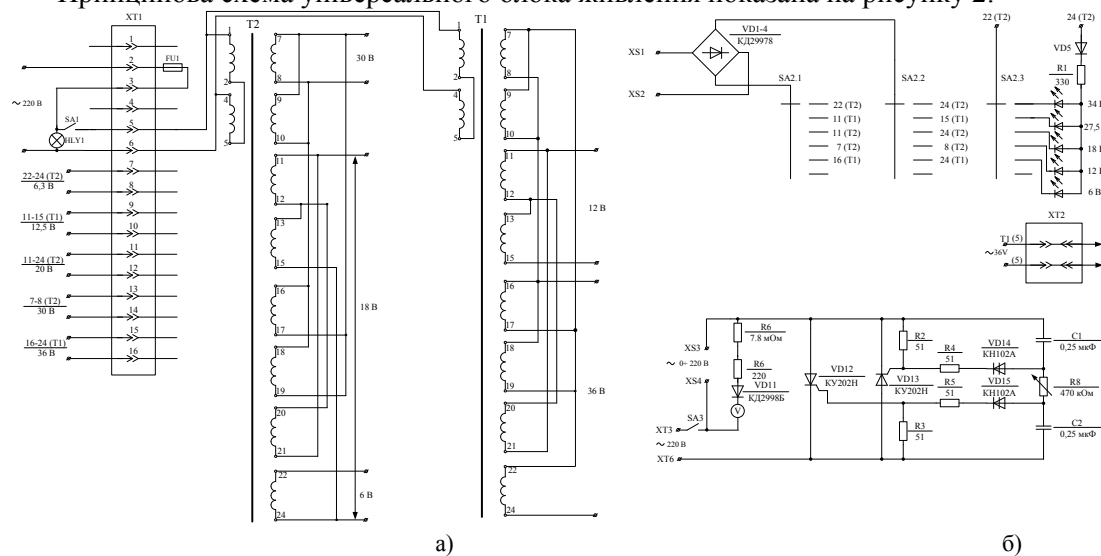


Рис.2 – Принципова схема універсального блока живлення показана

На рисунку 2: а) схема для отримання значень напруг 6В,12В,18В,27В,33В постійного струму та змінної напруги 36В з використанням трансформаторів T1 та T2; б) схема для плавного регулювання вихідної напруги від 0В до 220В змінного струму з використанням тиристорного регулятора напруги.

Багатообмоткові трансформатори на кожному із стрижнів мають не дві обмотки, а більшу їх кількість з різним числом витків. Таке виконання трансформатора дозволяє отримати декілька напруг, а як результат – зменшити кількість встановлених трансформаторів. Такі трансформатори невеликої потужності широко використовуються в радіотехніці і автоматиці (в більшості випадків вони однакові). Тиристорний регулятор напруги] призначений для плавного регулювання напруги при активному, активно-індуктивному навантаженні вручну в стандартній мережі 220В, 50Гц змінного струму. Регулювання вихідної напруги задається потенціометром, встановленим на панелі керування універсального блока живлення.

### Висновки

При розробці універсального блока живлення був використаний багатообмотковий трансформатор, що дозволяє отримати на виході різні напруги за рахунок різного включення його обмоток. Був розроблений тиристорний регулятор напруги. Перевірена його робота на різні типи навантаження (активне, активно-ідуктивне). В подальшому планується удосконалити схему тиристорного регулятора напруги.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький С.М. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 219 с.
2. Тиристорный регулятор напряжения Режим доступу: [http://istochnikpitania.ru/index.files/Nov\\_sxem.files/2\\_Nov\\_sxem.files/2\\_Nov\\_sxem60.htm](http://istochnikpitania.ru/index.files/Nov_sxem.files/2_Nov_sxem.files/2_Nov_sxem60.htm).

**Аліна Миколаївна Ратушна** – студентка групи 1ЕМ-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний університет, Вінниця.

Наукові керівники: **Микола Омелянович Казак** – інженер кафедри ЕМСАПТ; **Вадим Сергійович Бомбик** – асистент ЕМСАПТ, аспірант.

**Alina Ratushna** – student of group 1EM-13b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsa.

Supervisor: **Nikolai Kazak** - engineer of department EMSAPT; **Vadym Bombyk** – assistant of department of EMSAPT, a PhD student.

# ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ПАКЕТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧ- НИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет;

## *Анотація*

*Проаналізовано сучасні популярні програмні продукти для виконання математичних розрахунків, такі як Mathcad, Matlab, Maple, Scilab, Microsoft Mathematics. Вказано на переваги та недоліки кожного з них. Дано рекомендації для вибору програмного середовища для виконання розрахунків електромеханічних систем в навчальному процесі вищого навчального закладу.*

**Ключові слова:** Mathcad, Matlab, Maple, Scilab, Microsoft Mathematics.

## *Abstract*

*Analyzes contemporary popular software to perform mathematical calculations such as Mathcad, Matlab, Maple, Scilab, Microsoft Mathematics. Specified on the advantages and disadvantages of each. Recommendations for selecting software environment for calculation of electromechanical systems-on educational process of higher education.*

**Keywords:** Mathcad, Matlab, Maple, Scilab, Microsoft Mathematics.

## Вступ

Останнім часом перед студентами технічного вищого навчального закладу часто стоїть питання вибору програмного середовища для виконання розрахунків. Особливо актуально це питання стоїть для студентів напряму підготовки «Електромеханіка», оскільки для проектування систем автоматизації та електроприводів, необхідно вміти працювати з інтегралами, використовувати логічні оператори, нестандартні функції, такі як розкладення у ряд, виділення дійсної і уявної частини числа, знаходження частотних характеристик, перевірка умов, автоматизований вибір варіантів рішень тощо. Враховуючи сучасні тенденції розвитку інформаційної техніки та програмного забезпечення, названі операції можна виконати в різних програмах, причому, зазвичай, деякі з них зручніше виконати в одних математичних пакетах, а деякі – в інших. Питання вибору програмного середовища ускладнює і та обставина, що перед сучасним фахівцем, студентом, науковим співробітником, викладачем особливо гостро стоїть обмеження на використання ліцензійних або безкоштовних програм.

Метою роботи є аналіз існуючих математичних пакетів та надання рекомендацій на використання окремих програм в навчальному процесі за спеціалізацією «Електромеханічні системи та автоматизація».

## Результати дослідження

Для навчального процесу за напрямом підготовки «Електромеханіка» активно використовують такі програмні математичні продукти як Mathcad та Matlab. Проте, можливості, які вони надають, частково можуть виконати такі програми як Maple, Scilab, Mathematica, Microsoft Mathematics та інші. Ми пропонуємо розглянути деякі особливості названих програм з метою розширити кругозір в питанні вибору математичного пакету для виконання розрахунків.

Перелічимо деякі особливості пакету прикладних програм Matlab та Scilab [1, 2]:

- одним із головних елементів програмного середовища є командне вікно, в якому можна записувати змінні і робити з ними різні операції;
- всі команди які ми вводимо в командному вікні зберігаються в історії команд, звідки можна повторити попередню команду вибравши її, або перенести команду в командне вікно;
- вся інформація про змінні зберігається в комірці «Workspace», у якій також вказана додаткова

статистика. Також в комірці «Workspce» можна редагувати змінні;

- в середовищі можна також будувати трьохмірні графіки з допомогою функцій
- одним із плюсів є присвоєння змінних, попередньо задавши змінним якісь значення
- в програмах можна працювати з векторами та матрицями, з ними можна робити різні процеси, наприклад додавати, віднімати, множити

Перелічимо деякі особливості математичного пакету Mathcad Prime [3]:

- новий інтерфейс;
- групування по розділах і пунктах меню однотипних операторів;
- вкладка «Блок текст» за допомогою якої можна писати коментарі до рівнянь, графіків, змінних і т.д. Вкладка «Блок текст» виділена з боку вікна для швидкого пошуку;
- панель швидкого доступу, з допомогою якої можна добавляти елементи з панелі задач;
- розширені можливості форматування тексту. Інтерфейс роботи з програмою схожий до інтерфейсу MS Office 2007;
- нові можливості: колонтитули, нумерація сторінки тощо;
- можливість форматування тексту у вікні «Чорновик» та «Чистовик»;
- достатньо розширений та зручний Довідник ( допоможе освоїти дану програму в короткий термін);
- «Ввід/вивід» за допомогою якого можна конвертувати файл програми Mathcad в програму РТС Mathcad Prime 3.

Перелічимо деякі особливості математичного пакету Microsoft Mathematics:

- зручний, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- можливість ручного введення символів та операторів за допомогою мишки;
- зрозумілий інтерфейс для вводу змінних та побудови графіків;
- розширені інструменти побудови графіків. Можливість накладання графіків;
- зображення графіків в 3D, і можливість маніпулювати кутом перегляду зображення (об'ємний вид);
- вкладка «Trace», за допомогою якої можна переглянути покрокову побудову графіків;
- вкладка «Trangle Solver», за допомогою якої можна шукати сторони, кути фігур, за мінімальними заданими параметрами і вигляд формул за якими вони будувалися;
- блокнот з формулами (довідник) з таких предметів як: алгебра, геометрія, фізика, тригонометрія тощо.

Математичний пакет Maple має дуже схожі функціональні можливості до програми Mathcad, проте він дещо простіше виконує складні математичні функції, має менший розмір для встановлення та завантаження в оперативну пам'ять [4]. За цільовим призначенням дана програма розроблялася для виконання саме символічних обчислень, тому вона має розширений набір функцій для цього [4].

## Висновки

Отже, розглянуто основні особливості таких математичних програм як Matlab, Mathcad Prime, Maple, Scilab, Microsoft Mathematics, які можуть використовуватися для роботи у сфері електромеханічних систем автоматизації. Можна зробити такі висновки: найбільші можливості надає програмне середовище Matlab, проте використання його часто обмежене питаннями ліцензійних прав. Як альтернативу даному програмному середовищі ми рекомендуємо використовувати пакет Scilab, який має аналогічний функціональний апарат і має безкоштовну ліцензію на використання в навчальному процесі.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. И. Черных. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ИД Питер, 2007, 288 с. ISBN 978-5-388-00020-0
2. Алексеев Е. Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. А. Рудченко. — М. : ALT Linux ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 260 с. : ил. ; 8 с. цв. вклейки.— (Библиотека ALT Linux).
3. Кирьянов Д.В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с. — ISBN 978-5-9775-0746-2.
4. Говорухин В. Н., Цибулин В. Г. Введение в Maple. Математический пакет для всех. — М.: Мир, 1997. — С. 208. — ISBN 5-03-003255-X.

**Гавриляк Андрій Валерійович** – студент групи 1ЕМ-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andreigavrylyak2@gmail.com;

**Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

**Gavrylyak Andriy V.** - student of 1EM-12b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andreigavrylyak2@gmail.com;

**Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department of electromechanical systems auto-tion in industry and transport, Vinnytsia National Technical University

Supervisor: **Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electromechanical, they automation in industry and transport, m. Vinnytsya.

## ВІРТУАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розроблено віртуальний тренажерний комплекс для дослідження електропривода постійного струму типу ТП-Д на базі програмного середовища LabVIEW, а також необхідні інструкції для роботи з ним.*

**Ключові слова:** електропривод постійного струму, віртуальний тренажерний комплекс, LabVIEW.

### *Abstract*

*The virtual training complex for research of electric drive DC type TP-D software environment based on LabVIEW and the necessary instructions to work with him are developed.*

**Keywords:** electric drive DC, virtual training complex, LabVIEW.

### Вступ

З розвитком сучасного програмного забезпечення з'явилася можливість здійснювати експериментальні дослідження електромеханічних систем без їх фізичної наявності за рахунок створених віртуальних моделей, які певним чином поєднуються у віртуальних тренажерних комплексах (ВТК). Такий підхід дає можливість зменшити собівартість підготовки або перепідготовки інженерних кадрів, унеможливує виникнення аварійних ситуацій на працюючому обладнанні, реалізує мобільність установки. Тому створення таких ВТК є задачею актуальною.

Приклади реалізації ВТК можна переглянути в роботах [1-4].

В даній роботі розглядається електропривод постійного струму типу ТП-Д підпорядкованого керування, для якого потрібно розробити ВТК, аналог реальної системи електропривода, що і є метою роботи.

### Результати дослідження

Для побудови ВТК були розглянуті існуючі програмні засоби, що дозволяють реалізувати поставлену мету. Аналізу були піддані такі програмні продукти:

- ANSYS;
- ELCUT;
- PSpice;
- Electronics Workbench;
- Micro-Cap;
- MatLab;
- Mathcad;
- LabVIEW;
- ElectronicsWorkbench.

За результатами порівняльних характеристик для створення ВТК було обрано програмне середовище LabVIEW, що дозволяє побудувати зручну систему, яку можна досліджувати на комп'ютері у вигляді певного симулятора, а також за допомогою спеціальних модулів підключатися до реального об'єкта і безпосередньо керувати процесами, які виконує електропривод, що досліджується.

Розроблено інтерфейс ВТК для дослідження системи ТП-Д, який подано на рис. 1, а також схему моделювання (рис. 2).

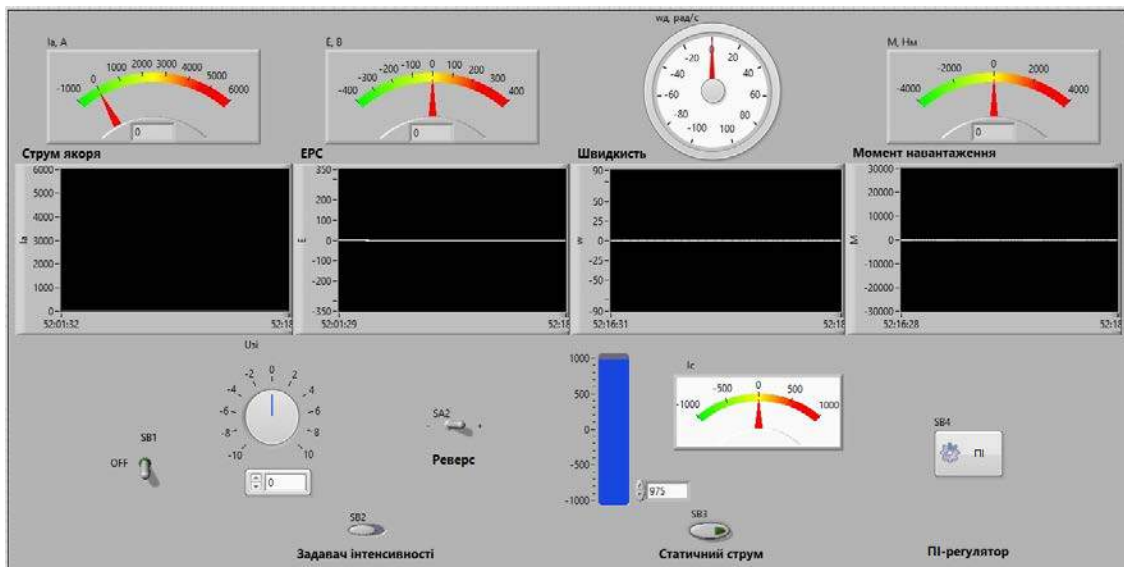


Рис. 1. Зовнішній вигляд інтерфейсу ВТК для дослідження системи ТП-Д

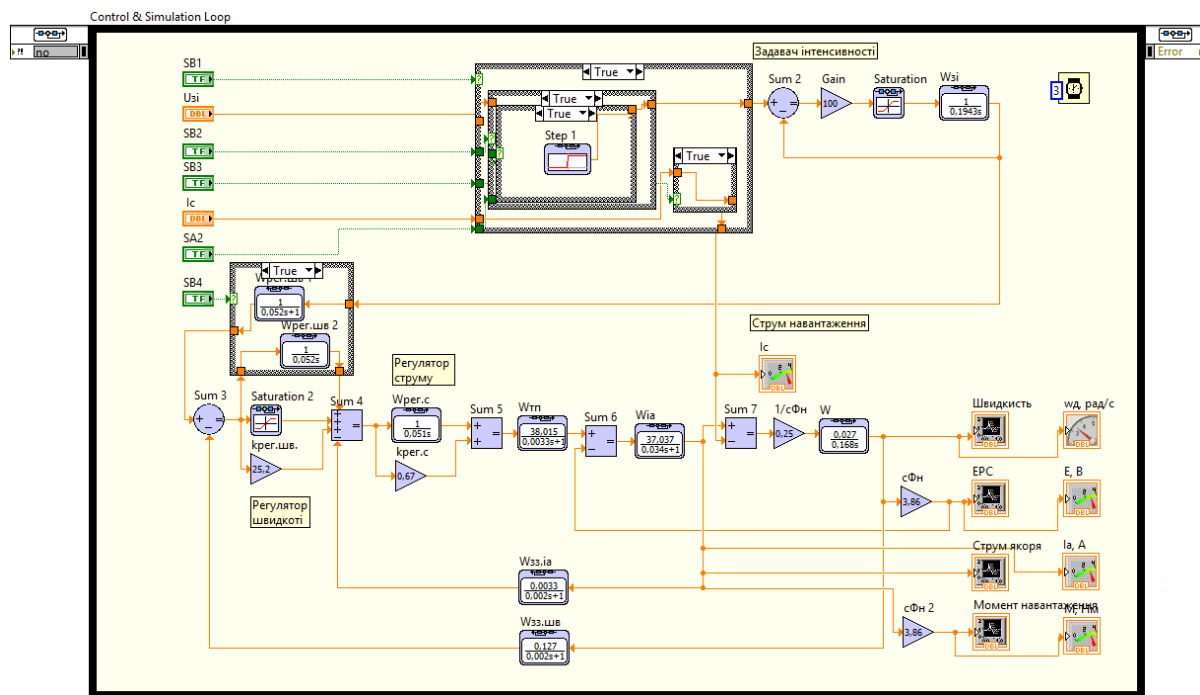


Рис. 2. Схема моделювання

Розроблено програму (рис. 3), яка дозволяє розраховувати параметри силового кола та кола керування системи електропривода.

Розроблений інтерфейс для введення початкових даних та виведення розрахункових значень, а також інструкції для робот из ВТК.

### Висновки

ВТК є альтернативою фізичним об'єктам, які мають ряд переваг, що зумовлюють їх широке використання.

В роботі розроблено ВТК для дослідження електропривода постійного струму типу ТП-Д. В якості програмного середовища використано LabVIEW. Розроблено також інтерфейс на основі математичних моделей, що дозволяє розраховувати всі необхідні дані для конкретного електропривода.

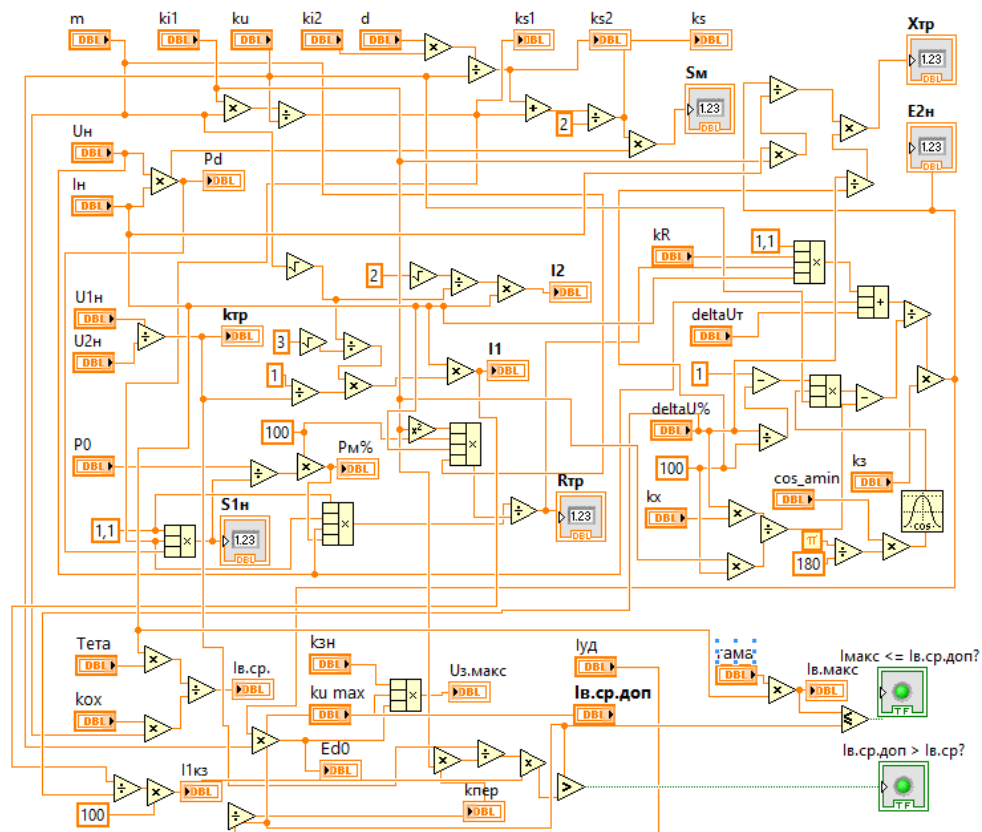


Рис. 3. Структурна сехма програми

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В. В. Віртуальний лабораторний комплекс для дослідження перетворювача частоти Altivar 71 по Ethernet [Текст] / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №1. – С.77-83.
2. Левицький С. М. Віртуальний лабораторний комплекс для дослідження людино-машинного інтерфейсу в середовищі Trace Mode 6. Обмін даними між операторськими станціями в реальному часі [Текст] / С. М. Левицький, М. П. Розводюк // Zbiór raportów naukowych. «Tendencje, zbiory danych, innowacje, praktyka w nauce» (29.04.2014 - 30.04.2014) - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2014. - 72 str. – S. 40-45. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej konferencji 29.04.2014 - 30.04.2014 roku. Lublin.
3. Левицький С. М. Віртуальний лабораторний комплекс для дослідження частотно-регульованого електроприводу в середовищі VISUAL STUDIO [Текст] / С. М. Левицький, М. П. Розводюк // Zbiór raportów naukowych. „KNOWLEDGE SOCIETY „(30.10.2014 -31.10.2014) – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2014. - 68 str. S.51–58. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej Konferencji 30.10.2014 - 31.10.2014 roku. Łódź. Część 7.

**Розводюк Михайло Петрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

**Янчук Олександр Миколайович** – студент групи ЕПА-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alexyanchuk71@gmail.com

**Mykhailo P. Rozvodiuk** – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

**Oleksandr M. Yanchuk** – student of the group ЕПА-15m, Department of Electric Energy and Power Mechanic, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alexyanchuk71@gmail.com

# КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ВРІВНОВАЖЕНОГО ЛІФТА В MATLAB

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розроблено комп'ютерну модель врівноваженого ліфта в Matlab. Запропонована модель дозволяє отримати інформацію про статичні навантаження на електропривод підйомної лебідки в заданих режимах роботи, що є особливо важливим на етапі проектування ліфтів.

**Ключові слова:** ліфт, система керування, моделювання.

## Abstract

Developed a computer model of balanced elevator in Matlab. The proposed model allows to obtain information about the static load on the electric drive of the lifting winch in predetermined modes of operation. This is especially important at the stage of designing elevators.

**Keywords:** elevator, control system, simulation.

## Вступ

Сучасний стан цивільного і промислового будівництва був би неможливий без технічно досконалих підйомно-транспортних машин, наприклад, таких як ліфти, які забезпечують швидке та комфортне транспортування людей і/або вантажів з одного рівня на інший [1, 2].

Забезпечення оптимального режиму роботи будь-якого обладнання можливе лише після його ґрунтовного дослідження. Враховуючи сучасні підходи до проектування, зокрема використання комп'ютерної техніки, важливо мати комп'ютерну модель ліфта, яка суттєво спростить процес проектування та дозволить проводити дослідження роботи ліфта як в нормальних, так і аварійних режимах роботи без шкоди та зношення реального обладнання.

Метою роботи є розроблення комп'ютерної моделі врівноваженого ліфта в Matlab.

## Результати дослідження

Кінематична схема врівноваженого ліфта зображена на рис. 1: 1 – гальмівний шків; 2 – приводний двигун; 3 – механічна передача; 4 – канатоведучий шків (КВШ); 5 – відвідний блок; 6 – протизага; 7 – кабіна.

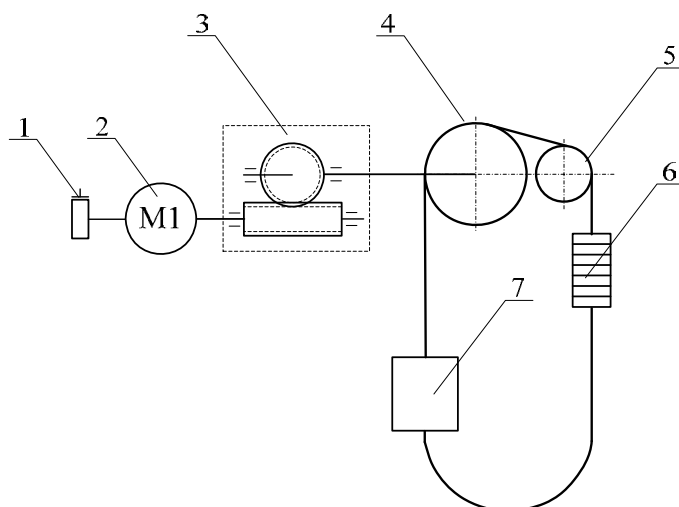


Рис. 1. Кінематична схема врівноваженого ліфта

Механічна частина врівноваженого ліфта описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} G_v = m_v \cdot g, \\ G_0 = m_0 \cdot g, \\ m_{pr} = m_0 + \alpha \cdot m_{v\,nom}, \\ G_{pr} = m_{pr} \cdot g, \\ F_{sh} = G_0 + G_v - G_{pr}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $m_v$  – маса вантажу;  $m_{v\,nom}$  – номінальна вантажопідйомність;  $m_0$  – маса кабіни;  $m_{pr}$  – маса противаги;  $G_v$  – вага вантажу;  $G_0$  – вага кабіни;  $G_{pr}$  – вага противаги;  $\alpha$  – коефіцієнт врівноваження;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $F_{sh}$  – результуюче зусилля на КВШ;  $M_{op}$  – момент опору без врахування втрат в механічній передачі.

Моменти статичного опору врівноваженого ліфта:

– при підйомі кабіни з номінальним вантажем (при спуску порожньої кабіни):

$$M_c = \frac{F_{sh} \cdot D_{sh}}{2 \cdot i_{mp} \cdot \eta_{mp}}; \quad (2)$$

– при спуску кабіни з номінальним вантажем (при підйомі порожньої кабіни):

$$M_c = \frac{F_{sh} \cdot D_{sh}}{2 \cdot i_{mp}} \cdot \eta_{mp}; \quad (3)$$

де  $D_{sh}$  – діаметр КВШ;  $i_{mp}$  – передавальне число механічної передачі;  $\eta_{mp}$  – ККД механічної передачі.

Відповідно до рівнянь (1) – (3) структурні схеми механічної частини врівноваженого ліфта при підйомі кабіни з номінальним вантажем (спуску порожньої кабіни), а також при спуску кабіни з номінальним вантажем (підйомі порожньої кабіни) зображені на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

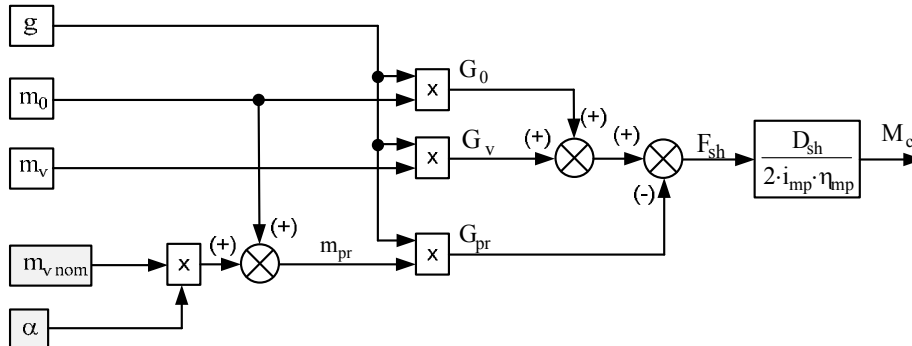


Рис. 1. Структурна схема механічної частини врівноваженого ліфта при підйомі кабіни з номінальним вантажем (спуску порожньої кабіни)

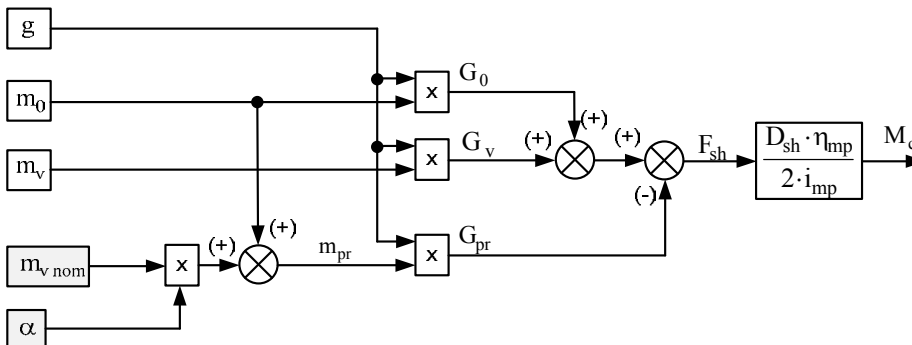


Рис. 2. Структурна схема механічної частини врівноваженого ліфта при спуску кабіни з номінальним вантажем (підйомі порожньої кабіни)

Вибір тієї чи іншої структурної схеми повинен відбуватись залежно від співвідношень мас кабіни  $m_0$ , вантажу  $m_v$  та противаги  $m_{pr}$ , а також – залежно від напрямку руху привода (підйом, спуск).

Представимо відповідні умови у вигляді математичної моделі:

$$\begin{cases}
 \text{If } \begin{cases} m_0 + \alpha \cdot m_{v \text{ nom}} \geq m_{pr}, \\ \omega > 0, \end{cases} & \text{then } M_c = \frac{M_{op}}{\eta_{mp}}; \\
 \text{If } \begin{cases} m_0 + \alpha \cdot m_{v \text{ nom}} \geq m_{pr}, \\ \omega < 0, \end{cases} & \text{then } M_c = M_{op} \cdot \eta_{mp}; \\
 \text{If } \begin{cases} m_0 + \alpha \cdot m_{v \text{ nom}} < m_{pr}, \\ \omega > 0, \end{cases} & \text{then } M_c = M_{op} \cdot \eta_{mp}; \\
 \text{If } \begin{cases} m_0 + \alpha \cdot m_{v \text{ nom}} < m_{pr}, \\ \omega < 0, \end{cases} & \text{to } M_c = \frac{M_{op}}{\eta_{mp}}; \\
 \text{If } \omega = 0, & \text{then } M_c = M_{op}.
 \end{cases} \quad (4)$$

В Simulink, який є додатком до пакету Matlab, здійснимо моделювання роботи ліфта як при підйомі та опусканні номінального вантажу, так і не завантаженої kabini (рис. 3). Результати моделювання та аналітичних розрахунків зведені у порівняльну табл. 1.

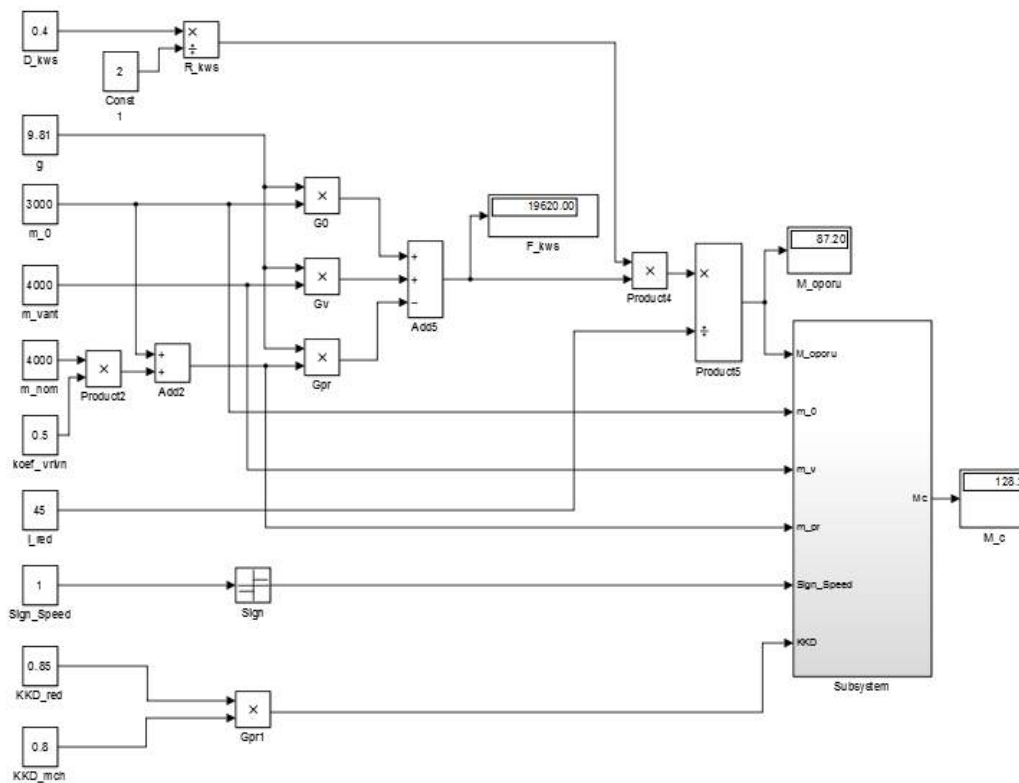


Рис. 3. Модель врівноваженого ліфта в Simulink (підйом номінального вантажу)

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця

Режими / параметри		Рез.розрахунків	Рез. моделювання
Підйом номінального вантажу	результуюче зусилля на КВШ $F_{ш}$ , Н	19620	19620
	момент статичного опору $M_c$ , Н·м	128,235	128,2
Спуск номінального вантажу	результуюче зусилля на КВШ $F_{ш}$ , Н	19620	19620
	момент статичного опору $M_c$ , Н·м	59,296	59,3
Підйом не завантаженої kabini	результуюче зусилля на КВШ $F_{ш}$ , Н	-19620	-19620
	момент статичного опору $M_c$ , Н·м	-59,296	-59,3
Спуск не завантаженої kabini	результуюче зусилля на КВШ $F_{ш}$ , Н	-19620	-19620
	момент статичного опору $M_c$ , Н·м	-128,235	-128,2

Структура блок Subsystem (див. рис. 3), який описується математичною моделлю (4), зображено на рис. 4.

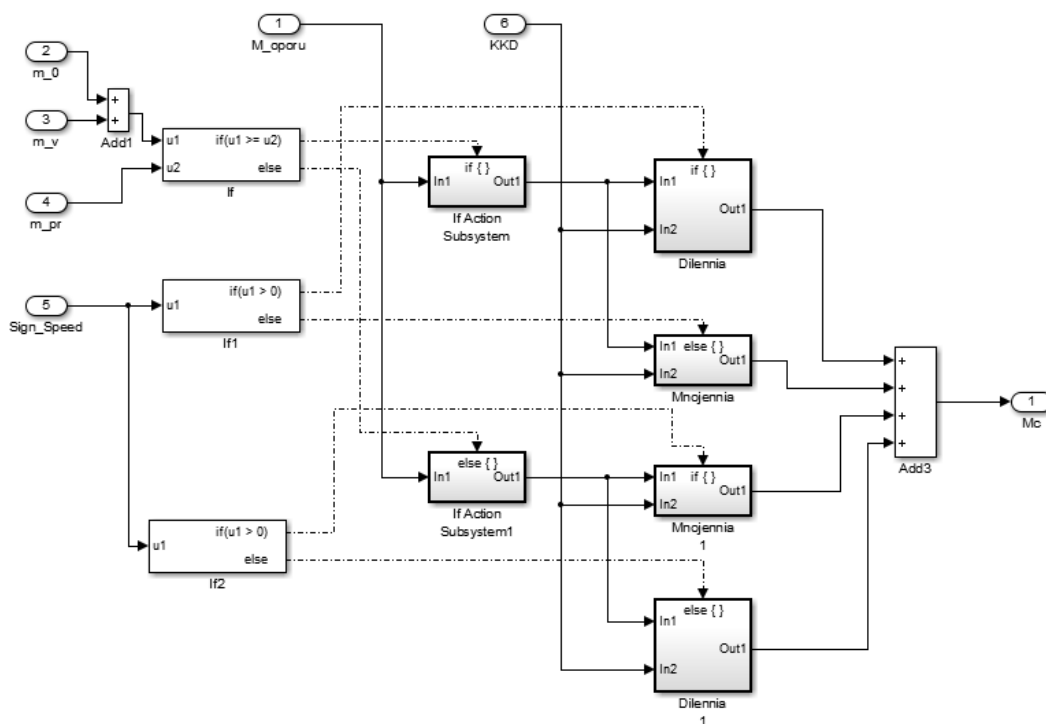


Рис. 4. Структура блоку Subsystem

### Висновки

Розроблено математичні моделі та відповідні структурні схеми механічної частини ліфта з врівноваженою кінематичною схемою. Здійснено моделювання в Simulink. Як впливає із результатів моделювання, розрахункові дані та дані отримані в результаті моделювання є повністю ідентичними, що підтверджує адекватність запропонованих моделей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ліфт. Википедія [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%84%D1%82>
2. Волков Д. П. Лифты / Д. П. Волков – М. : Из-во АСВ, 1999. – 480 с.

**Тетяна Василівна Кириловська** — студент групи ЕПА-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [taaanya\\_9494@mail.ru](mailto:taaanya_9494@mail.ru).

**Сергій Миколайович Бабій** — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Kyrylovska Tatiana V.** – Department of Electromechanical Systems Automation in in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [taaanya\\_9494@mail.ru](mailto:taaanya_9494@mail.ru).

**Babiy Sergiy M.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electromechanical Systems Automation in in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА LABVIEW ДЛЯ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Запропоновано новий підхід до дослідження динамічних характеристик електропривода постійного струму, який дозволяє визначати перехідні характеристики замкненої системи електропривода з різними параметрами регуляторів з використанням апаратної платформи Arduino в якості модуля вводу-виводу в середовищі LabVIEW.*

**Ключові слова:** система керування, Labview, ПІД-регулятор, мікроконтролер, Arduino, зворотній зв'язок, швидкість обертання.

### *Abstract*

*A new approach to study the dynamic characteristics of electric DC drive, which allows to determine the transient response of the closed system electric drive controls with different parameters using the Arduino hardware platform as a IO module among LabVIEW.*

**Keywords:** control system, Labview, PID controller, microcontroller, Arduino, feedback, speed of rotation.

### **Вступ**

Удосконалення систем електропривода вимагає постійного підвищення технічного рівня навчальних лабораторій. Використовувані сьогодні лабораторні стенди, що включають до свого складу електромеханічні системи, контроль параметрів яких здійснюється аналоговими приладами, низько інформативні. В даний час персональний комп'ютер широко використовується як засіб обробки та накопичення результатів вимірювань, а також для управління експериментальними установками в реальному часі [1]. З додаванням зовнішнього модуля збору даних, комп'ютер можна перетворити в багатофункціональний лабораторний стенд. Тому актуальним є розробка нових та модернізація існуючих стендів для дослідження регуляторів та їх характеристик з використанням сучасних програмних та апаратних можливостей на базі середовища LabVIEW [2].

Метою роботи є поліпшення процесу дослідження динамічних характеристик регуляторів в електроприводах постійного струму.

### **Результати дослідження**

Запропоновано алгоритм функціонування мікропроцесорної системи з інтегрованою підпрограмою обміну даними з середовищем LabVIEW, що використовується для побудови стенда для дослідження динамічних характеристик електропривода постійного струму. Алгоритм передбачає зчитування команди та числових значень з комунікаційного порта та виконання відповідної функції кожної команди в циклі. Очевидно, що ці функції можна поділити на функції зчитування даних з середовища LabVIEW, та запису в порт значень отриманих з мікропроцесорної системи.

В якості мікропроцесорного пристрою використано апаратну платформу Arduino. Обмін даними здійснюється через послідовний інтерфейс RS232 модуля UART, який входить в стандартний набір інструментів будь-якої сучасної мікропроцесорної системи.

З боку середовища LabVIEW використовується драйвер NI-VISA (Virtual Instrument Software Architecture) - широко використовуваний стандартизований [3] інтерфейс вводу-виводу в області тестування і вимірювань для управління приладами з персонального комп'ютера.

Розроблений інтерфейс використаний для дослідження замкненої системи керування електроприводом з цифровим ПІД регулятором. Структурна схема лабораторної установки на рис. 1.

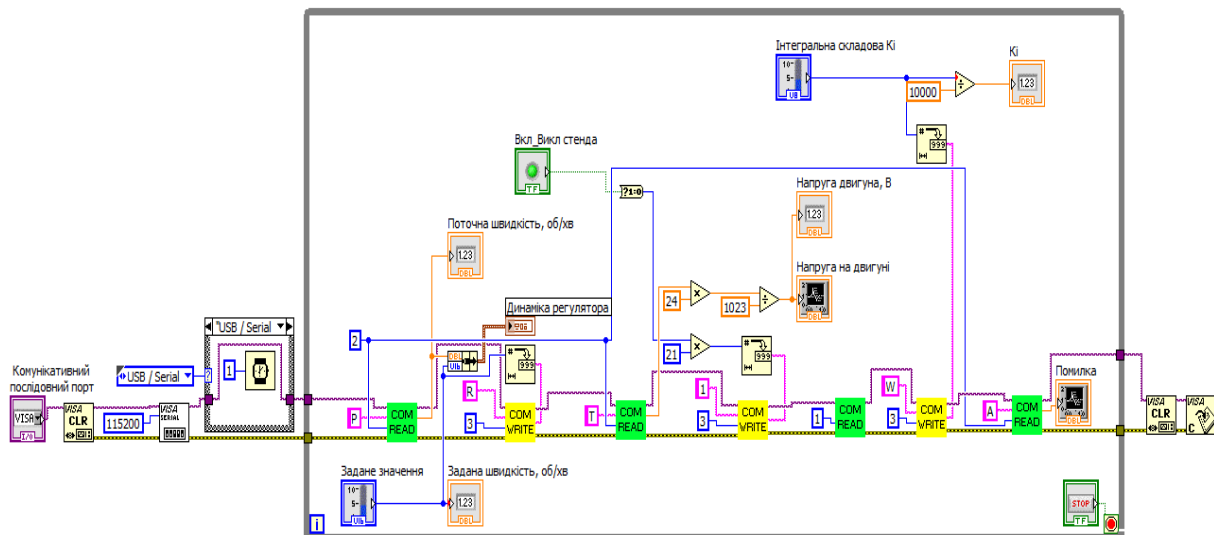


Рис. 1. Структурна схема лабораторної установки

На лицьову панель винесено графіки напруги двигуна, помилки керування, заданого та поточного значення швидкості обертання датчика повітряного потоку. Також передбачено кнопка вмикання вимкнення стенда, «повзунок» задання швидкості та інтегрального коефіцієнта регулятора.

### Висновки

Отже розроблено інтерфейс зв'язку середовища LabVIEW з мікропроцесорними системами дозволяє використовувати його для широкого спектру апаратних засобів завдяки використанню стандартного послідовного зв'язку RS232. Розроблений кросплатформенний інтерфейс забезпечує динамічну передачу необхідної кількості даних без впливу на основну програму функціонування мікропроцесорної системи, що дає можливість додавання інтерфейсу зв'язку LabVIEW у вже існуючі мікропроцесорні системи в тому числі такий підхід дозволяє розробляти нові та модернізувати існуючі лабораторні стенди для дослідження динамічних характеристик електроприводів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кросплатформенний інтерфейс labview для мікропроцесорних систем / Д.П. Проценко, Ю.В. Шевчук, Р.В.Дворніцький // Вісник ВПІ.- 2014. - №6.-С.92-96.
2. Naveenkumar R. Low Cost Data Acquisition and Control using Arduino Prototyping Platform and LabVIEW / R. Naveenkumar, Prasad Krishna // International Journal of Science and Research (IJSR). — 2013. — № 2. — С. 366 — 369.
3. LabVIEW [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ni.com/labview/>

**Дмитро Петрович Проценко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Богдан Юрійович Нич** — студент групи ЕМмс-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**В'ячеслав Сергійович Горобчук** — студент групи ЕМмс-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Dmytro P. Protsenko** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electromechanical systems automation in in industry and transport department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Bohdan Y. Nych** — student of Department of electric power industry and electromechanical, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Vyacheslav S. Horobchuk** — student of Department of electric power industry and electromechanical, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ПРО ЗАДАЧУ КОМПЛЕКСНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Здійснено огляд існуючих методів і засобів діагностики високовольтних вимикачів, та проведено аналіз причин їх несправностей в залежності від типу комутаційного апарату.*

**Ключові слова:** діагностування, високовольтний вимикач, несправність, експлуатація.

### *Abstract*

*Done review of existing methods and tools for the diagnosis of high-voltage switches, and the analysis of the causes of malfunctions depending on the type of switching.*

**Keywords:** diagnostics, high-voltage switches, problem, operation.

### Вступ

В сучасних умовах економічного розвитку нашої країни виникає питання продовження терміну служби всього енергоємного обладнання та забезпечення надійності електропостачання. Значна роль у забезпеченні безперебійного електропостачання споживачів приділяється вимикачам, за допомогою яких здійснюються відключення аварійних струмів короткого замикання, операції комутації електроприймачів [1]. Зношення і старіння комутаційних апаратів призводить до ускладнення та збільшення затрат на його експлуатацію і збільшує імовірність аварійних ситуацій і тому в цих умовах зростає роль діагностики стану електрообладнання. Для діагностування вимикачів застосовуються різні методи та засоби [2].

### Результати дослідження

Як показує досвід, не існує єдиних підходів до визначення технічного стану того чи іншого виду електрообладнання. Відомо, що в багатьох випадках для вдалого діагностування високовольтних вимикачів необхідно виводити його з роботи. Але такий підхід не завжди є ефективним та призводить до значних збитків. Відомі методи та засоби діагностування стану високовольтних вимикачів потребують великих матеріальних затрат і не дозволяють в повній мірі оцінити залишковий ресурс у всіх групах комутаційних пристроїв. Тому створення пристроя для комплексного діагностування високовольтних комутаційних апаратів є актуальною науково-прикладною задачею.

В процесі аналізу технологічних відмов високовольтних вимикачів згідно даних «НЦ Електроенергетика» було виявлено:

1. Найбільш слабким елементом повітряних вимикачів є гумові і поліуретанові ущільнення, які призводять до витoku стисненого повітря;
2. Найбільш пошкоджуваний елемент масляних вимикачів є привод і електричний ввід;
3. Найбільш пошкоджуваний елемент маломасляних вимикачів є привод і опорна ізоляція;
4. У елегазових вимикачах найбільш пошкоджуваним елементом є привод, дефект якого допущений при виготовленні на заводі-виробнику.

Дотепер для діагностування високовольтного обладнання використовувались прилади з електросекундоміром і вібрографом. Ці прилади вже давно перестали задовольняти сучасні вимоги. Тому різними організаціями були розроблені більш складні цифрові прилади, відмінна риса яких - автоматизація вимірювань, висновок вимірювань в цифровому вигляді з представленням на табло, друк даних на принтері і т.д. Існує два напрямки створення приладів:

1. Універсальні прилади, призначені для контролю усіх видів високовольтних вимикачів;
2. Спеціалізовані прилади, орієнтовані на контроль одного або двох видів високовольтних вимикачів.

Спеціалізовані прилади в 1,5 - 2 рази дешевші універсальних, мають менше режимів роботи і органів управління і простіші в обслуговуванні. Отже, якщо на підприємстві є тільки один вид вимикачів, або декілька, наприклад масляні і повітряні у великій кількості, за умови, що вони обслуговуються окремими ремонтними бригадами, то доцільно мати спеціалізовані прилади для кожної бригади. Якщо ж є кілька видів вимикачів, кількість їх невелика і обслуговуються вони однією бригадою висококваліфікованих фахівців, то універсальний прилад може виявитися більш доцільнішим.

Кожен вид вимикачів передбачає свої специфічні вимоги на склад приладу контролю. Для повітряних вимикачів – це необхідність великого числа дискретних каналів (до 18) для фіксації часових параметрів по кожному контакту і великого дисплея для відображення осцилограм всіх каналів. Для масляних вимикачів обов'язкова наявність в комплекті приладу датчиків лінійного і кутового переміщення з набором кріпильних пристосувань. Ці вимоги збільшують вартість приладу. Марок високовольтних вимикачів існує безліч, а останнім часом віддається перевага елегазовому та вакуумному устаткуванню. Тому вимірювальний прилад повинен бути адаптований до вимикачів як старих, так і нових моделей. До таких відноситься тепловізійне і віброакустичне діагностування.

Тепловізійне обстеження ґрунтується на реєстрації інфрачервоного випромінювання від нагрітих елементів електрообладнання. Тепловізійне обстеження електротехнічного обладнання проводиться за допомогою інфрачервоних приладів - тепловізорів, пірометрів, лінійних сканерів. За допомогою цих приладів можна спостерігати розподіл температури по поверхні, вимірювати її значення в кожній точці об'єкта, виявляти перегрів механічних і електричних компонентів, виявляти зайві втрати тепла.

Вібродіагностика широко застосовується для оцінки стану високовольтного обладнання. Вібрація елементів характеризує одночасно цілий комплекс експлуатаційних показників вимикачів: параметри циклічних електричних і механічних навантажень, параметри резонансних режимів роботи різних деталей, ступінь зносу особливо напружених елементів і т. д. В даний час вібродіагностика проводиться в процесі комплексного обстеження устаткування із заданою періодичністю, що дозволяє контролювати вібраційний стан обладнання на поточний момент.

### Висновки

В даній роботі було здійснено огляд існуючих методів і засобів діагностики високовольтних вимикачів. Для об'єктивного та повного розгляду даної теми необхідно провести додаткові дослідження з використанням нових підходів оцінки технічного стану вимикачів. Засоби діагностування мають контролювати не лише паспортні параметри вимикача, але і перехідні опора полюсів в статистиці і динаміці, криві швидкостей контактів (функції шляху та часу), осцилограми замикання/розмикання контактів вимикачів, «просідання» напруги в мережі при спрацюванні вимикачів. Необхідно розробити пристрій який буде здійснювати комплексне діагностування високовольтних комутаційних апаратів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В. В. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів. Монографія / В.В. Грабко, Б.І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.
2. Михеев Г. М. Цыфровая диагностика высоковольтного оборудования / Г.М. Михеев – М.: Изд. дом —ДОДКА”, 2009. – 318 с.

*Дідушок Олег Васильович* — аспірант кафедри ЕМСАПТ, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: didushok.o@yandex.ua;

*Didushok Oleh V.* — assistant of department of electromechanical systems of automation in industry and transport, a PhD student.

## МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ У ФАЗІ СТВОРЕННЯ ТЯГИ ЛИШЕ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В науковій роботі, якій присвячена дана доповідь, розв'язана задача оптимізації руху гібридного автомобіля з комбінованим приводом від двигуна внутрішнього згорання та від електричного двигуна постійного струму дорогою, яка крім горизонтальних ділянок містить спуски та підйоми, за умов, що тягове зусилля створюється лише за допомогою системи електропривода при вимкненому двигуні внутрішнього згорання.

**Ключові слова:** оптимізація руху, гібридний автомобіль, двигун постійного струму, двигун внутрішнього згорання

### Abstract

In scientific work, which is devoted to this report, solve the problem optimization of the vehicle with a combined drive of the internal combustion engine and the electric motor of a direct current path that includes in addition to the horizontal sections of descents and climbs, and the movement is carried out only with the electric system in the internal combustion engine is switched off.

**Keywords:** traffic optimization, hybrid car, the DC motor, the internal combustion engine

### Вступ

В роботі [1], якій присвячена наша попередня доповідь, нами здійснена трансформація математичних моделей транспортних засобів з комбінованим приводом від двигуна внутрішнього згорання та від електричного двигуна постійного струму до задачі оптимізації їх руху дорогою, яка крім горизонтальних ділянок містить спуски та підйоми, вибрані критерії оптимізації та обмеження і запропонована схема декомпозиції задачі для випадків, коли один із приводів з якоїсь причини не працює та коли вони створюють тягове зусилля на валу одночасно.

В даній роботі нами показано, як розв'язується ця задача оптимізації, коли із-за несправності чи відсутності пального двигуна внутрішнього згорання вимкнено, а автомобіль рухається лише за допомогою його електропривода.

### Результати дослідження

У цьому випадку, як показано в нашій попередній роботі [1], математична модель динаміки автомобіля буде мати вигляд:

- в разі, якщо автомобіль рухається горизонтальною ділянкою дороги

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) - f_0 - f_1v - f_2v^2; \quad (1)$$

- в разі, якщо автомобіль рухається на спуск;

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) + f_0^* \sin \beta - f_0 \cos \beta - f_1v - f_2v^2; \quad (2)$$

- в разі, якщо автомобіль рухається на підйом

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) - f_0^* \sin \beta - f_0 \cos \beta - f_1v - f_2v^2. \quad (3)$$

В якості критерію оптимізації будемо мати функціонал –

$$e_i = \int_0^{\tau_i} (1 - \alpha i) i d\tau, \quad (4)$$

а в якості ізопериметричного обмеження матимемо функціонал

$$l_i = \int_0^{\tau_i} v d\tau. \quad (5)$$

Зауважимо, що у виразах (1)-(5)  $v, \tau, i, e_i, l_i$  відповідно - відносна швидкість руху автомобіля, відносний час, відносний струм якоря електричного двигуна електропривода, відносні витрати енергії та відносний шлях;  $\alpha, f_0, f_0^*, f_1, f_2, \tau_i$  - відносні параметри, а  $\beta$  - кут нахилу осі полотна дороги до горизонтальної площини.

Варіаційна задача оптимізації для цього випадку розв'язується з використанням функції Лагранжа [2],[3]

$$H^{(i)}(v, v', i, i', \psi, \psi', \tau) = i - \alpha i^2 + \lambda_1(v' - i\phi(i) + f_0 + f_1 v + f_2 v^2) + \lambda_2(\psi' - v), \quad (6)$$

та кривої намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням у вигляді -

$$\phi(i) = \begin{cases} -a_2 i^2 + b_2 i, & i \in [0, i_{cn}), \\ a_1 + b_1 i, & i \in [i_{cn}, \infty), \end{cases} \quad (7)$$

і приводить до моделі оптимального струму у вигляді:

- якщо електромобіль завантажений, а тому крива намагнічування електродвигуна його електропривода апроксимується нижньою складовою виразу (7)

$$i(\tau) = \frac{1 - a_1(C_2 e^{(f_1 + 2f_2 v)\tau} - \frac{C_1}{f_1 + 2f_2 v})}{2\alpha + 2b_1(C_2 e^{(f_1 + 2f_2 v)\tau} - \frac{C_1}{f_1 + 2f_2 v})}, \quad (8)$$

- якщо електромобіль незавантажений, а тому крива намагнічування електродвигуна його електропривода апроксимується верхньою складовою виразу (7)

$$i(\tau) = \frac{2\alpha + 2b_2 \lambda_1(\tau) - \sqrt{(2\alpha + 2b_2 \lambda_1(\tau))^2 - 12a_2 \lambda_1(\tau)}}{6a_2 \lambda_1(\tau)}, \quad (9)$$

$$\lambda_1(\tau) = C_2^* e^{(f_1 + 2f_2 v)\tau} - \frac{C_1^*}{f_1 + 2f_2 v}.$$

Цілком очевидно, що для гібридного автомобіля в разі вимкнення його двигуна внутрішнього згорання і руху лише за допомогою електропривода моделі оптимального струму його електричного двигуна теж матимуть вигляд (8),(9).

Цілком очевидно також і те, що для отримання математичних моделей оптимальної швидкості гібридного автомобіля потрібно рівняння (8),(9) розв'язати відносно  $v$  сумісно з рівнянням обмеження (1) під час руху по горизонтальному відрізку дороги, сумісно з рівнянням обмеження (2) під час руху на спуск і сумісно з рівнянням обмеження (3) під час руху на підйом.

## Висновки

Отже, в результаті нашого дослідження було отримано математичні моделі оптимального руху гібридного автомобіля при відключеному двигуні внутрішнього згорання під час його руху за допомогою системи електропривода відрізком дороги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін О. Б. Декомпозиція задачі оптимізації руху транспортного засобу з комбінованим приводом / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін, В. А. Лобатюк, О. П. Кубрак [Електронний ресурс] // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2015. – № 3. - С. 1-9. – Режим доступу: <http://www.praci.vntu.edu.ua/index.php/praci>

2. Мокін О.Б. Оптимізація руху завантаженого електромобіля з тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги/О.Б. Мокін, О.Д. Фолюшняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №1. – С.56–60
3. Мокін О.Б. Оптимізація руху незавантаженого електромобіля з тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги/О.Б. Мокін, О.Д. Фолюшняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №2. – С.48–51
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике./И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев// Москва: Наука. – 1967. – 608 с.

*Мокін Олександр Борисович* – д.т.н., проф., завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів (ВЕТЕСК), e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com).

*Мокін Борис Іванович* – акад. НАПН України, д.т.н., проф., професор кафедри ВЕТЕСК.

*Лобатюк Віталій Анатолійович* – аспірант кафедри ВЕТЕСК.

*Mokin Oleksandr B.* – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com);

*Mokin Borys I.* – Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

*Lobatiuk Vitalii A.* – Post-Graduate Student of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

## ДЕКОМПОЗИЦІЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В науковій роботі, якій присвячена дана доповідь, здійснена декомпозиція задачі оптимізації руху гібридного автомобіля з комбінованим приводом від двигуна внутрішнього згорання та від електричного двигуна постійного струму за умови, що транспортний засіб рухається дорогою, яка крім горизонтальних ділянок містить також і спуски та підйоми.*

**Ключові слова:** транспортний засіб з комбінованим приводом, двигун внутрішнього згорання, двигун постійного струму, оптимізація руху.

### *Abstract*

*In scientific work, which is devoted to this report, solve the task decomposition of the problem of optimizing movement of a vehicle with combined drive from internal combustion engine and direct current electrical engine provided that vehicle travels over a road that except horizontal sections has also ups and downs was carried out.*

**Keywords:** Vehicle with a combined drive, internal combustion engine, DC motor, traffic optimization

### Вступ

Сама постановка задачі оптимізації руху гібридного автомобіля обумовлена тим, що відстань, яку може покрити транспортний засіб з двигуном внутрішнього згорання, у першу чергу залежить від ємності бака з паливом та витрат пального на кілометр шляху, а відстань, яку може покрити транспортний засіб з електроприводом, у першу чергу залежить від ємності акумуляторної батареї та витрат електроенергії на кілометр шляху, а тому при обмежених значеннях ємностей бака і акумуляторної батареї, заданих заводами, що їх виготовляють, актуальною є задача визначення такого співвідношення витрат пального та електроенергії, яке дозволяє транспортному засобу з комбінованим приводом покрити найдовшу відстань без дозаправки паливом та підзарядки акумулятора.

Враховуючи те, що транспортний засіб в реальних умовах здійснює рух не лише на горизонтальних ділянках шляху, але і на спусках та підйомах, розв'язання даної оптимізаційної задачі потрібно починати з її декомпозиції – саме цьому етапу розв'язання сформульованої вище задачі і присвячена наукова робота, якій присвячена дана доповідь.

### Результати дослідження

В роботі виведені усі співвідношення, які необхідні для розв'язання задачі оптимізації руху автомобіля як у випадку створення тягової сили лише двигуном внутрішнього згорання чи лише електродвигуном постійного струму з послідовним збудженням, так і у випадку її створення обома двигунами одночасно, і показано, що першим етапом розв'язання даної задачі є її декомпозиція, в результаті якої розглядається лише одна із наступних ситуацій:

1). В разі виходу з ладу електричного приводу чи повному розряду акумуляторної батареї ту частину маршруту, що залишилась, доведеться долати лише за допомогою двигуна внутрішнього згорання.

2). В разі виходу з ладу двигуна внутрішнього згорання чи закінчення запасу пального в баку ту частину маршруту, що залишилась, доведеться долати лише за допомогою електропривода.



3). При обох справних двигунах, достатньому запасі пального і використанні дорогих акумуляторів, вартість придбання яких і витрати на експлуатацію включаються у відповідній пропорції, визначеній терміном експлуатації, до вартості спожитої електроенергії, увесь маршрут доцільно долати за допомогою одночасно працюючих на спільний вал обох двигунів.

4). При обох справних двигунах і використанні дешевих акумуляторів, що робить більш економічним режим додання маршруту за допомогою електропривода, доцільно долати горизонтальні ділянки та спуски лише за допомогою електропривода, а на підйомах до валу підключати окрім електропривода також і двигун внутрішнього згорання, що приводить до необхідності синтезу законів оптимального руху з врахуванням цієї особливості. Це режим економного витрачання пального, якого слід дотримуватися в місцевості, де не має можливості здійснити підзарядку акумулятора, а тому завершувати поїздку необхідно буде завдяки лише використанню двигуна внутрішнього згорання. Цей режим є також доцільним при дефіциті часу, необхідного для підзарядки акумулятора, у випадках, коли на маршруті можливість здійснити підзарядку є.

### Висновки

В роботі, якій присвячена дана доповідь, для усіх наведених ситуацій побудовані базові математичні моделі і критерії оптимізації та обмеження у відносних величинах, придатні для пошуку моделей оптимального руху гібридного автомобіля в умовах кожної із описаних вище ситуацій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павловський А.М. Теоретична механіка. / М. А. Павловський.//Київ: Техніка. – 2002. – 512 с.
2. Мхитарян А.М. Аеродинаміка./ А.М. Мхитарян// Москва: Машиностроение. – 1970. – 289 с.
3. Петров Ю.П. Вариационные методы теории оптимального управления./ Ю.П. Петров// Москва-Ленинград: Энергия. – 1965. – 220 с.
4. Мокін Б.І. Теорія автоматичного керування, методологія та практика оптимізації. / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін// Вінниця: ВНТУ. – 2013. – 210 с.

*Мокін Олександр Борисович* – д.т.н., проф., завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів (ВЕТЕСК), e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com).

*Мокін Борис Іванович* – акад. НАПН України, д.т.н., проф., професор кафедри ВЕТЕСК.

*Лобатюк Віталій Анатолійович* – аспірант кафедри ВЕТЕСК.

*Mokin Oleksandr B.* – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com);

*Mokin Borys I.* – Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

*Lobatiuk Vitalii A.* – Post-Graduate Student of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ТА УСТАТКУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС З ПІДВИЩЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРИ

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Сформульована задача модернізації енергоблоків ТЕС підвищенням початкових параметрів паросилового циклу. Дан опис математичних моделей енергоблоків ТЕС. Наведені параметри теплової схеми та обладнання блока ТЕС з підвищеними початковими параметрами пари.*

**Ключові слова:** ТЕС, математичні моделі, оптимізація.

### **Abstract**

*The objective of the study is the modernization of power units of the Thermal Power Plant (TPP) by increasing the initial parameters of the steam cycle. The mathematical models of the TPP units are described. The parameters of the thermal circuit and of the equipment of the TPP units with high initial steam parameters are given.*

**Keywords:** Thermal power plant, mathematical model, optimization.

### **Вступ**

Одним із суттєвих способів підвищення економічності ТЕС є підвищення параметрів паросилового циклу. В країнах ЄС розробляється пилувугільний енергоблок з параметрами свіжої пари 37,5 МПа/700 °С із подвійним промперегрівом до 720 °С при тисках 12 и 2,35 МПа. При тиску в конденсаторі 2,1 кПа ККД такого блока 54 %. В СРСР на Каширській ДРЕС був пущений енергоблок СКР-100 з котлом паропроductивністю 710 т/год та турбіною Харківського турбінного заводу (ХТЗ) Р-100-300 на супернадкритичні параметри пари (СНКП) 29,4 МПа і 650 °С. Його питома витрата умовного палива склала 315 г/кВт·год. Досвід розробки та експлуатації СКР-100 був врахований в проекті енергоблоку з турбоустановкою К-800-300-650/565 ХТЗ з питомою витратою теплоти 7240 кДж/кВт·год. Розрахункова питома витрата теплоти турбоустановки 300 МВт СК-300-300-650/650 дорівнює 7284 кДж/кВт·год [1, 2]. Тому є доцільною модернізація відпрацьованого ресурс устаткування енергоблоку ТЕС в напрямку використання пари супернадкритичних параметрів. Відповідно задачами даної роботи є: 1. Розробка математичних моделей теплової схеми та устаткування енергоблоку. 2. Розрахунки існуючої теплової схеми та схеми з СНКП. 3. Дворівнева оптимізація підігрівників живильної води високого тиску.

### **Результати досліджень**

1. Математична модель теплової схеми енергоблоку Ладжинської ТЕС визначає витрати, тиски, ентальпії енергоносіїв на всіх ділянках теплової схеми блока, розраховує питомі витрати палива і ККД блока, різницю відносно базового варіанта сумарних приведених затрат на варіант теплової схеми блока  $\Delta Z_{\Sigma}$ .

2. Існуюча теплова схема енергоблоку наведена на рис. 1.

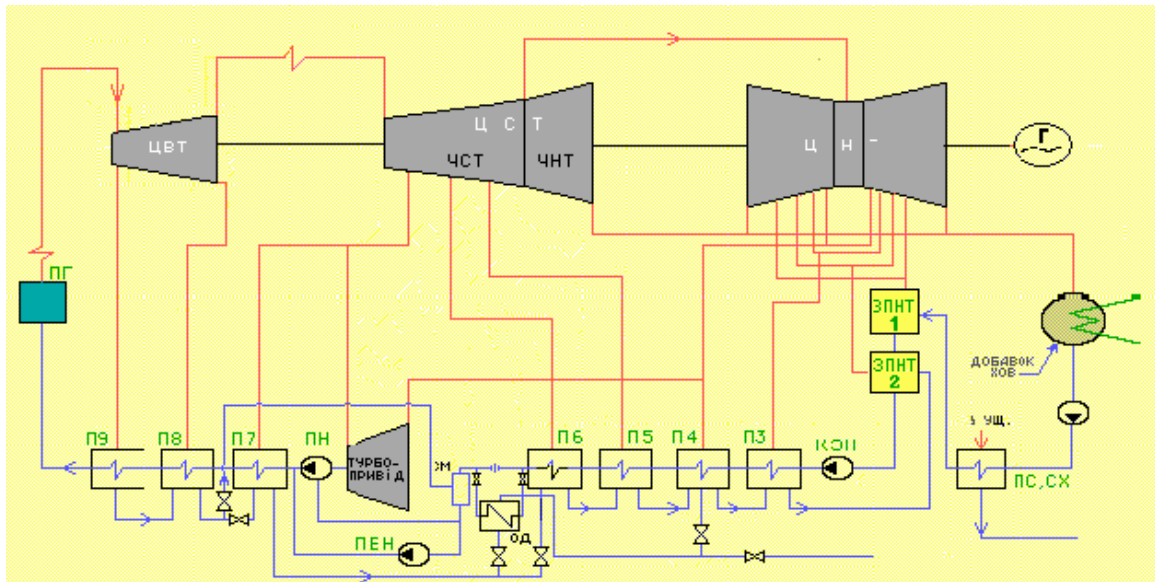


Рис. 1. Існуюча теплова схема енергоблоку 300 МВт

Результати розрахунку існуючої теплової схеми такі: потужність  $N_{er} = 300$  МВт, питома витрата умовного палива  $0,38$  кг/кВт·год. Теплова схема енергоблоку СНКП залишена існуючою. Розрахунками знаходимо таку витрату пари з парогенератора, при якій потужність блока близька до 300 МВт. Ця витрата складає  $850$  т/год ( $236$  кг/с). Результати розрахунку теплової схеми СЗКП такі: потужність  $N_{er} = 300,4$  МВт, питома витрата умовного палива  $0,314$  кг/кВт·год.

3. Дворівнева оптимізація підігрівників високого тиску (ПВТ). На першому рівні визначаються зовнішні, а на другому рівні визначаються внутрішні параметри ПВТ. Параметри першого рівня розраховуються за моделями зон ПВТ в складі математичної моделі теплової схеми енергоблоку. Схема зон теплообміну ПВТ наведена на рис. 2.

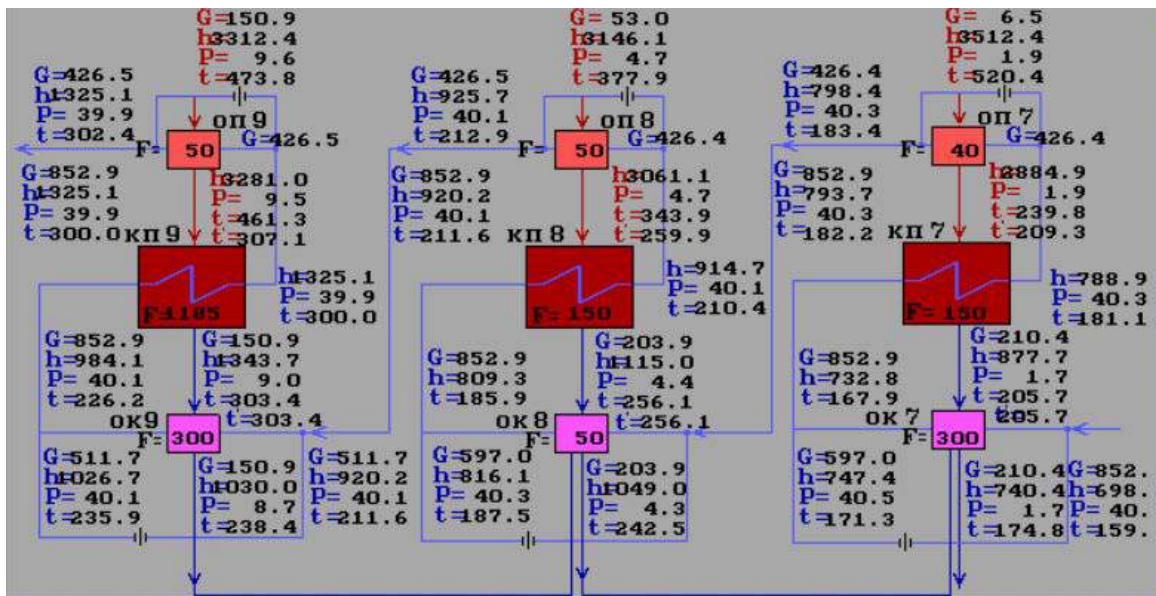


Рис. 2. Схема зон теплообміну ПВТ

Незалежними параметрами, які варіюються, є наступні.

1. Поверхні зон групи ПВТ,  $m^2$  : ФОП7, ФОП8, ФОП9, ФКП7, ФКП8, ФКП9, ФОК7, ФОК8, ФОК9.
2. Частки води, які надходять в зони ОП і ОК ПВТ: dОП7, dОП8, dОП9, dОК7, dОК8, dОК9.

Обмеженням є температура живильної води після групи ПВТ  $t_9$ , яка дорівнює  $300\text{ }^\circ\text{C}$ .

Параметри другого рівня розраховуються на окремій моделі колекторного з приварними змійовиками ПВТ, яка реалізує його детальний розрахунок. Початковими даними моделі є вхідні та вихідні значення витрат, температур та тисків теплоносіїв, отриманих на першому рівні оптимізації розрахунками теплової схеми енергоблоку. Результатами детального розрахунку ПВТ є уточнені вихідні параметри теплоносіїв та конструкторські параметри ПВТ. Параметрами оптимізації є дев'ять внутрішніх параметрів: діаметри труб в зонах ОП, КП, ОК ( $d_{\text{ОП}}$ ,  $d_{\text{КП}}$ ,  $d_{\text{ОК}}$ ), швидкості води в зонах ОП, КП, ОК ( $V_{\text{ОП}}$ ,  $V_{\text{КП}}$ ,  $V_{\text{ОК}}$ ) та число ходів в зонах ОП, КП, ОК ( $Z_{\text{ОП}}$ ,  $Z_{\text{КП}}$ ,  $Z_{\text{ОК}}$ ). Оптимізація виконується методом покоординатного спуску.

Результат оптимізації ПВТ на першому рівні:  $\text{FOП7} = 50\text{ м}^2$ ,  $\text{FOП8} = 100\text{ м}^2$ ,  $\text{FOП9} = 50\text{ м}^2$ ,  $\text{FKП7} = 100\text{ м}^2$ ,  $\text{FKП8} = 300\text{ м}^2$ ,  $\text{FKП9} = 1200\text{ м}^2$ ,  $\text{FOК7} = 90\text{ м}^2$ ,  $\text{FOК8} = 50\text{ м}^2$ ,  $\text{FOК9} = 50\text{ м}^2$ ,  $d_{\text{ОП7}} = 0,3$ ,  $d_{\text{ОП8}} = 0,3$ ,  $d_{\text{ОП9}} = 0,3$ ,  $d_{\text{ОК7}} = 0,5$ ,  $d_{\text{ОК8}} = 0,3$ ,  $d_{\text{ОК9}} = 0,5$ . Результат оптимізації ПВТ7 на другому рівні наведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Результат оптимізації ПВТ 7 на другому рівні

	Параметри								
	$d_{\text{ОП}}$ , мм	$d_{\text{КП}}$ , мм	$d_{\text{ОК}}$ , мм	$V_{\text{ОП}}$ , м/с	$V_{\text{КП}}$ , м/с	$V_{\text{ОК}}$ , м/с	$Z_{\text{ОП}}$	$Z_{\text{КП}}$	$Z_{\text{ОК}}$
Значення	20	40	30	1	1,2	1	1	1	2

Труби ПВТ7 знаходяться під найбільшим тиском живильної води. Виконані розрахунки труб ПВТ7 на міцність показали, що товщина труб достатня для безаварійної роботи ПВТ.

#### Висновки

1. Обґрунтована модернізація енергоблоку ТЕС в напрямку підвищення початкових параметрів паросилового циклу.
2. Створені математичні моделі теплової схеми енергоблоку ТЕС.
3. Визначені параметри модернізованого енергоблоку ТЕС на математичних моделях.
4. Модернізація енергоблоку ТЕС дозволить щорічно заощаджувати 128 700 тон вугілля.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горшков А. С. Высокоэффективный энергетический блок / А. С. Горшков, Н. Ф. Комаров, А. М. Шварц и др. // Теплоэнергетика, 1987. — № 5. — С. 49–54.
2. Горшков А. С. Техничко-экономические показатели тепловых электрических станций / А. С. Горшков — М. : Энергия, 1974. — 240 с.

**Бойко Богдан Андрійович** – студент групи ЕМ-15сп, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Головченко Олексій Михайлович** – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@mail.ru;

**Нанак Олена Миколаївна** – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e\_nanaka@rambler.ru.

**Boyko Bogdan A.** – student of the group EM-15sp, Faculty of electric power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Golovchenko Olesiy M.** – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@mail.ru;

**Nanaka Olena M.** – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e\_nanaka@rambler.ru.

## ЕКВІВАЛЕНТНІ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ З ОПЕРАЦІЄЮ ДИФЕРЕНЦЮВАННЯ У ПРАВІЙ ЧАСТИНІ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Запропоновано метод еквівалентування за критичною частотою лінійних динамічних систем високого порядку, що містять похідні у правій частині математичної моделі, моделями 3-го порядку, придатними для аналізу стійкості та оптимізації.*

**Ключові слова:** лінійна динамічна система, математична модель, еквівалентування, диференціальне рівняння третього порядку, критична частота

### *Abstract*

*Proposed a method of equivalenting on critical frequency of linear dynamic systems with higher order, containing derivatives in the right side of the mathematical model, by the models 3rd order, suitable for analysis of stability and optimization.*

**Keywords:** linear dynamic system, mathematical model, equivalenting, third-order differential equation, critical frequency.

У роботах [1, 2] визначені умови і побудовані алгоритми еквівалентування складних динамічних систем, що допускають лінеаризацію і описуються диференціальними рівняннями

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x, n > 3, \quad (1)$$

математичними моделями 1-го -

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x \quad (2)$$

2-го -

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x \quad (3)$$

або 3-го -

$$a_3 \frac{d^3 y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x - \quad (4)$$

порядків.

В даній роботі визначені умови і алгоритми еквівалентування за критичною частотою складних лінійних динамічних систем автоматичного керування, розімкнутий контур яких описується диференціальними рівняннями

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, n > 3, \quad (5)$$

або –

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, n > 3 - \quad (6)$$

математичними моделями, що мають вигляд:

$$a_3 \frac{d^3 y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \quad (7)$$

або -

$$a_3 \frac{d^3 y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x. \quad (8)$$

Такі умови дозволяють використовувати еквівалентні моделі для аналізу стійкості систем автоматичного керування з ПД- та ПД-регуляторами після їх замикання зворотнім зв'язком.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін. О. Б. Визначення умов, за яких рух динамічних об'єктів з порядком математичних моделей, вищим трьох, можна описувати еквівалентними моделями з порядком, не вищим трьох / О. Б. Мокін, В. Б. Мокін, Б. І. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №4. – С. 7–15.

2. Мокін О.Б. Метод ідентифікації процесів в багатовимірних динамічних об'єктах, що допускають лінеаризацію, математичними моделями не вище третього порядку, еквівалентними за частотою зрізу. / О. Б. Мокін, В. Б. Мокін, Б. І. Мокін, І. О. Чернова // Наукові праці Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс]. Англ., рос. та укр. мовами. – 2014. – №3. – С. 1-10. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3751>.

**Мокін Борис Іванович** — д.т.н., професор, академік Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Чернова Ірина Олександрівна** – аспірант кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [ira.chernova85@gmail.com](mailto:ira.chernova85@gmail.com).

**Mokin Borys Ivanovych** — Dr. of Tech. Sci., Prof., academician of National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine, Professor at the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Chernova Iryna Oleksandrivna** — Post-graduate student at the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [ira.chernova85@gmail.com](mailto:ira.chernova85@gmail.com).

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Удосконалено методи логіко-чисельного моделювання розрахунків теплових схем теплових і атомних електростанцій в напрямках розповсюдження на теплові схеми джерел енергопостачання.*

**Ключові слова:** теплоенергетична установка, логіко-числового моделювання.

### *Abstract*

*The methods of logical and numerical simulation calculations of thermal circuits of thermal and nuclear power plants in the direction of the thermal circuit energy sources.*

**Keywords:** thermal power plant, logical and numerical modeling.

### Вступ

Аналіз та вдосконалення режимів роботи теплоенергетичного обладнання є важливою задачею експлуатації та модернізації теплових схем промислово-опалювальних котельень.

Вимога підвищення ефективності використання органічного палива призводить до ускладнення теплових схем котельень газовими та паровими турбінами, двигунами внутрішнього згорання, тепловими насосами, теплоутилізаторами, додатковими теплообмінниками тощо. Впроваджуються котельні і теплові двигуни на рідкому паливі рослинного походження, біогазу, відходів переробної промисловості.

Таким чином, оптимізаційні дослідження теплових схем джерел енергопостачання в широкому діапазоні зміни системних факторів є актуальними.

### Результати досліджень

Фізичні процеси в промисловій котельні та ТЕЦ описуються системою рівнянь збереження, а саме: маси, кількості руху, енергії; рівнянь приросту ентропії та стану робочих тіл та теплоносіїв. Основна особливість цієї системи є в тому, що кількість та вид рівнянь кожного типу залежить від технологічної установки (числа апаратів, їх призначення, засобу з'єднання, конструктивного виконання), тобто логічної інформації. Ця особливість зумовлює доцільність представлення математичної моделі промислової котельні у вигляді сукупності логіко-числових операторів[1], відображаючих трансформацію форм рівнянь названих типів (числових функцій) в залежності від технологічних кодів вузлів та дуг графа (логічних змінних) і автоматично формуючих на графі необхідну систему рівнянь. Математична модель котельні має вигляд

$$\Delta Z_{\Sigma}(G^T, I, DF) / \Delta_r LT(G^T, I, DF) = 0, r = 1, 2, \dots, s, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – знак логіко-числового оператора;

$\Delta Z_{\Sigma}$  – оператор якості варіанта котельні;

$LT$  – ідентифікатор логіко-числового оператора;

$I$  – інформаційна мережа;

$G^T$  – технологічний граф схеми котельні;

$DF$  – декодуючі функції.

Кожний з логіко-числових операторів є сукупністю ієрархічно підлеглих логіко-числових модулів:

$$\Delta_r LT(G^T, I, DF) = U_{r=1}^s \Delta l_i(G^T, I, DF), \quad (2)$$

де  $l_i$  – логіко-числовий модуль  $r$ -го рівня. Модуль записується, як добуток висловлювальної та числової функцій:

$$\Delta l_i(G^T, I, DF) = l_i(K_B, K_D, DF) \cdot t_i(x, y); \quad x, y \in I, \quad (3)$$

де  $l$  – висловлювальна функція;

$t$  – числова функція (рівняння процесу);

$x, y$  – залежні та незалежні змінні.

Сумісність математичної моделі з методиками розрахунків її устаткування в конструкторських бюро досягається ідентифікацією моделі устаткування за експериментальними (розрахунковими або фактичними) даними.

### Висновки

1. Логіко-числовий метод Інституту проблем машинобудування НАНУ розрахунків теплових схем ТЕС і АЕС удосконалений в напрямках системного аналізу, розповсюдження на теплові схеми джерел енергопостачання та на моделювання динаміки процесів в них.
2. На основі удосконаленого логіко-числового методу створена система математичного моделювання теплоенергетичних установок.
3. З допомогою системи математичного моделювання виконані дослідження теплоенергетичних установок та створені комп'ютерні тренажери для навчання управлінню теплоенергетичними установками.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко. О. М., Налбандян Д. Б. “Игровое проектирование энергетического оборудования” – К. : УМК ВО, 1988. – 236с.

**Головченко Олексій Михайлович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Нанакі Олена Миколаївна** – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, e-mail: [e\\_nanaka@rambler.ru](mailto:e_nanaka@rambler.ru).

Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Golovchenko Oleksiy Mihaylovych** – phd, assistant professor, assistant professor of renewable energy and transportation systems and electrical systems.

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia;

**Nanaka Olena Mikolayivna** – phd, assistant professor of renewable energy and transportation systems and electrical systems, e-mail: [e\\_nanaka@rambler.ru](mailto:e_nanaka@rambler.ru).

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia.



# СХЕМА РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСА ІЗ НАКОПИЧУВАЧЕМ ЕНЕРГІЇ НА БОРТУ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Запропонована принципова силова електрична схема рекуперативного гальмування тролейбуса із накопичувачем енергії, виконаним на базі конденсаторів подвійного електричного прошарку, яка дозволяє реалізувати режим тяги тролейбуса спільно із режимом рекуперативного (регенеративного) гальмування в якості основного робочого виду електричного гальмування.*

**Ключові слова:** електричний транспорт, накопичувач енергії, система електропостачання, рекуперація, регенерація, електрична схема.

## **Abstract**

*Fundamental power circuitry of regenerative braking with energy storage trolley are proposed, which made on the basis of capacitors electrical double layer, which allows the trolley traction mode in conjunction with a regenerative braking mode as a main desktop type electric braking.*

**Keywords:** electric transport, energy storage, power supply system, recovery, regeneration, electric circuit.

## **Вступ**

Міський електричний транспорт – складова частина єдиної транспортної системи, призначена для перевезення громадян трамваями, тролейбусами, поїздами метрополітену на маршрутах (лініях) відповідно до вимог життєзабезпечення населених пунктів [1].

Актуальним питанням світової енергетики є зниження електроспоживання всіх електроприймачів. Досить вагомим споживачем електричної енергії є міський електричний транспорт [1]. Щороку в салони, наприклад, вінницького транспорту загального користування заходить понад 170 млн. пасажирів. 70% з них перевозить пасажирський електротранспорт.

Питання, пов'язане зі зниженням енерговитрат шляхом створення високотехнологічних зразків транспортних засобів, є актуальним для міського електричного транспорту в цілому, де енергетична складова в даний час досягає 30 ... 50 % від загальних витрат комунальних підприємств.

Мета роботи полягає у розробці схеми рекуперативного гальмування тролейбуса в системі тягового електропостачання міста, основні рішення якої спрямовані на підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань електротехнічного комплексу «система електропостачання – електротранспорт міста» із врахуванням впливу випадкових факторів.

## **Результати дослідження**

Існує багато схемних рішень по спільній роботі різного виду накопичувачів з електричним двигуном [2]. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що найбільш перспективними накопичувальними елементами, які задовольняють основним вимогам акумулювання енергії електричних гальмувань в електротранспортній системі в даний час є накопичувачі на базі конденсаторів подвійного електричного прошарку (іоністори). Вони є найбільш ефективним типом накопичувачів, які здатні в повному обсязі акумулювати енергію електричних гальмувань.

Крім того, визначено, що найбільш ефективно енергія електричного гальмування використовується при встановленні накопичувального пристрою безпосередньо на тролейбусі, що дозволить підвищити динамічні та енергетичні показники транспортного засобу в цілому [3, 4].

В результаті аналізу та поєднання раніше отриманих результатів дослідження, була запропонована принципова силова електрична схема регенеративно-накопичувального гальмування (РНГ) тролейбуса із накопичувачем енергії на борту, виконаним на базі іоністорів. Схема дозволяє реалізувати режим тяги тролейбуса спільно із режимом рекуперативного (регенеративного)



всероссийской научной конференции молодых ученых в 6-ти частях. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2004. — с. 158-159.

3. Щуров Н.И. Повышение эффективности использования электрической энергии в субподсистеме электрического транспорта / Н.И. Щуров, В.И. Сопов, А.А. Штанг, Ю.А. Прокушев; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — с. 6 - 20.

4. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2-е. 126 - 136.

5. Марквардт, К.Г. Работа системы электроснабжения при рекуперации энергии. — Техника железных дорог 1955, №4. — с. 19-20.

***Олександр Анатолійович Паянок*** — к.т.н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2goldfuture8@mail.ru.

***Payanok Oleksandr A*** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Renewable energy and transportation systems and electrical systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 2goldfuture8@mail.ru.

**М. В. Груба**  
**О. М. Головченко**  
**О. М. Нанак**

## **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ АДМІНІСТРАТИВНИХ БУДІВЕЛЬ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розглянуті варіанти системи теплоенергопостачання підприємства з відновлюваними джерелами енергії. Сформульована задача багатокритеріальної оптимізації системи теплоенергопостачання з відновлюваними джерелами енергії навчального корпусу ВНТУ та показаний шлях її рішення.*

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, багатокритеріальна оптимізація, системний аналіз.

### **Abstract**

*The variants of the system heat supply enterprises of renewable energy sources. The problem of multi-objective optimization system of heat power supply with renewable energy educational building VSTU and the ways to solve it.*

**Keywords:** renewable energy, multi-objective optimization, systems analysis.

### **Вступ**

Сплата за теплоелектропостачання для організацій бюджетної сфери є важким тягарем, тому один із напрямків вирішення цієї проблеми полягає у впровадженні на підприємствах та в організаціях заходів направлених на заощадження енергетичних ресурсів. У вищих навчальних закладах (ВНЗ) ці заходи повинні не тільки заощаджувати енергоресурси, але й навчати майбутніх спеціалістів новітнім технологіям енергозбереження. Такі технології створюються в Київському, Одеському та інших технічних ВНЗ [1, 2]. Задачі даної роботи такі: 1. Розрахунки варіантів системи теплоенергопостачання підприємства з відновлюваними джерелами енергії. 2. Формулювання задачі багатокритеріальної оптимізації системи теплоенергопостачання з відновлюваними джерелами енергії навчального корпусу ВНТУ та визначення шляху її рішення.

### **Результати досліджень**

1. Система теплоенергопостачання підприємства (СТЕП) забезпечує опалення будівлі та потребу виробництва у воді з температурою 60 градусів при витраті 30 тон на добу. Результати розрахунків варіантів СТЕП наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Техніко-економічні показники варіантів СТЕП

Показники	Існуюча СТЕП	ТНУ ґрунтова	ТНУ повітряна	ТНУ вода-вода	Котел на деревині	Котел на деревині та геліо-колектори ГВП
Потужність опалення, МВт	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Потужність ГВП, МВт	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Капіталовкладення, млн.грн	-	13,8	15,8	9,48	0,84	6,8
Економія експлуатаційних затрат, млн.грн	-	4,42	3,54	4,25	5,95	7,5
Термін окупності, роки	-	3,14	4,5	2,2	0,14	0,91
Показник чистого приведенного доходу (NPV)	-	-8,5	-10,3	-4,7	4,17	0,7
Індекс дохідності (PI)	-	0,32	0,28	0,45	6	1,1

В таблиці: ТНУ – теплонасосна установка, ГВП – гаряче водопостачання. Показник чистого приведенного доходу ( $NPV$ ) дає узагальнену характеристику результату інвестування – абсолютну величину ефекту від реалізації інвестиційного проекту. Індекс дохідності ( $PI$ ) у методичному аспекті є схожим на показник «коефіцієнт ефективності капітальних вкладень». Але, в цьому разі, доходом є не прибуток, а грошовий потік стосовно інвестованих коштів, приведених за умови різночасності до теперішньої вартості.

Як видно з таблиці варіант «Котел на деревині» є найкращім по всім показникам.

2. Розглядається система теплоенергопостачання навчального корпусу ВНТУ. Розрахункова теплова схема з відновлюваними джерелами енергії СТЕП корпусу наведена на рис. 1.

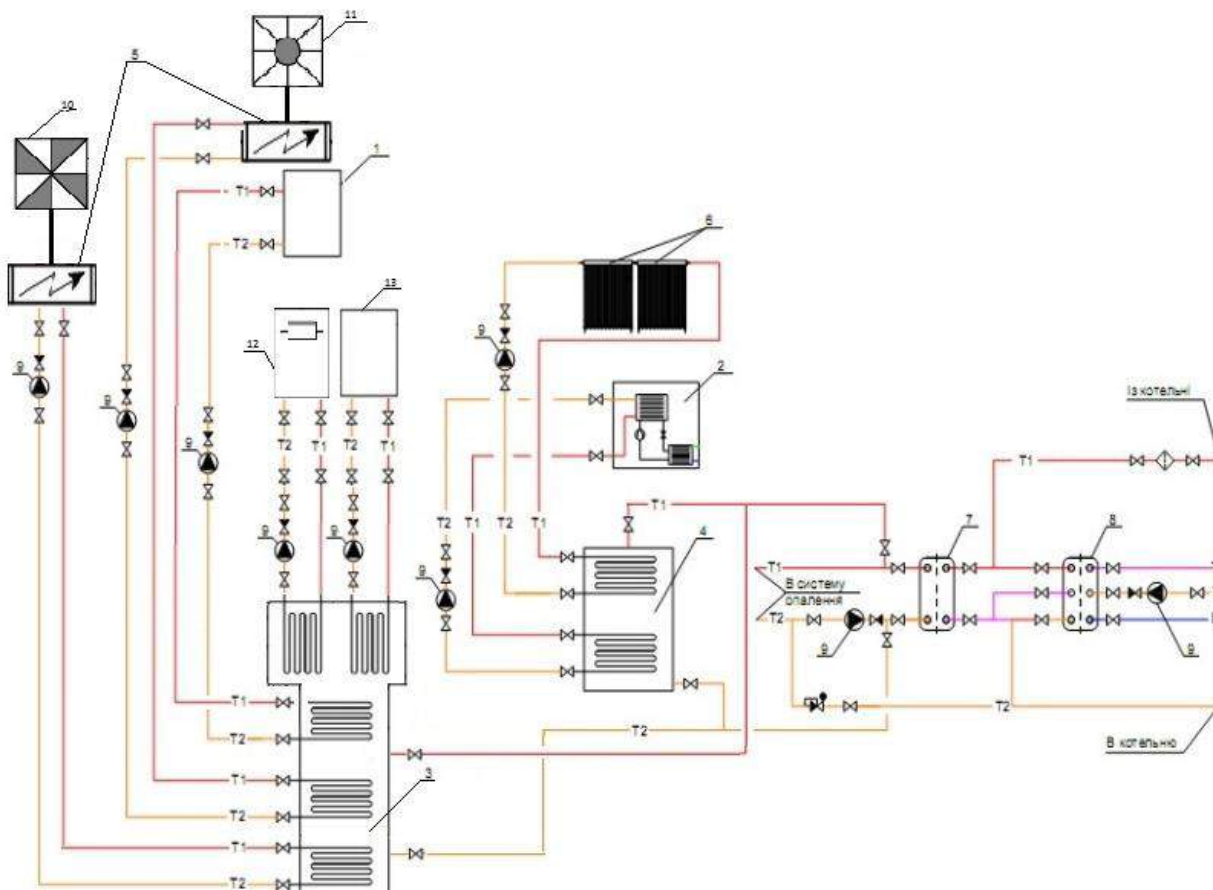


Рис. 1. Розрахункова схема системи теплоенергопостачання навчального корпусу ВНТУ з відновлюваними джерелами енергії

Умовні позначення на схемі: 1 – газовий конденсаційний котел; 2 – тепловий насос; 3, 4 – водонагрівач-акумулятор; 5 – електроводонагрівач; 6 – сонячні колектори; 7 – теплообмінник теплового пункту системи опалення; 8 – теплообмінник теплового пункту системи гарячого водопостачання; 9 – циркуляційні насоси; 10 – вітряна електростанція; 11 – сонячна електростанція; 12 – електричний котел; 13 – піролізний котел; T1, T2 – трубопроводи гарячої води для опалення; T3, T4 – трубопроводи гарячої води для гарячого водопостачання; B1 – господарсько-питний водогін.

Ставиться задача багатокритеріальної оптимізації потужностей джерел теплової та електричної енергії при заданих їх сумарних потужностях. Прийняті частинні критерії оцінки варіантів СТЕП наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Критерії оцінки варіантів конфігурації СТЕП

Критерії оцінки варіантів конфігурації СТЕП	Кращий рівень	Гірший рівень
X1 – Експлуатаційні затрати, млн.грн.		
X2 – Капіталовкладення, млн.грн.		
X3 – Термін окупності капіталовкладень, років		
X4 – Рівень шуму, дБ		
X5 – Викиди NO <sub>2</sub> , т		
X6 – Теплова потужність теплогенераторів, кВт		
X7 – Електрична потужність електрогенераторів, кВт		
X8 – Об'єм димових газів, млн. м <sup>3</sup>		
X9 – Вага устаткування, т		
X10 – Кількість золи, т		
X11 – Можливість використання в навчальному процесі, балів		

Задача розв'язується за допомогою розробленої програми, алгоритм якої складений за методом системного аналізу.

### Висновки

1. Розглянуті техніко-економічні показники варіантів системи теплоенергопостачання підприємства з відновлюваними джерелами енергії.
2. Сформульована задача багатокритеріальної оптимізації системи теплоенергопостачання з відновлюваними джерелами енергії навчального корпусу ВНТУ.
3. Розроблена програма для ЕОМ за алгоритмом методу системного аналізу для багатокритеріальної оптимізації системи теплоенергопостачання з відновлюваними джерелами енергії навчального корпусу ВНТУ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сафіуліна К. Р. Енергозбереження в університетських містечках / К. Р. Сафіуліна, А. Г. Колієнко, Р. Ю. Тормосов. — К. : ТОВ «Поліграф ПЛЮС», 2010. — 328 с.

2. Мазуренко А. С. Розробка пілотного проекту комбінованої системи тепlopостачання навчального корпусу ОНПУ з використанням відновлювальних джерел енергії та теплового акумулювання / А. С. Мазуренко, О. А. Климчук / Вісник КНУДТ, 2013. — № 6(74). — С. 65–67.

**Груба Марина Василівна** – студентка групи EM-15сп, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Головченко Олексій Михайлович** – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [aleksey.golovch@mail.ru](mailto:aleksey.golovch@mail.ru);

**Нанак Олена Миколаївна** – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [e\\_nanaka@rambler.ru](mailto:e_nanaka@rambler.ru).

**Gruba Maryna V.** – student of the group EM-15sp, Faculty of electric power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Golovchenko Olesiy M.** – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [aleksey.golovch@mail.ru](mailto:aleksey.golovch@mail.ru);

**Nanaka Olena M.** – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [e\\_nanaka@rambler.ru](mailto:e_nanaka@rambler.ru).

## ОПТИЧНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

**Анотація:** У даній роботі розглянуто та класифіковано основні методи вимірювання вологості сипучих порошкоподібних речовин з ціллю автоматизації процесу сушки продукції переробної галузі АПК. Розроблено рівняння перетворення

**Ключові слова:** контроль, метод, параметр, рівняння, перетворення.

**Annotation:** In-process this it is considered and classified the basic methods of measuring of humidity of friable matters with the purpose of automation of process of drying of products of processing industry of AIC. Developed conversion equations

**Keywords:** control, method, parameter, equation, transformation.

### Вступ

Дослідження проблематики вимірювання технологічних параметрів (особливо вологості сухих сипучих продуктів) в потоці (реальному часі), показує відсутність методів та засобів достовірного контролю. На основі запропонованого вимірювального перетворювача можливо реалізувати засоби контролю вологості [2]. Оскільки операції контролю передують операції вимірювання, то в основу побудови таких засобів контролю можна покласти як метод без-посередньої оцінки, так і відносний метод вимірювання.

### Результати дослідження

Якщо опромінювати об'єкт контролю від джерела світла в інфрачервоній області, то відбитий від нього промінь сприймається фотоприймачем, який перетворює випромінювання, що на нього поступило, в електричний сигнал. При цьому коефіцієнт відбиття від матеріалу (сировини) однозначно пов'язаний з контрольованим параметром такою залежністю [1]

$$\rho_x = (\rho_{\lambda_1} - W_x \cdot 10^{-3})$$

$\rho_{\lambda_1} = 0.87$  – коефіцієнт відбиття від матеріалу (сировини) ( $W_x = 0$ ).

Рівняння перетворення для вимірювального перетворювача [1]

$$U_{\phi} = \pi 10^{-4} \cdot \frac{S_{\phi} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \cdot \tau_{\lambda_1} \Phi}{l^2 L^2} \cdot W_x$$

### Висновки

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє підвищити точність і вірогідність безперервного вимірювального контролю технологічних параметрів, в процесі виробництва [3]. Запропоновано рівняння перетворення технологічного параметру в електричну величину.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Богачук В.В., Кухарчук В.В. Математична модель вимірювального перетворення вологості сипучих матеріалів в ІЧ-області // Автоматика – 2006: XIII Міжнародн. конф. з автоматичного управління. Вінниця, 25-28 вересня 2006 р. – Вінниця, 2006. – С.164.
2. Богачук В.В., Дмитрієв Ю.О., Кухарчук В.В. Засіб вимірювального контролю вологості сипучих матеріалів// Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т.1, №2. – С.241-245.
3. Кухарчук В.В. Кацев С.Ш., Богачук В.В., Говор І.К. Оцінка комбінованої стандартної невідзначеності вимірювань вологості сипучих матеріалів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №3. – С. 59-66.

**Богачук Володимир Васильович** — канд. техн. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет

**Vladimir V Bohachuk** — Cand. Sc. (Eng), Department of renewable energy and transportation systems and electrical systems (VETESK), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia



## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОБТІКАЧІВ ДЛЯ БЕЗРЕДУКТОРНИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Показано, що використання обтікачів для безредукторної вітроенергетичної установки з горизонтальною віссю обертання дозволяє більш ефективно використовувати вітровий потік.*

**Ключові слова:** вітроенергетична установка, горизонтальна вісь обертання, обтікач, вітровий потік.

### *Abstract*

*The paper shows that using fairing for gearless wind turbine with a horizontal axis of rotation allows increasing efficiency of wind flows utility.*

**Keywords:** wind turbine, horizontal axis of rotation, fairing, wind flow.

### Вступ

Останнім часом вітроенергетика набуває все більшого поширення та розвитку. Це пов'язано з тим, що вона є невід'ємною складовою світового енергетичного тренду – збільшення кількості альтернативних джерел енергії. Причому увага науковців прикута вже не лише до природних вітрів, а і до таких, що створюються, наприклад, залізничними потягами [1].

Вагоме місце серед вітроенергетичних рішень займають безредукторні вітроенергетичні установки (ВЕУ) [1], оскільки вони мають суттєві переваги над традиційними ВЕУ з редукторами (мультиплікаторами): зменшення втрат енергії (за рахунок уникнення механічної передачі редуктора), зменшення експлуатаційних витрат (адже не потрібно обслуговувати редуктор), збільшення надійності системи (за рахунок зменшення кількості складових).

Але у випадку розміщення генератора в центрі безредукторної ВЕУ набуває актуальності питання обтікання вітровим потоком, який набігає на вітроколесо, генератора. З іншого боку обтікач ускладнює та збільшує вартість системи. Тому в даній роботі вирішено дослідити ефективність використання обтікачів для безредукторної ВЕУ. Тобто, наскільки суттєвим є вплив обтікачів та чи можуть вони виправдати витрати на їх виготовлення та експлуатацію? Варто зауважити, що обтікачі можуть використовуватись і на звичайних редукторних ВЕУ, але, як правило, традиційні генератори та редуктори, у випадку розташування їх у центральній частині вітроколеса, мають відносно малі розміри та розміщуються у обтічних корпусах.

### Результати дослідження

Для розв'язання поставленої задачі було проведено експеримент, розділений на два частини – зняття показників роботи безредукторної ВЕУ з обтікачами та без обтікачів. На рисунку 1 показано вигляд експериментальної установки з обтікачами. Вітровий потік забезпечувався за рахунок трьох вентиляторів та формувача ламінарності потоку.

Результати експериментів представлені на рисунках 2 та 3. На рисунку 2 показана залежність обертового моменту  $M_{об}$  та коефіцієнта використання енергії вітру (КВЕВ) [2] від швидкохідності без використання обтікачів. А на рисунку 3 показані залежності обертового моменту  $M_{об}$  та КВЕВ від швидкохідності (з використанням обтікачів).



Рисунок 1 — Фотографії експериментальної установки



Рисунок 2 — Залежності обертового моменту  $M_{об}$  та КВЕВ від швидкохідності без використання обтікачів



Рисунок 3 — Залежності обертового моменту  $M_{об}$  та КВЕВ від швидкохідності з використанням обтікачів

Аналізуючи результати експерименту, легко визначити, що використання обтікачів дозволило збільшити коефіцієнт використання енергії вітру у 1,24 рази, що, в свою чергу, дозволить виробити більшу кількість електричної енергії. А з огляду на невеликі витрати на виготовлення обтікача, термін окупності його складе 5 місяців.

## Висновок

Встановлено, що використання обтікачів у безредукторних ВЕУ з горизонтальною віссю обертання та розташуванням генератора у центральній частині призводить до збільшення коефіцієнта використання енергії вітру в 1,24 рази, що, у свою чергу, призводить до збільшення кількості виробленої електроенергії та швидкої окупності обтікачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mokin O.B, Mokin B.I., Bazalytsky V.P. The Measuring System for Estimation of Power of Wind Flow Generated by Train Movement and Its Experimental Testing, *Energy and Power Engineering*, 2014, Vol. 6, 333-339 pp., Режим доступу: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=50351>
2. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. — М. : ГНУ Всероссийский НИИ электромеханики, 2006. — 276 с.

**Олександр Борисович Мокін** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів (ВЕТЕСК), Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Віктор Васильович Горенюк** — інженер 1-ї категорії кафедри ВЕТЕСК, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Вадим Вікторович Горенюк** — студент групи 2ЕМ-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gvv.ghost@gmail.com;

**Василь Васильович Марчук** — студент групи 2ЕМ-12б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vntu0312014@gmail.com;

Науковий керівник: **Олександр Борисович Мокін** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри ВЕТЕСК, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Mokin Oleksandr B.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes (RETESC), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Gorenyuk Victor V.** — Engineer (1-th category) of RETESC, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Gorenyuk Vadym V.** — student of the Faculty of Electric Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : gvv.ghost@gmail.com;

**Marchuk Vasyl V.** — student of the Faculty of Electric Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : vntu0312014@gmail.com;

Supervisor: **Mokin Oleksandr B.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of RETESC, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСОМ ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Сформовані рекомендації щодо вибору параметрів регулятора насоса при проектуванні. Наведені залежності впливу параметрів регулятора насоса на час регулювання та перерегулювання. Моделювання перехідного процесу виконано в середовищі MATLAB Simulink.*

**Ключові слова:** гідропривод, мехатронна система, динамічні характеристики.

### *Abstract*

*Recommendations on the choice of pump regulator parameters at the design stage have been elaborated. Dependencies of the influence of pump regulator parameters on the regulation and overshooting time are presented. Transient process modelling is carried out in Matlab Simulink environment.*

**Keywords:** hydraulic drive, mechatronic system, dynamic characteristics.

### **Вступ**

До систем автоматичного регулювання (САР) пред'являють не тільки вимоги стійкості процесів регулювання. Для роботоздатності системи не менш важливо, щоб процес автоматичного регулювання здійснювався при забезпеченні певних показників якості процесу керування [1, 2].

Якщо досліджувана САР є стійкою, виникає питання про те, наскільки якісно відбувається регулювання в цій системі і чи задовольняє воно вимогам, що висуваються до об'єкта управління [3].

### **Результати дослідження**

У Вінницькому національному технічному університеті розроблена схема мехатронного гідропривода [4], до якого висуваються наступні вимоги:

- час регулювання  $t_p < 1.2$  с;
- перерегулювання  $\sigma < 70\%$ .

Для забезпечення даних вимог було досліджено вплив параметрів регулятора насоса в таких діапазонах:

- $K_x$  – коефіцієнт підсилення робочого вікна сервоклапана  $K_x=(1\dots 10) \cdot 10^{-3}$ м;
- $f_e$  – площа демпфера  $f_e=(0,5\dots 5,0) \cdot 10^{-6}$ м<sup>2</sup>;
- $f_x$  – площа дроселя  $f_x=(0,5\dots 5,0) \cdot 10^{-6}$ м<sup>2</sup>.

На рис. 1 та рис. 2 представлено вплив параметрів  $K_x$ ,  $f_e$ ,  $f_x$  на величину часу регулювання  $t_p$  та перерегулювання  $\sigma$  відповідно.

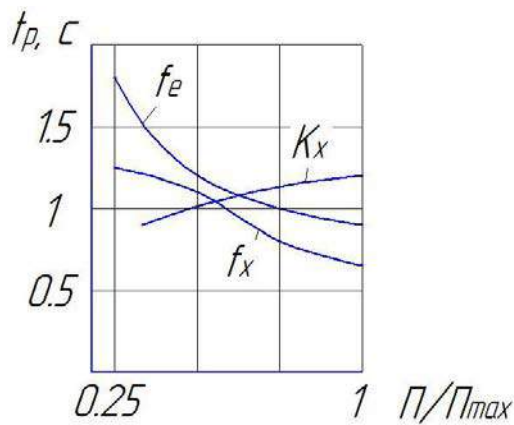


Рис. 1. Вплив параметрів регулятора насоса на час регулювання  $t_p$

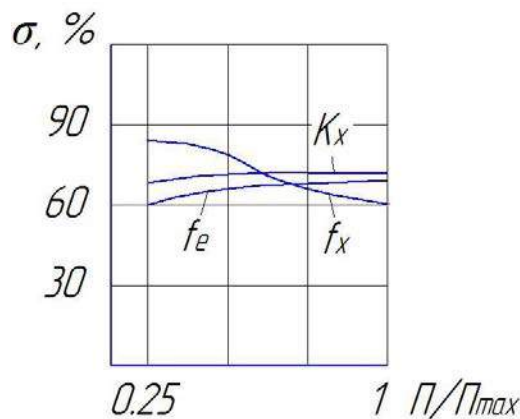


Рис. 2. Вплив параметрів регулятора насоса на перерегулювання  $\sigma$

### Висновки

Проаналізувавши отримані графіки можна сформулювати наступні рекомендації. При проектуванні регулятора насоса та виборі значень параметрів  $f_x$  та  $f_e$  слід орієнтуватися на значення параметра  $f_x$  з діапазону  $f_x=(2,5\dots5,0)\cdot 10^{-6}\text{м}^2$  та значення параметра  $f_e$  з діапазону  $f_e=(1\dots4)\cdot 10^{-6}\text{м}^2$ , які будуть задовольняти вимоги. Значення величини  $K_x$ , у дослідженому діапазоні, знаходиться в межах, які задовольняють поставлені вимоги.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Буренніков Ю. А. Вибір параметрів системи керування гідроприводом з насосом змінної продуктивності на основі дослідження його стійкості / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 6. – С. 211-217.
2. L. Kozlov Digital PD controller for dynamic correction of the differential component coefficient for a mechatronic hydraulic system / L. Kozlov// Tehnomus journal: Proceedings of the XVII<sup>th</sup> International Conference “New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies”. – Suceava, Romania, May 17 – 18, 2013. – P. 120 - 124.
3. Christoph Latour. Electrohydraulic Flow Matching: The next generation of load-sensing controls [Electronic Resource]. Mode of access: URL: [http:// www.machinedesign.com/](http://www.machinedesign.com/).
4. Товкач А. О. Характеристики гідропривода з електрогідравлічним регулятором подачі насоса / А. О. Товкач, В. В. Богачук, Л. Г. Козлов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6. – С. 67-72.

**Товкач Артем Олегович** — аспірант, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Lestatid@rambler.ru;

**Богачук Володимир Васильович** — к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Tovkach Artem** — post-graduate student of the Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Lestatid@rambler.ru;

**Bogachuk Volodymir** — Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Renewable Energetics and Transport Electric Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

