

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

Матеріали XLVI науково-технічної конференції  
підрозділів Вінницького національного  
технічного університету (НТКП ВНТУ–2017)

**15-24 березня 2017 року**

Збірник доповідей

Вінниця  
ВНТУ  
2017

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.

Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького  
М34 національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017) [Електронне  
мережне наукове видання] : збірник доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2017.

ISBN 978-966-641-742-1

Збірник містить тексти доповідей XLVI 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 978-966-641-742-1**

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2017

## Зміст

<b>НТК ВНТУ. Факультет електроенергетики та електромеханіки .....</b>	<b>2669</b>
<b>Пленарне засідання</b>	
<i>Володимир Кулик</i> ПІДСУМКИ З НАУКОВОЇ РОБОТИ ФАКУЛЬТЕТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ ЗА 2016 РІК .....	2670
<i>Вячеслав Комар</i> ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ .....	2692
<i>Олександр Бурикін</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 20 КВ В УКРАЇНІ .....	2695
<b>Секція електричних станцій і систем</b>	
<i>Володимир Вікторович Ніценко</i> ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ ЗБІРНИХ ШИН РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК .....	2698
<i>Андрій Олександрович Матвеев</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ .....	2703
<i>Олег Борисович Брухно</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ОЛИВНИХ ВИМИКАЧІВ .....	2705
<i>Віталій Романович Левонюк</i> АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ, ЩО СКЛАДАЄТЬСЯ З ЧОТИРЬОХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО АКТИВНО-ІНДУКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ .....	2708
<i>Андрій Михайлович Чехман</i> ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ .....	2710
<i>Владислав Олександрович Лесько, Анастасія Богданівна Урода</i> АКТИВНИЙ СПОЖИВАЧ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ: МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ. ....	2712
<i>Артур Віталійович Стець</i> ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК .....	2714
<i>Катерина Олександрівна Повстянко</i> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ АДРЕСНИХ ВТРАТ У БАЛАНСІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	2716
<i>Леонід Борисович Терешкевич, Олександр Олександрович Хоменко</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 КВ .....	2721
<i>Павло Вікторович Куценко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГАСІННЯ ДУГИ В ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧАХ .....	2724
<i>Андрій Сергійович Мельничук</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ШУНТУЮЧИХ РЕАКТОРІВ .....	2727
<i>Юрій Васильович Семенюк, Юлія Володимирівна Малогулко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ .....	2729
<i>Юлія Володимирівна Малогулко, Роман Леонідович Маньківський</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ .....	2732
<i>Владислав Анатолійович Гриник, Юлія Володимирівна Малогулко</i> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ .....	2735
<i>Віталій Васильович Хавтирко, Юлія Володимирівна Малогулко</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ .....	2739
<i>Ірина Анатоліївна Бартецька</i> РОБОТА РІЗНОТИПНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ .....	2743
<i>Артур Віталійович Стець</i> ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК .....	2744
<i>Віра Володимирівна Тетя, Дмитро Володимирович Шаповал</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАЛИХ ГЕС В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ .....	2746
<i>Вячеслав Комар</i> ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОГЕНЕРУВАННЯ ФЕС .....	2749
<i>Марія Сергіївна Костяєва</i> ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ АНАЛОГІЇ І ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ НАЙМЕНШОЇ ДІЇ .....	2752
<i>Максим Олександрович Гришук</i> АНАЛІЗ ПОШКОДЖУВАНOSTІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ .....	2755
<i>Володимир Кулик, Василь Кириченко</i> КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З РОЗПОДІЛЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ НА БАЗІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ .....	2758
<i>Олеся Василівна Власова</i> ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ, ЗУМОВЛЕНИХ ФУНКЦІОНУВАННЯМ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ .....	2764
<b>Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту</b>	
<i>Олександр Олексійович Хоменко, Леонід Борисович Терешкевич</i> ОСОБЛИВОСТІ ПОСТАНОВКИ ТА ВИРІШЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ .....	2767
<i>Леонід Терешкевич, Олександр Хоменко</i> ЗАДАЧІ ВНУТРІШНЬОГО СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО МАЮТЬ МІСЦЕ У ВУЗЛІ ЇХ ПІД'ЄДНАННЯ, ТА МЕТОД ДЛЯ ЇХ ВИРІШЕННЯ .....	2771
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Вячеслав Павлович Станіславов</i> АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТИЛЬНИКІВ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ КРИВОЇ РОЗПОДІЛУ ОСВІТЛЕНOSTІ .....	2774
<i>Дмитро Богданович Солоненко</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ХЛІБОПЕКАРНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ .....	2776
<i>Юрій Вікторович Ніколюк</i> ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВ ТА ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ. ....	2778
<i>Володимир Федорович Ступін</i> ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА .....	2780
<i>Сергій Русланович Гавришук</i> ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ .....	2782
<i>Андрій Олександрович Воробей</i> ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА .....	2784

<i>Михайло Володимирович Агафонов</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБУ «ПОШУК РІШЕННЯ» ЕЛЕКТРОННОГО ПРОЦЕСОРА EXCEL .....	2786
<i>Іван Миколайович Маліванчук</i> ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА КАР'ЄРАХ .....	2788
<i>Максим Вікторович Панасюк</i> ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ .....	2790
<i>Микола Юрійович Свіргун</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ .....	2792
<i>Ірина Володимирівна Валькова</i> ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЯК ЧИННИКИ СТАЛОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	2794
<i>Ігор Вікторович Сапун</i> СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМИ ІНВЕРТОРАМИ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З МРРТ (MAXIMUM POWER POINT TRACKING) .....	2796
<i>Максим Вікторович Панасюк</i> ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ .....	2799
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Анатолій Вікторович Ольшєвський</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛАНОК УПРАВЛІННЯ СПОЖИВАЧАМИ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ .....	2801
<i>Ярослав Анатолійович Янковецький</i> РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ З ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ФОРМИ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕНЬ М.ВІННИЦЯ .....	2803
<i>Олександр Дмитрович Демов, Марія Юрійівна Ситник</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК НА ГНІВАНСЬКОМУ ЗАВОДІ «СПЕЦЗАЛІЗОБЕТОНУ» .....	2808
<i>Олександр Дмитрович Демов, Марина Вікторівна Огороднік</i> ПОЕТАПНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	2810
<i>Юлія Андріївна Шулле</i> РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID ЧЕРЕЗ ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ .....	2812
<i>Микола Юрійович Свіргун</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ .....	2814
<i>Ірина Володимирівна Валькова</i> ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЯК ЧИННИКИ СТАЛОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	2816
<i>Юрій Анатолійович Лобатюк</i> ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ SCILAB ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ .....	2818
<i>Михайло Йосипович Федорів</i> ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУРИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ .....	2820
<i>Сергій Михайлович Левіцький</i> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РЕГУЛЯТОРІВ СТРУМУ МЕРЕЖЕВИХ ІНВЕРТОРІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ .....	2823
<i>Юрій Васильович Лобода</i> ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИЧНИХ СИНХРОННИХ КОМПЕНСАТОРІВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ .....	2827
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Микола Володимирович Радзієвський</i> ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ ДЛЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	2829
<b>Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань</b>	
<i>Валерій Федорович Граняк</i> ОПОСЕРЕДКОВАНИЙ МАГНІТНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН .....	2831
<i>Андрій Миколайович Коваль</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА .....	2834
<i>Тетяна Вікторівна Савенчук</i> РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ З СИНУСОЇДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ НАПРУГИ .....	2837
<i>Володимир Сергійович Голодюк</i> АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО СЕНСОРА ВІБРАЦІЙ .....	2840
<i>Ігор Костянтинівич Говор, Леонід Андрійович Байда, Володимир Сергійович Голодюк</i> БЕЗКОНТАКТНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ МІКРОСХЕМ MELEXIS™ MLX90129 ПРИ ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН .....	2842
<i>Ігор Костянтинівич Говор, Леонід Андрійович Байда, Володимир Сергійович Голодюк</i> ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСХЕМИ MELEXIS™ MLX90129 ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН .....	2844
<i>Олександр Кіянюк</i> ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ НА ЗАТИСКАЧАХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ .....	2846
<i>Валерій Федорович Граняк, Владислав Михайлович Лисий</i> БЕЗКОНТАКТНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ЗГАСАННЯ ЛЮМІНОФОРУ .....	2849
<b>Секція електромеханічних систем автоматизації</b>	
<i>Вадим Сергійович Бомбик</i> ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ БАГАТОРІВНЕВИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ ПРИ РОБОТІ З СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ .....	2851
<i>Сергій Миколайович Бабій, Аліна Миколаївна Ратушина</i> МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB .....	2853
<i>Микола Миколайович Мошноріз, Максим Борисович Боднарєвський</i> НОВІ МОЖЛИВОСТІ MATLAB 2016 ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ .....	2856
<i>Микола Миколайович Мошноріз, Фабрісіо Бакеро Лопес, Микола Омелянович Казак</i> РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ (ГІДРАВЛІЧНА ЧАСТИНА) .....	2858
<i>Альфредо Утрерас Альбуха, Микола Омелянович Казак, Микола Миколайович Мошноріз</i> РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ (ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА) .....	2860

<i>Юрій Володимирович Шевчук, Олександр Миколайович Стаднік</i> ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА З ВИКОРИСТАННЯМ «HARDWARE IN THE LOOP» ПІДХОДУ .....	2862
<i>Кумуш Борджакова</i> ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ІНВЕРТОРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОНОГО ДВИГУНА .....	2865
<i>Андрій Гнатюк, Дмитро Петрович Проценко, Юрій Володимирович Шевчук</i> ВІДНОВЛЕННЯ МАЙСТЕРНІ МЕТАЛООБРОБКИ В ЛАБОРАТОРІЇ КАФЕДРИ ЕМСАПТ .....	2867
<i>Олег Васильович Дідушок</i> ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОТІЛЬНОГО ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ .....	2869
<i>Андрій Бартецький</i> ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ .....	2871
<b>Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів</b>	
<i>Артем Олєгович Товкач, Володимир Васильович Богачук</i> ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДА .....	2873
<i>Олександр Борисович Мокін, Борис Іванович Мокін, Віталій Анатолійович Лобатюк</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ЯКОСТІ ТЯГОВИХ УСТАНОВОК ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ .....	2877
<i>Василь Васильович Марчук</i> АНАЛІЗ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ .....	2881
<i>Іван Миколайович Маліванчук, Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОПАЛИВНИХ ДВИГУНІВ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА НОМІНАЛЬНОМУ ТА ЧАСТКОВИХ РЕЖИМАХ НАВАНТАЖЕНЬ .....	2883
<i>Сергій Русланович Гавришук, Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ .....	2885
<i>Марина Вікторівна Огороднік, Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака</i> СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ .....	2887
<i>Марія Юріївна Москвічова, Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака</i> НАПРЯМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ЕНЕРГОБЛОКУ ЛАДИЖИНСЬКОЇ ТЕС .....	2890
<i>Олександр Анатолійович Паянок</i> СХЕМИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСА ІЗ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ НА БОРТУ .....	2893
<i>Олександр Анатолійович Паянок, Михайло Дмитрович Майданський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІБРИДНОГО МІСЬКОГО АВТОМОБІЛЯ .....	2895
<i>Вадим Вікторович Горенюк</i> ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІТРО-ЕНЕРГЕТИЦІ .....	2898
<i>Борис Іванович Мокін, Олег Борисович Михайлюк</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОНІЗОВАНИХ СИНХРОННИХ МАШИН В ЯКОСТІ ГЕНЕРАТОРІВ МАЛИХ ГЕС І ВЕС .....	2900
<i>Людмила Михайлівна Мельничук</i> ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ .....	2904
<i>Ярослав Васильович Бацала</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ЛОКАЛЬНОЮ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ .....	2906

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

### **Оргкомітет**

#### **Голова оргкомітету**

В. О. Леонт'єв, 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 У 2016 РОЦІ**

## СКЛАДОВІ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ НАУКОВОЇ РОБОТИ НА ФАКУЛЬТЕТІ

- **Наявність кваліфікованих та креативних науковців**, наукових шкіл та наукових колективів, що об'єднані вирішенням актуальних наукових та науково-прикладних проблем;
- **Наявність доступу до інформаційного простору** з відомостями щодо обраного напрямку досліджень, публікаціями вітчизняних та закордонних науковців;
- **Матеріально-технічне забезпечення** процесу наукових досліджень, наявність необхідного обладнання та програмного забезпечення;
- **Рекламування наукових результатів** та практичних розробок (серед іншого, шляхом опублікування результатів у провідних фахових виданнях України та інших країн) для встановлення зв'язків щодо співробітництва, фінансування та впровадження результатів досліджень;
- **Наявність зв'язків з підприємствами та організаціями**, які зацікавлені у вдосконаленні своєї роботи та здатні фінансувати науково-прикладні дослідження й згодні з супутніми ризиками;
- **Наявність бази для впровадження результатів досліджень** – підприємств та організацій, згодних з ризиками, що пов'язані з впровадженням нових засобів та технологій;
- **Наявність осіб, які бажають і здатні** займатися науковими дослідженнями;



# РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ Д.Т.Н., ПРОФЕСОРІВ ФЕЕЕМ ЗА 2014-2016 рр.

2

ПІП	2014 рік				2015 рік				2016 рік									
	Магіс-три	к.т.н.	Д.т.н.	Моно-графії	Член спец-ради (ДАК, МОН)	Член експ. рад (ДАК, МОН)	Магіс-три	к.т.н.	Д.т.н.	Моно-графії	Член спец-ради	Член експ. рад (ДАК, МОН)	Магіс-три	к.т.н.	Д.т.н.	Моно-графії	Член спец-ради	Член експ. рад (ДАК, МОН)
Грабко В. В.	-	-	-	-	2	1	-	-	-	1	1	2	-	-	-	2	1	2
Мокін Б. І.	3	-	-	-	2	1	1	-	-	1	2	1	1	-	-	1	2	1
Мокін О. Б.	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
Кухарчук В. В.	-	1	-	2	1	1	1	-	-	2	1	2	-	-	-	-	1	2
Лежнюк П. Д.	3	3	-	3	2	1	-	1	2	2	2	1	-	-	-	-	2	1
Кутін В. М.	-	-	-	-	1	-	1	-	2	1	1	-	-	-	1	-	1	-
Бурбело М. Й.	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
Хома О. І.	-	-	-	2	1	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1
Ратніков В. С.	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-

## ПОЧЕСНІ ЗВАННЯ:

1. Заслужений діяч науки і техніки України
2. Заслужений діяч науки і техніки України
3. Лауреат державної премії Ради Міністрів СРСР

## ЧЛЕНИ НМК ТА ЕКСПЕРТИ НАУКОВО-ЕКСПЕРТНИХ РАД МОН УКРАЇНИ

1. Заступник голови НМК з електротехніки та електротехнологій  
- Д.Т.Н., проф. Лежнюк П.Д.
2. Член НМК з електромеханіки  
- Д.Т.Н., проф. Грабко В.В.
3. Член науково-експертної ради МОН України з інформатики  
- Д.Т.Н., проф., академік Мокін Б.І.
4. Член науково-експертної ради МОН України з приладобудування  
- Д.Т.Н., проф. Кухарчук В.В.
5. Член науково-експертної ради МОН України з енергозбереження  
- Д.Т.Н., проф. Лежнюк П.Д.
6. Член експертної ради ДАК України  
- Д.Т.Н., проф. Кухарчук В.В.

## ЧЛЕНИ МІЖНАРОДНИХ ФАХОВИХ ОРГАНІЗАЦІЙ

1. IEEE Senior Member  
- Д.Т.Н., проф., академік Мокін Б.І.
2. IEEE Senior Member  
- Д.Т.Н., проф. Лежнюк П.Д.
3. IEEE Member  
- Д.Т.Н., проф. Мокін О.Б.

## НАУКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ФЕЕЕМ СТАНОМ НА 2016 р.

3

Показники	Статус підрозділу	Випускні кафедри (ЕСС, ЕСЕЕМ, ВЕТЕСК, ЕМСАПТ)	Загально-університетські кафедри (ТЕЕВ, ФГП)	Всього
Викладачів		51	29	81
Доктори наук (% від виклад.)		7 (14%)	3 (10%)	10 (12%)
Кандидати наук (% від виклад.)		38 (75%)	13 (45%)	51 (63%)
Аспіранти (з відр. / без відр.)		6/3	0/0	6/3
Докторантів		2	0	2
Працюють над канд. дис., (у тому числі аспіранти)		18(9)	3(0)	21(9)
Працюють над докт. дис., (у тому числі докторанти)		5(2)	0/0	5(2)

### ЗАВЕРШИЛИ НАВЧАННЯ У ДОКТОРАНТУРІ:

- Бондаренко Є.А. – наук. консультант д.т.н. Кутін В.М.
- Бевз С.В. – наук. консультант д.т.н. Мокін Б.І.

### НАВЧАЮТЬСЯ У ДОКТОРАНТУРІ:

- Комар В.О. – наук. консультант д.т.н. Лежнюк П.Д.
  - Бурикін О.Б. – наук. консультант д.т.н. Кулик В.В.
- ПРАЦЮЮТЬ НАД ДОКТОРСЬКИМИ ДИСЕРТАЦІЯМИ:**
- Розводюк М.П. – наук. консультант д.т.н. Мокін Б.І.
  - Ткаченко О. М. – наук. консультант д.т.н. Мокін Б.І.
  - Пісклярова А. В. – наук. консультант д.т.н. Мокін Б.І.

**НА ФАКУЛЬТЕТІ УСПІШНО ПРАЦЮЄ СПЕЦІАЛІЗОВАНА РАДА  
К 05.052.05 ПО ЗАХИСТУ КАНДИДАТСЬКИХ ДЕСЕРТАЦІЙ  
ЗА ДВОМА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ**

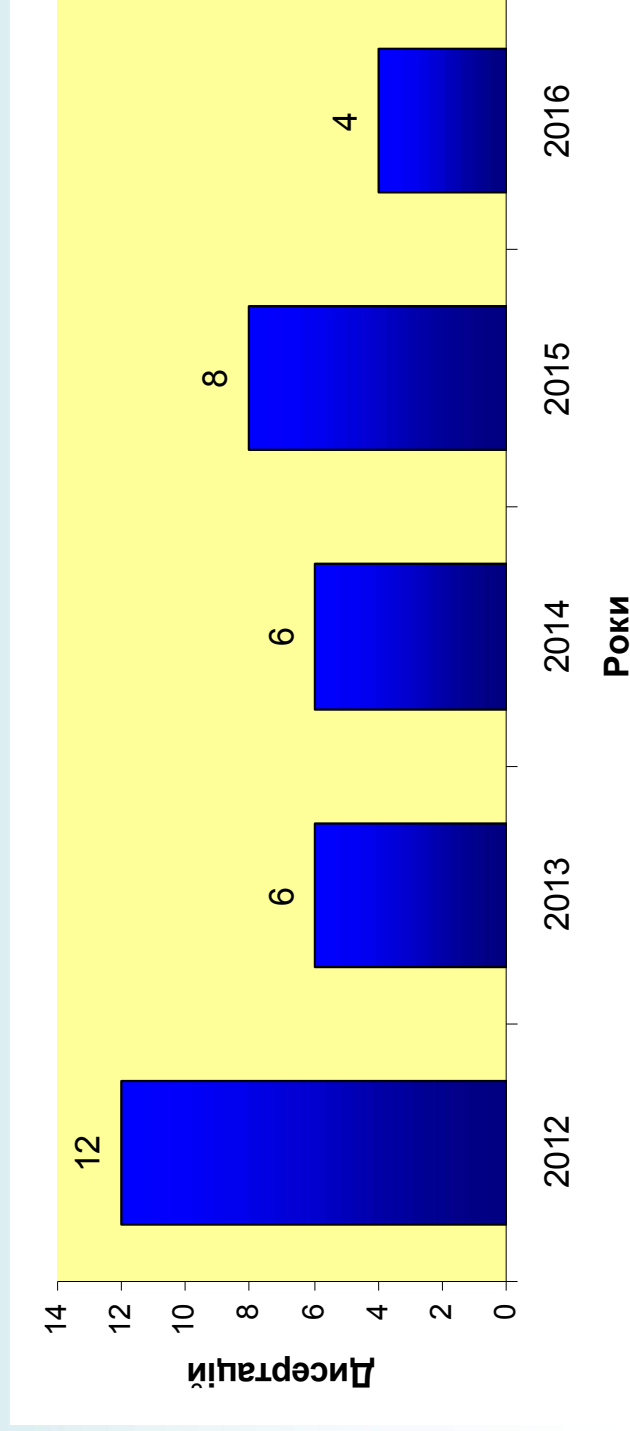
**4**

**05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи**

**05.14.02 – електричні станції, мережі і системи**

**Голова спеціалізованої ради – Д.Т.Н., проф. Лежнюк П.Д.  
Вчений секретар – Д.Т.Н., доц. Кулик В.В.**

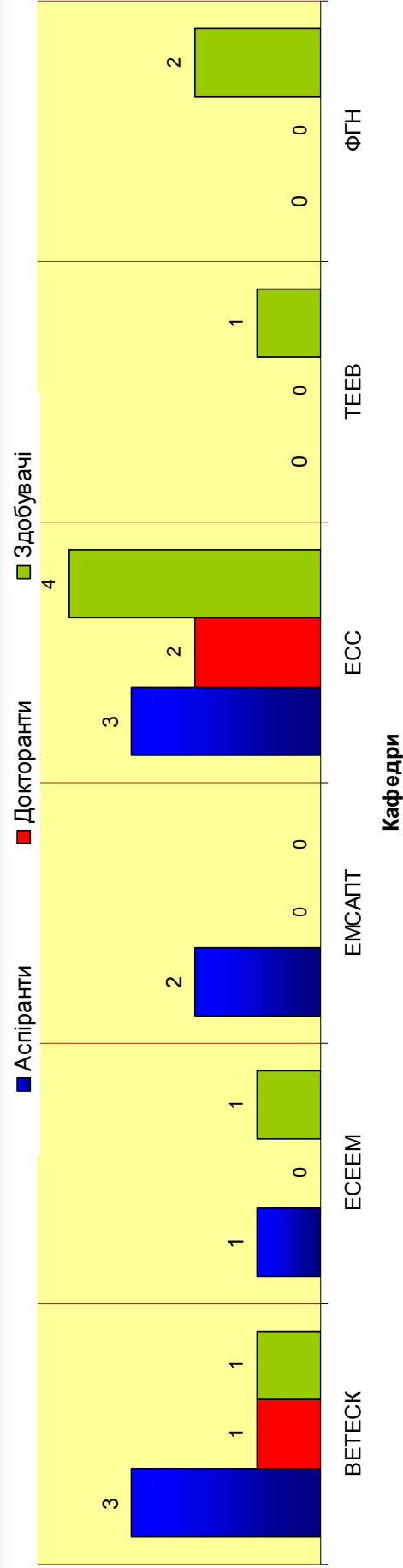
**За період існування Ради захищено 67 дисертацій, з них:**



**За 2016 р. не було жодного захисту наших аспірантів!**

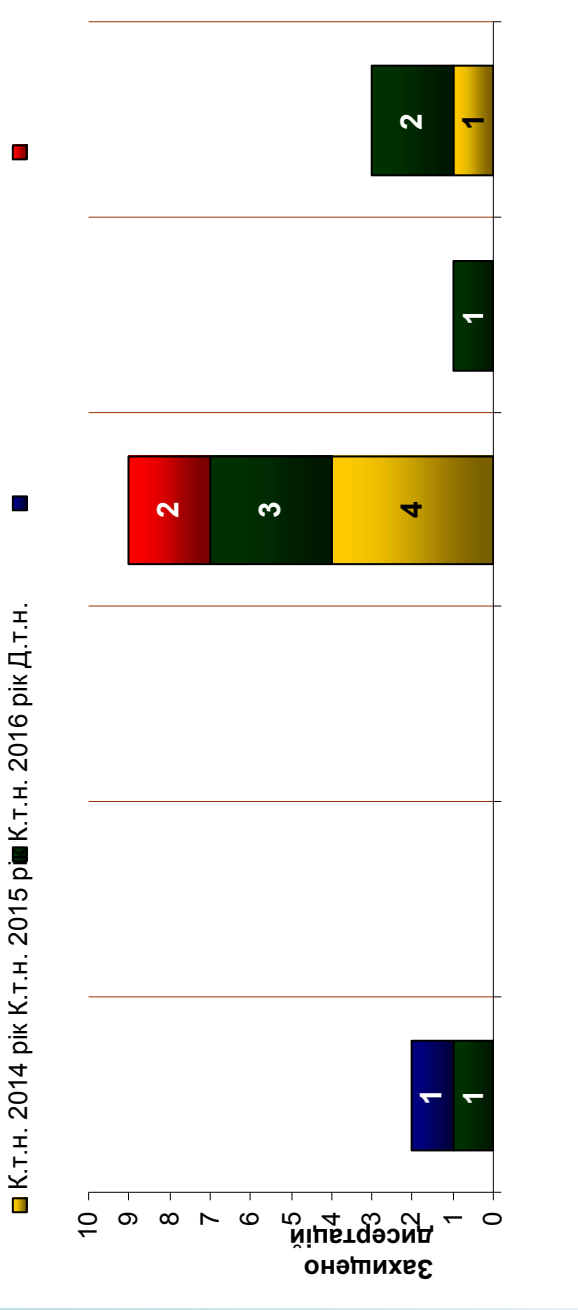
## НА ФАКУЛЬТЕТІ УСПІШНО ПРАЦЮЮТЬ НАУКОВІ НАПРЯМКИ

1. Математичні моделі та засоби діагностування та керування силовим електрообладнанням (керівник – Д.Т.Н., проф. Грабко В.В.).
2. Діагностування електрообладнання та технологія відновлення електрообладнання під робочою напругою (керівник – Д.Т.Н., проф. Кутін В.М.);
3. Метрологія та вимірювання (керівник – Д.Т.Н., проф. Кухарчук В.В.);
4. Автоматизація оптимального керування режимами електроенергетичних систем на основі методів теорії подібності (керівник – Д.Т.Н., проф. Лежнюк П.Д.);
5. Математичні моделі процесів в складних системах та системи автоматичного і автоматизованого керування цими процесами (керівник – Д.Т.Н., проф., академік Мокін Б.І.);
6. Моделювання та оптимізація руху електричних транспортних засобів (керівник – Д.Т.Н., проф. Мокін О.Б.);
7. Схоластична філософія, філософія XVI–XVIII ст., сучасна французька філософія, неперекладність філософських термінів. (керівник – Д.Т.Н., проф. Хома О.І.).

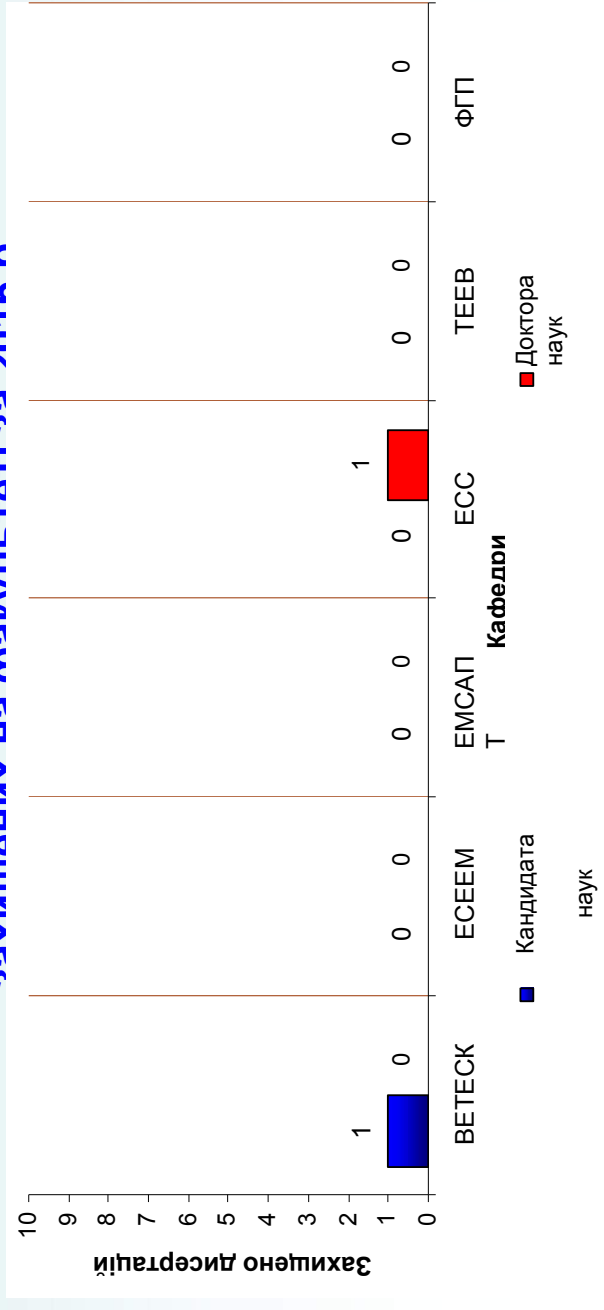


# ПІДГОТОВКА НАУКОВИХ КАДРІВ

Кількість дисертацій, захищених на факультеті протягом 2014-2016 р.р.

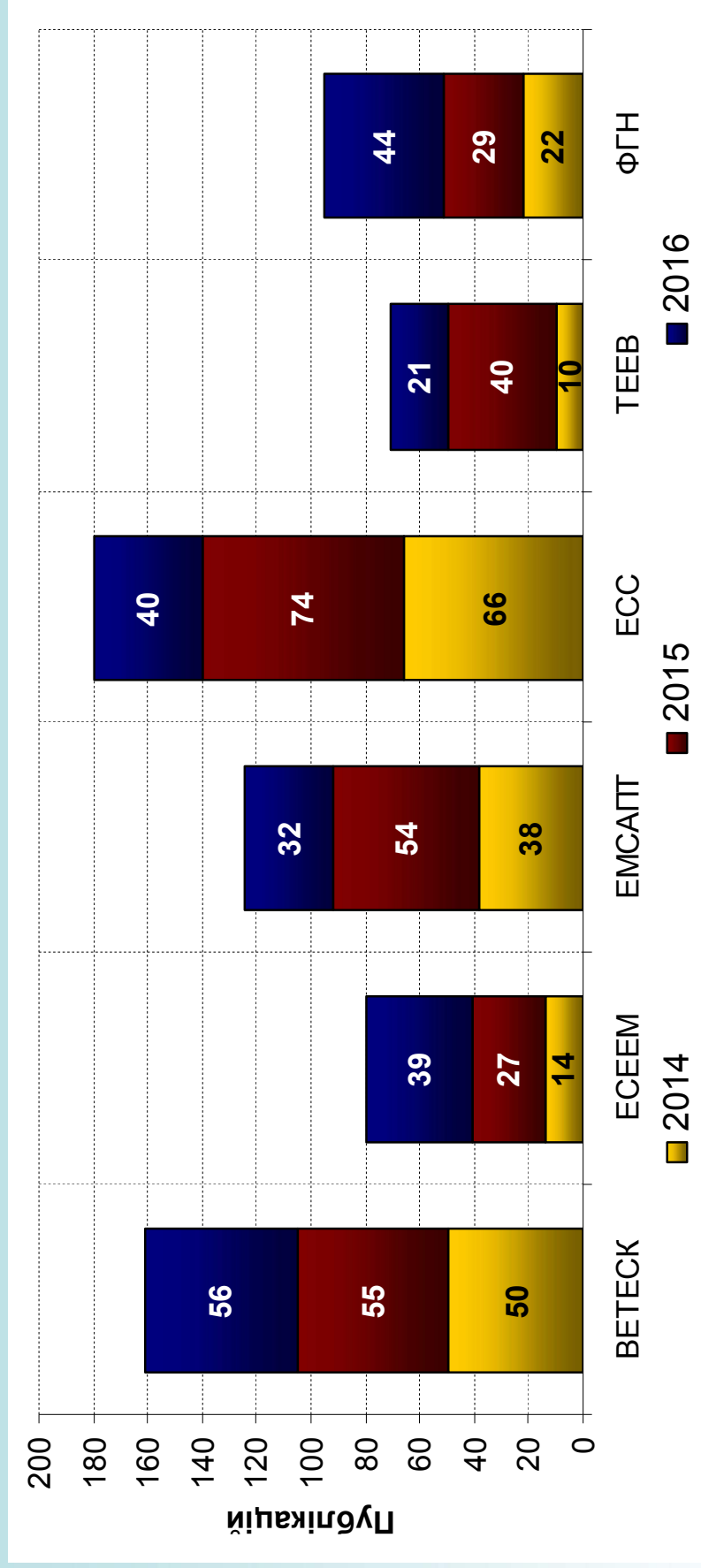


## Захищено дисертацій на факультеті за 2016 н



## ПУБЛІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (монографії, статті, тези доповідей, патенти)

7

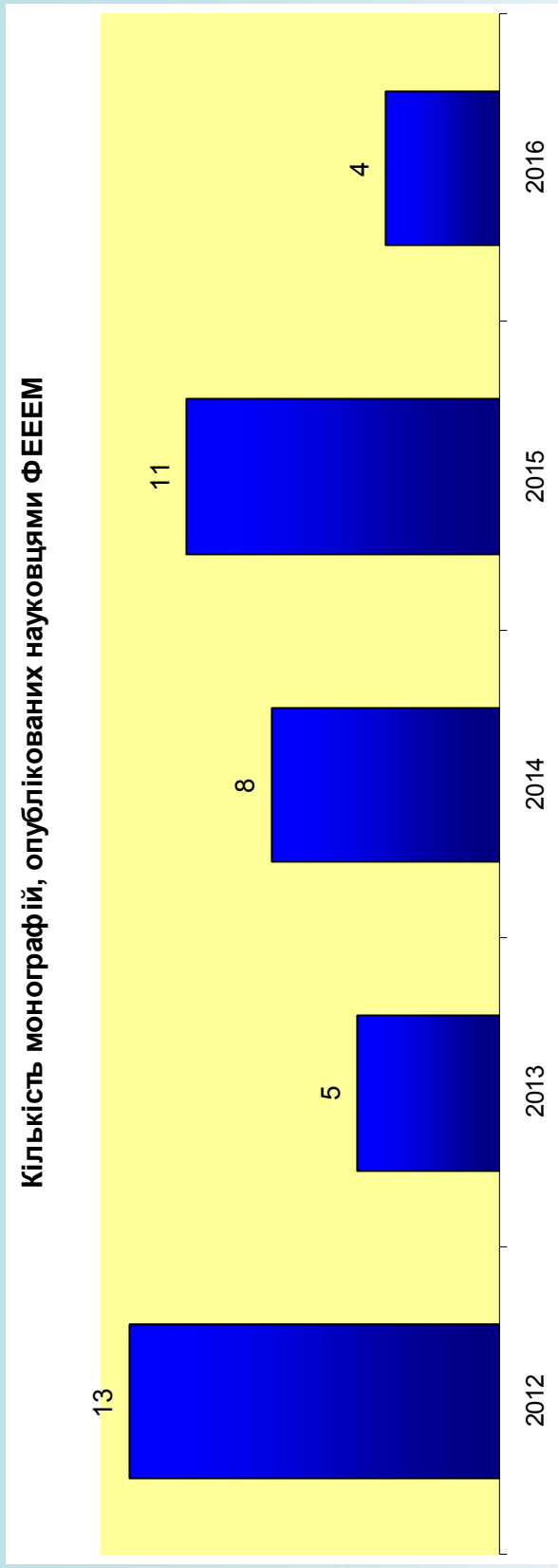


Опубліковано більше 700 наукових праць

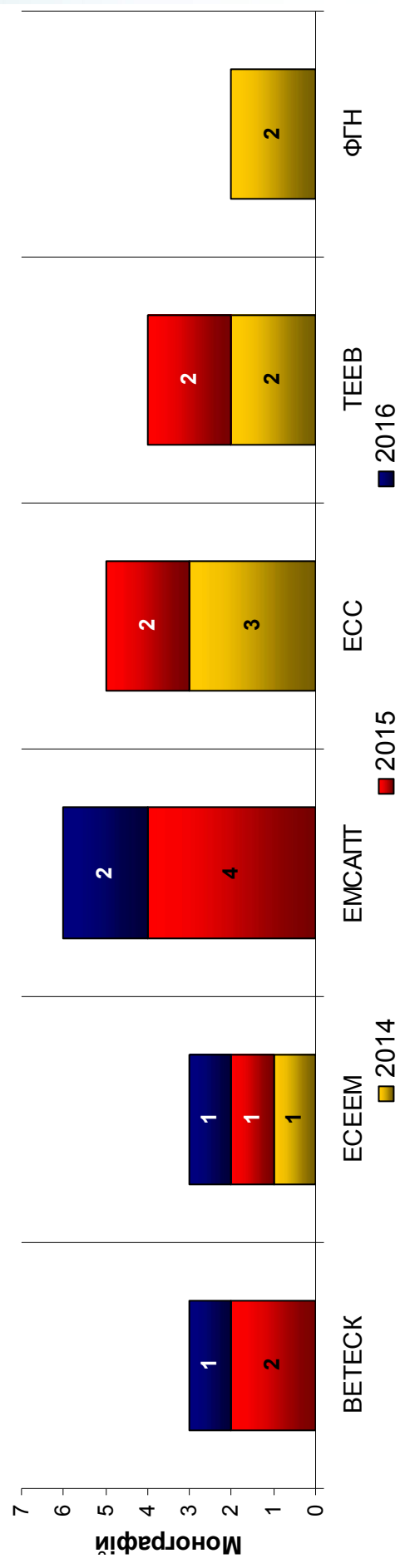
З них: 23 монографії, 6 підручників та 48 навчальних посібників,  
324 статті (в т.ч. 25 – зі студентами), з яких: 216 – у фахових виданнях, 218 – у  
виданнях, що внесені до наукометричних баз даних

# ПУБЛІКАЦІЯ МОНОГРАФІЙ

8

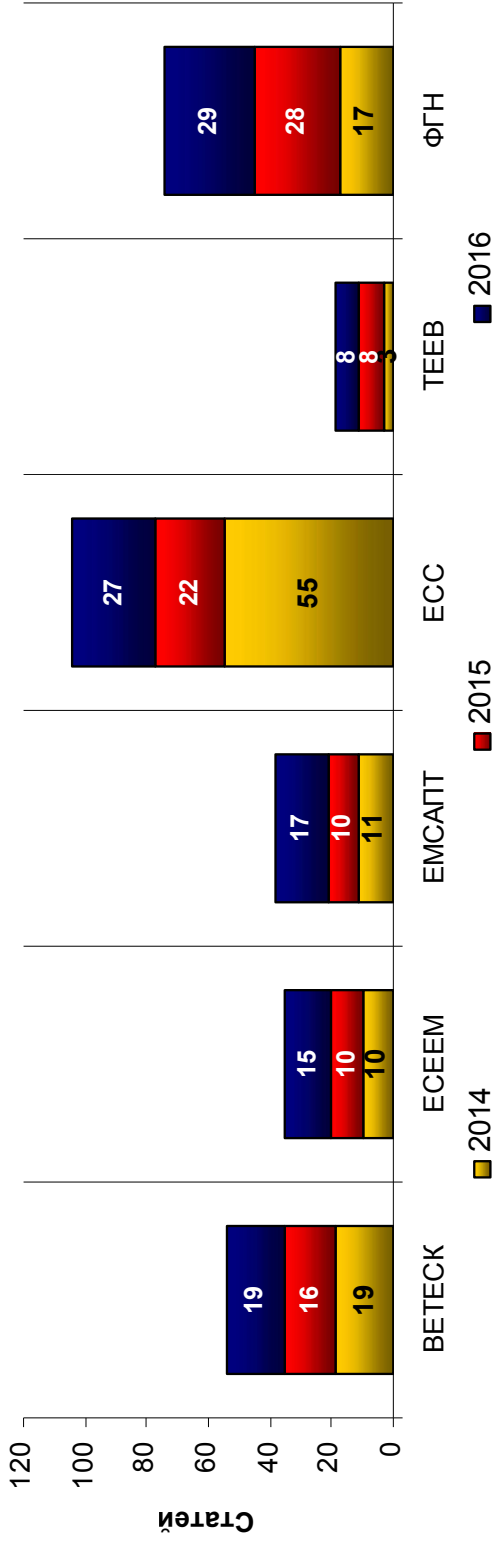


Кількість монографій, виданих по кафедрах за 2014-2016 р.р.

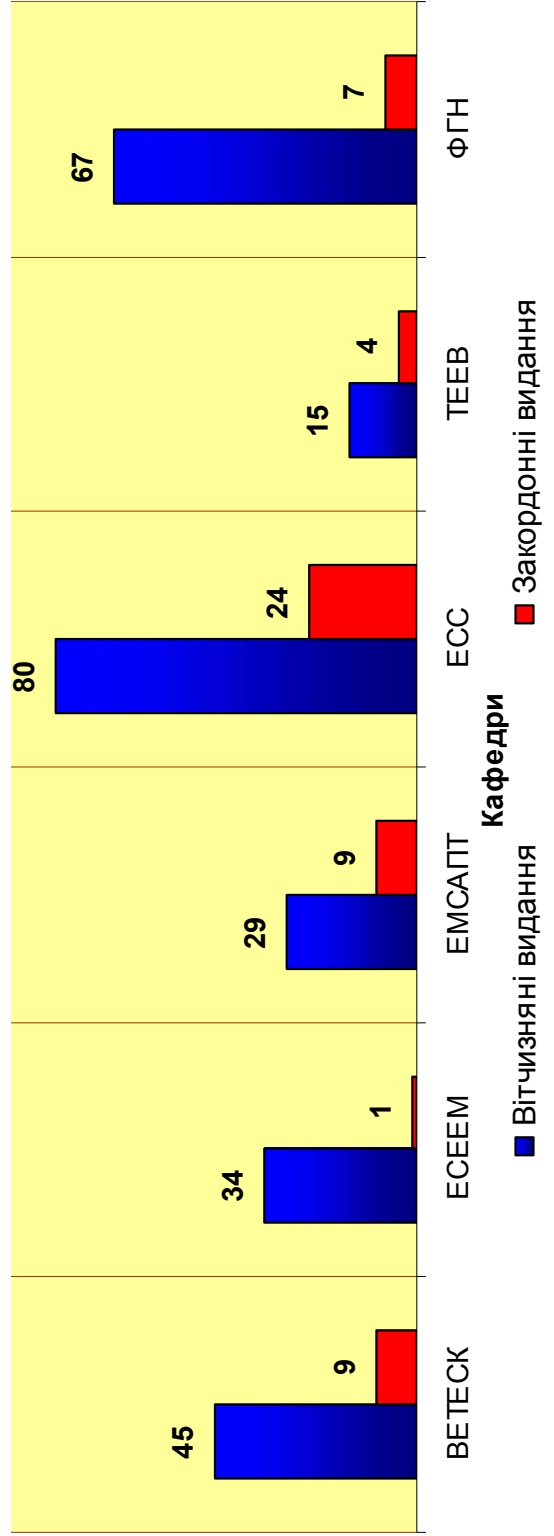


# ПУБЛІКАЦІЯ НАУКОВИХ СТАТЕЙ

Видано статей



Статті у вітчизняних та закордонних виданнях протягом 2014-2016 р.р.

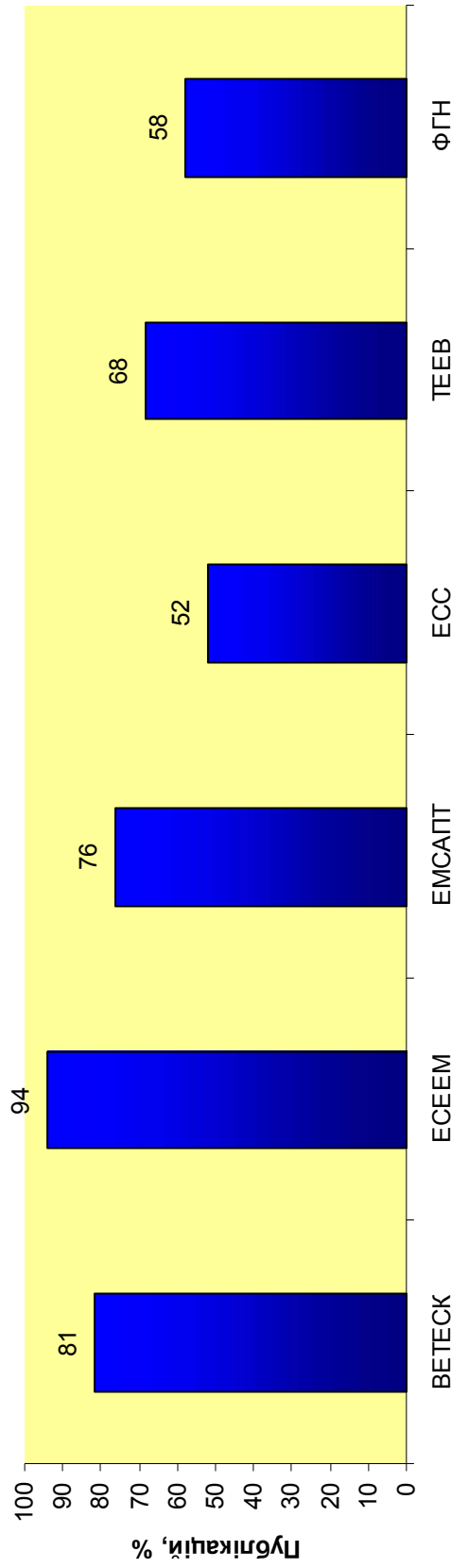




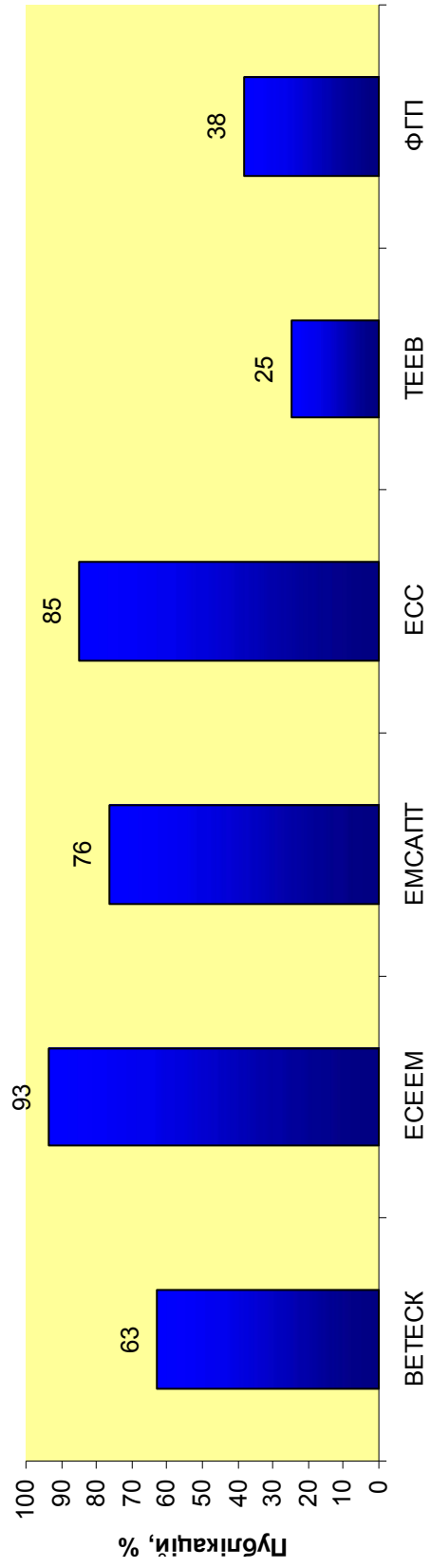
# ОПУБЛІКУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ У ФАХОВИХ ВИДАННЯХ

10

Публікації у фахових виданнях України протягом 2014-2016 р.р. (%)

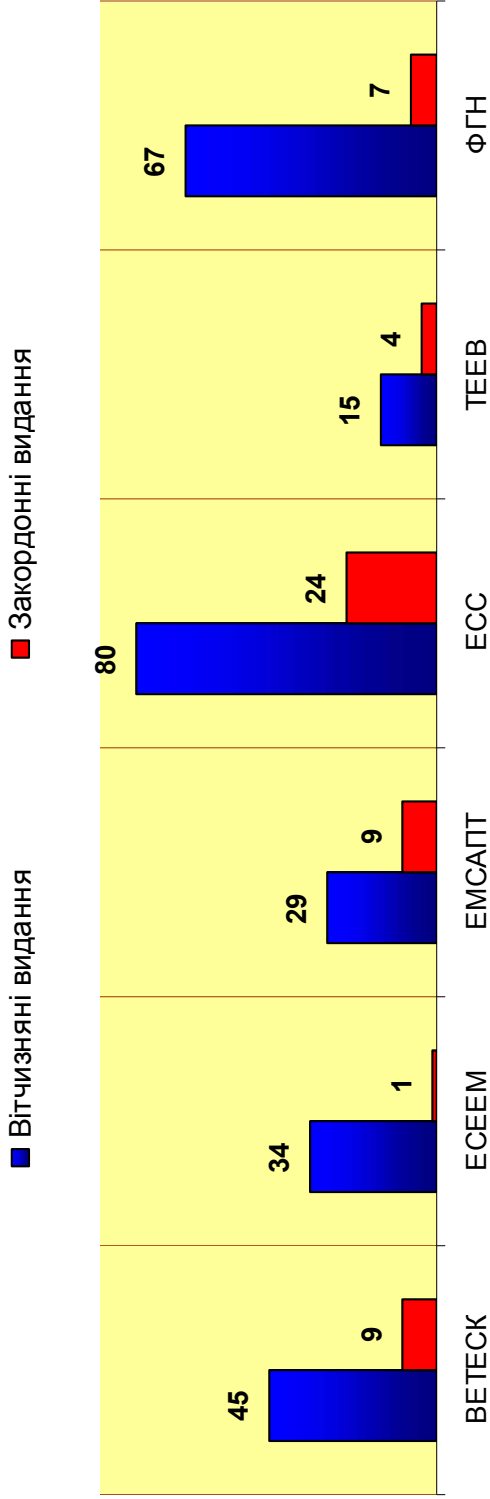


Публікації у фахових виданнях України за 2016 р. (%)

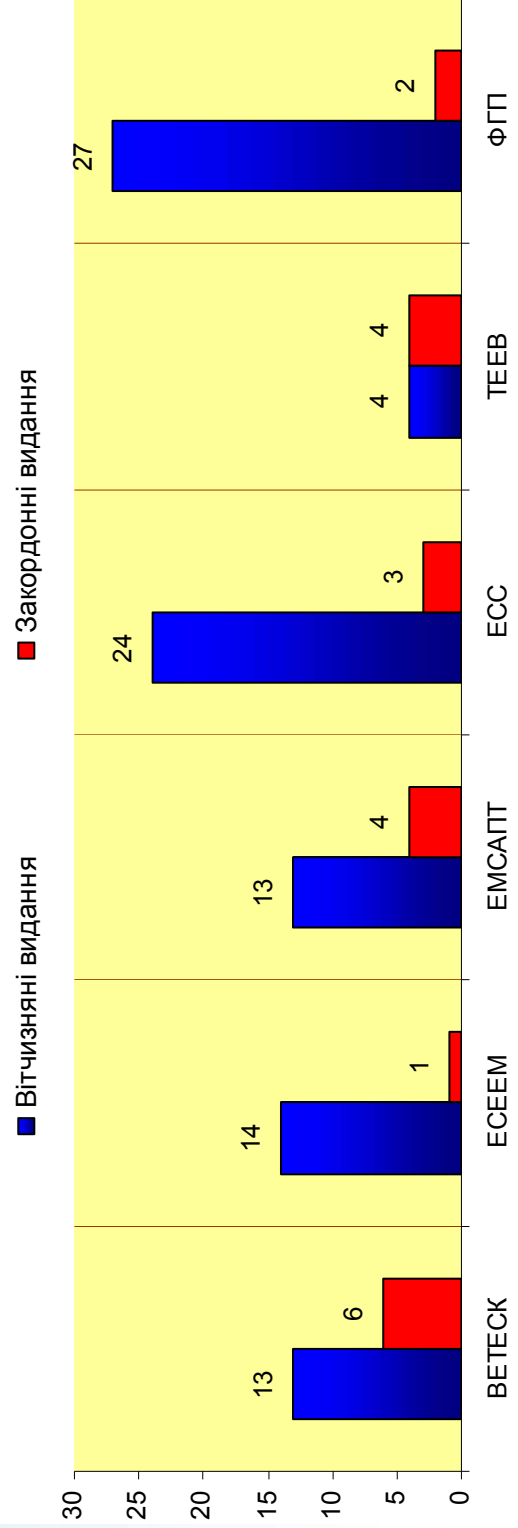


## ОПУБЛІКУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ У ЗАКОРДОННИХ ВИДАННЯХ

Статті у вітчизняних та закордонних виданнях протягом 2014-2016 р.р.

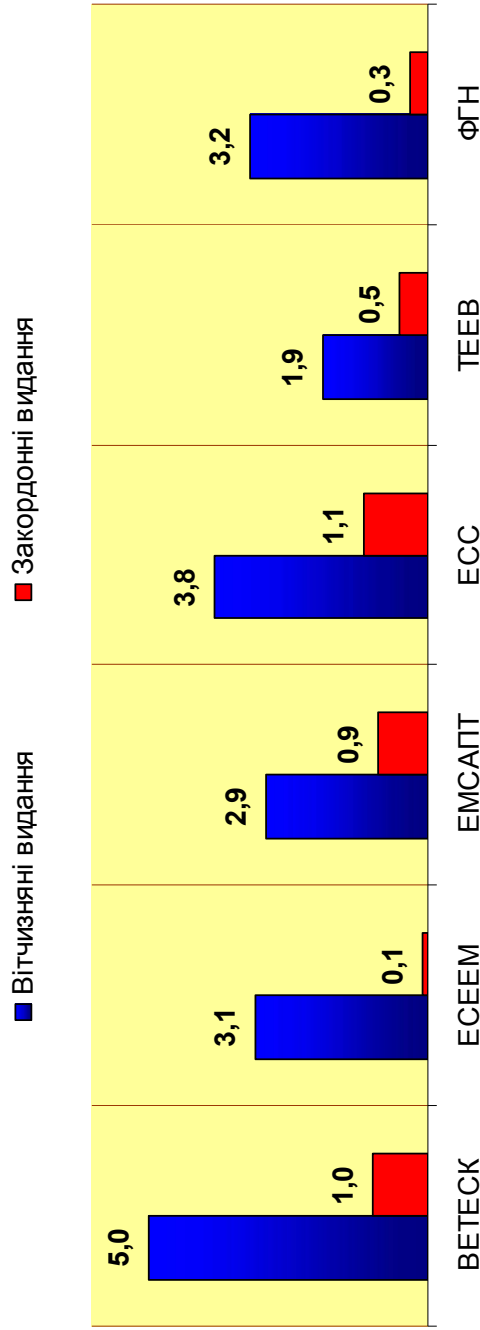


Статті у вітчизняних та закордонних виданнях за 2016 р.

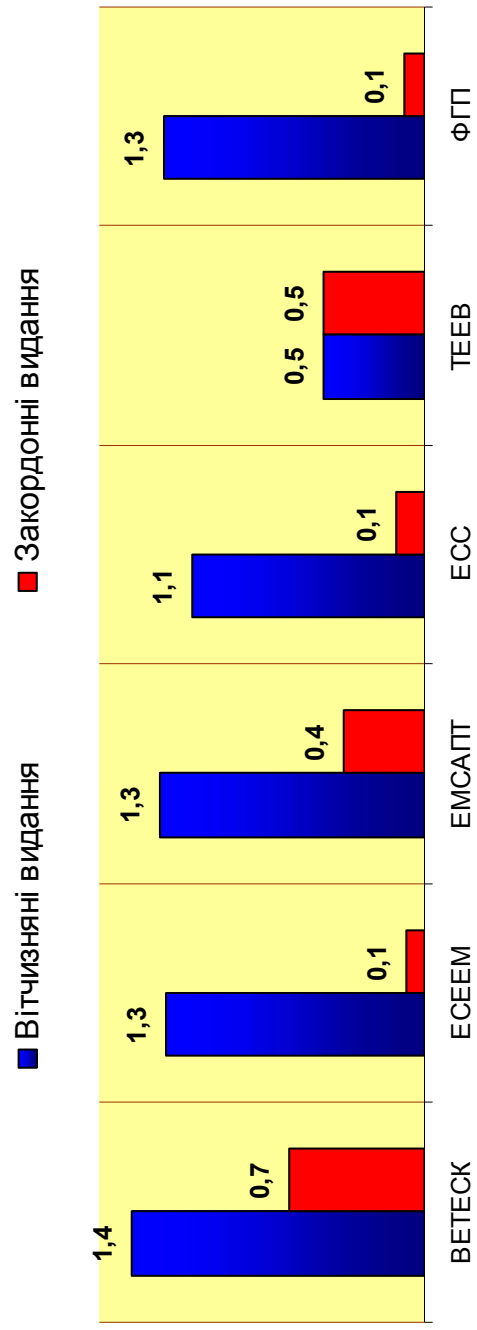


## ОПУБЛІКУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НА ОДНОГО ВИКЛАДАЧА

Статті у вітчизняних та закордонних виданнях протягом 2014-2016 р.р. у розрахунку на одного викладача



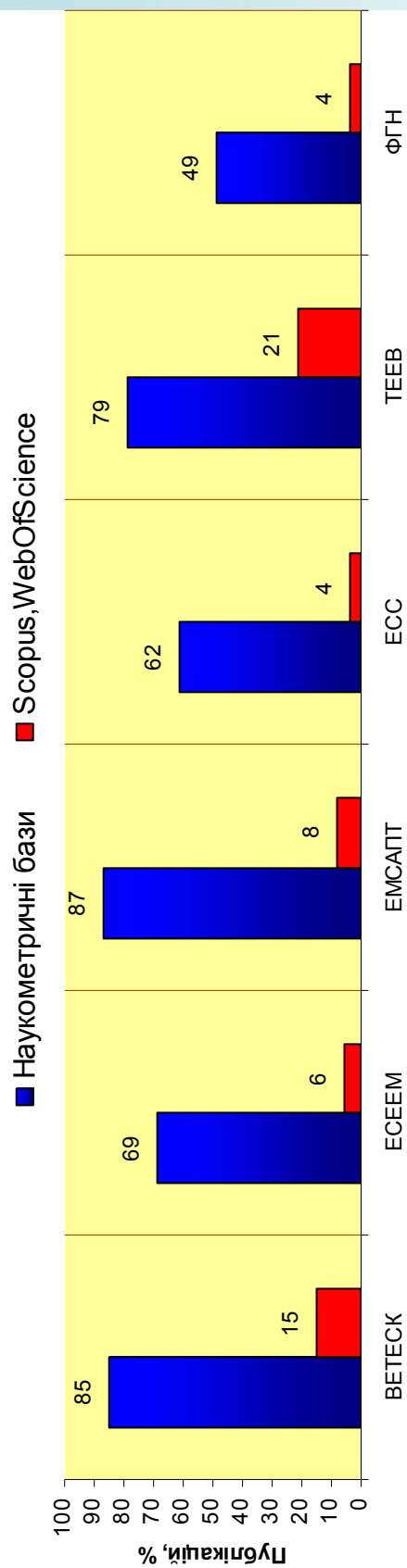
Статті у вітчизняних та закордонних виданнях протягом 2016 р. у розрахунку на одного викладача



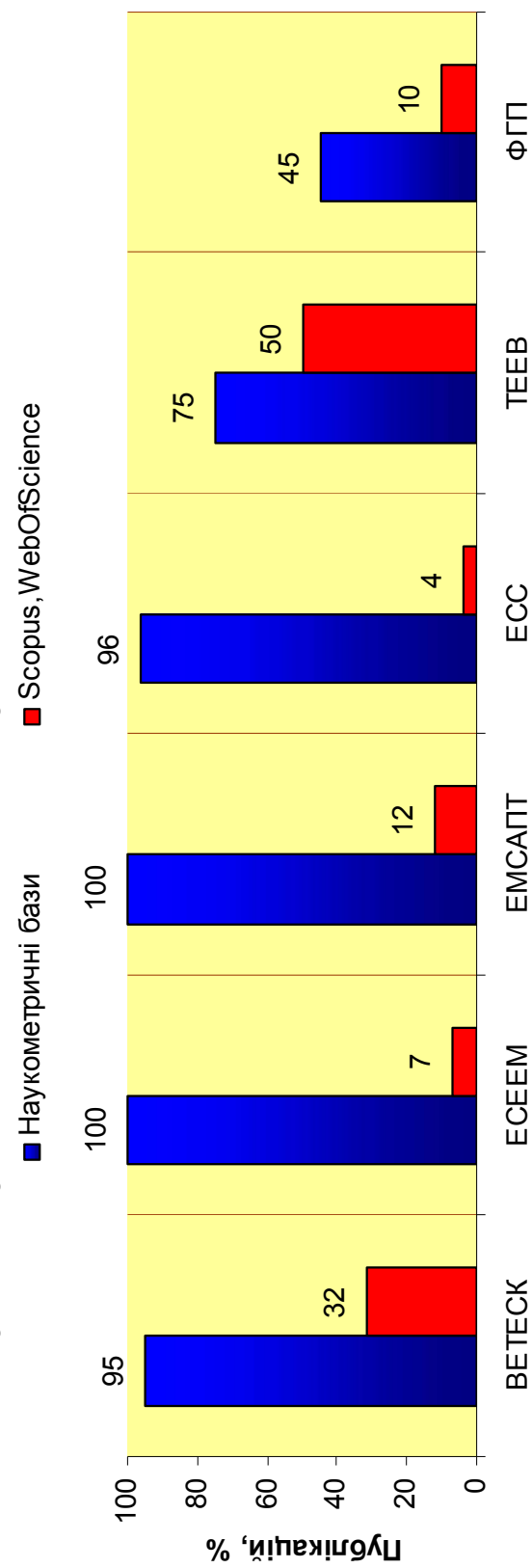
# ПУБЛІКАЦІЇ У ВИДАННЯХ З НАУКОМЕТРИЧНИХ БАЗ

13

Публікації у виданнях, що внесені до наукометричних баз за період 2014-2016 р.р. (%)

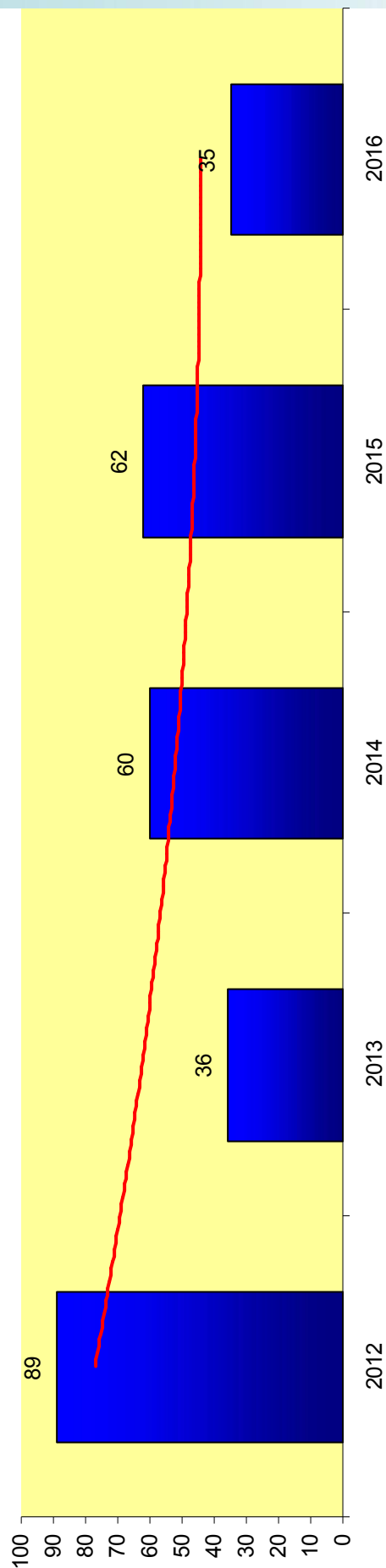


Публікації у виданнях, що внесені до наукометричних баз за 2016 р. (%)

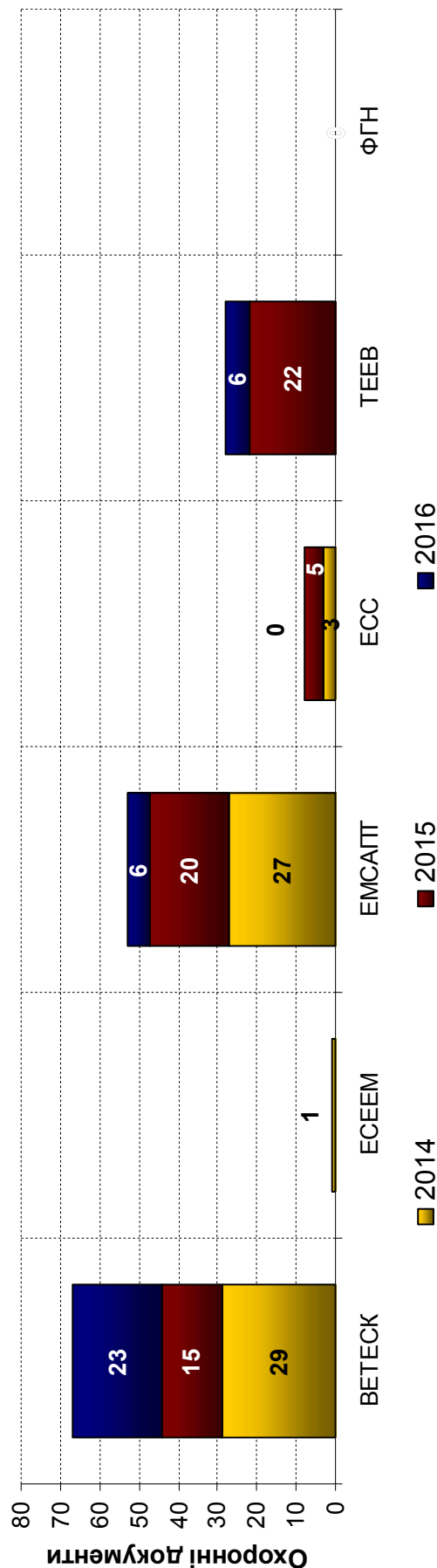


# ПАТЕНТИ ТА ІНШІ ОХОРОННІ ДОКУМЕНТИ

Кількість патентів, отриманих науковцями факультету



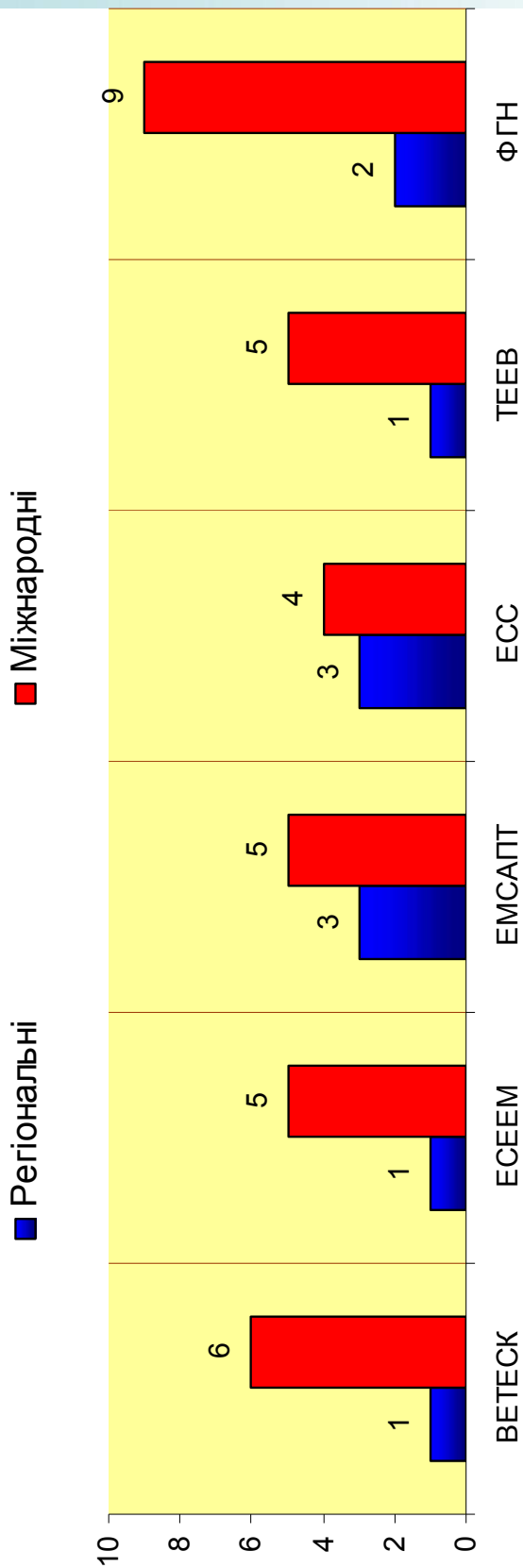
Кількість охоронних документів, отриманих авторами по кафедрах



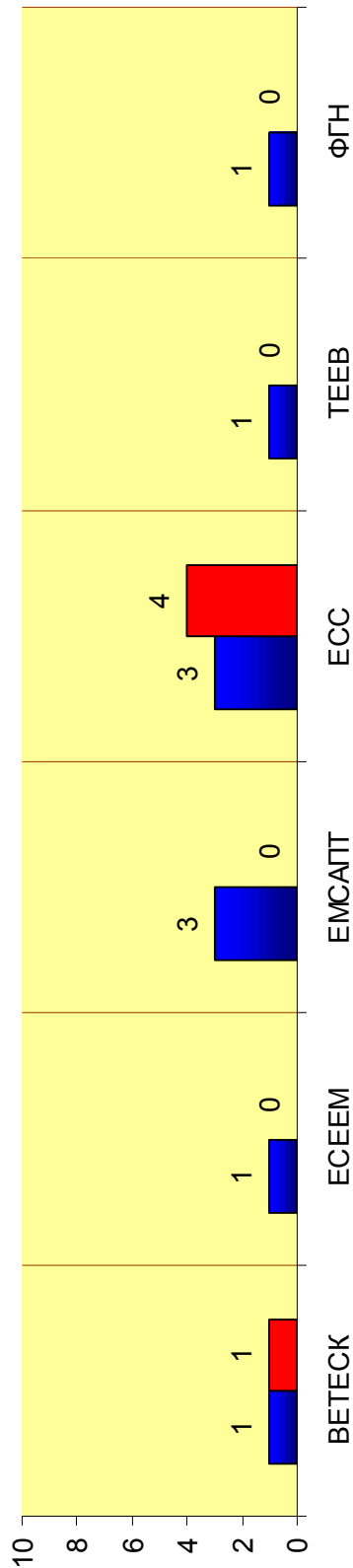
# УЧАСТЬ У НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ КОНФЕРЕНЦІЯХ ТА ЇХ ОРГАНІЗАЦІЯ

15

Участь у науково-технічних конференціях та інших заходах



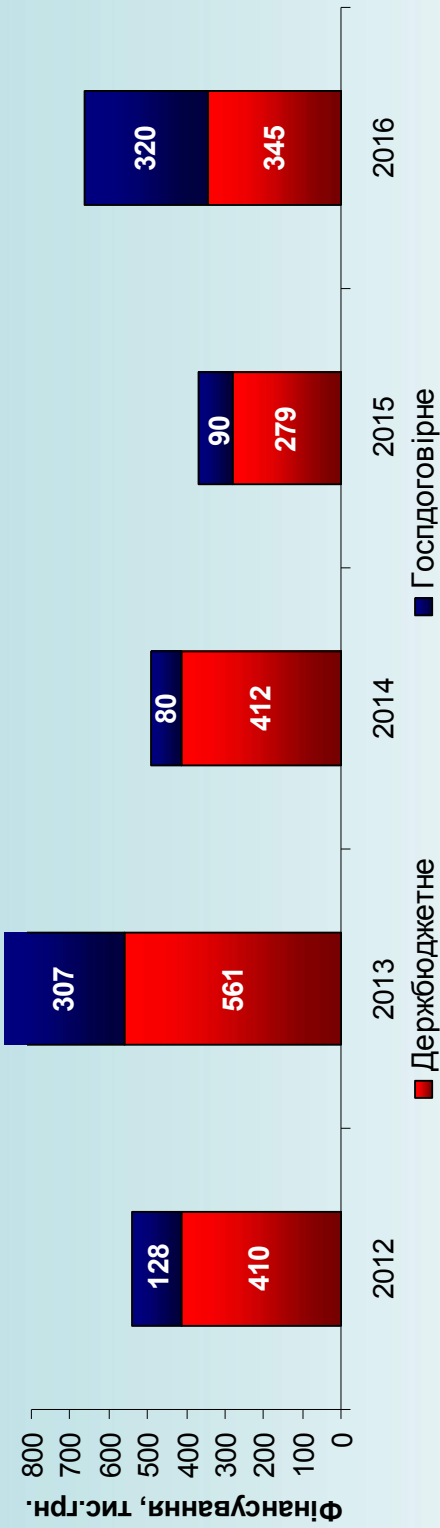
Організація науково-технічних конференцій



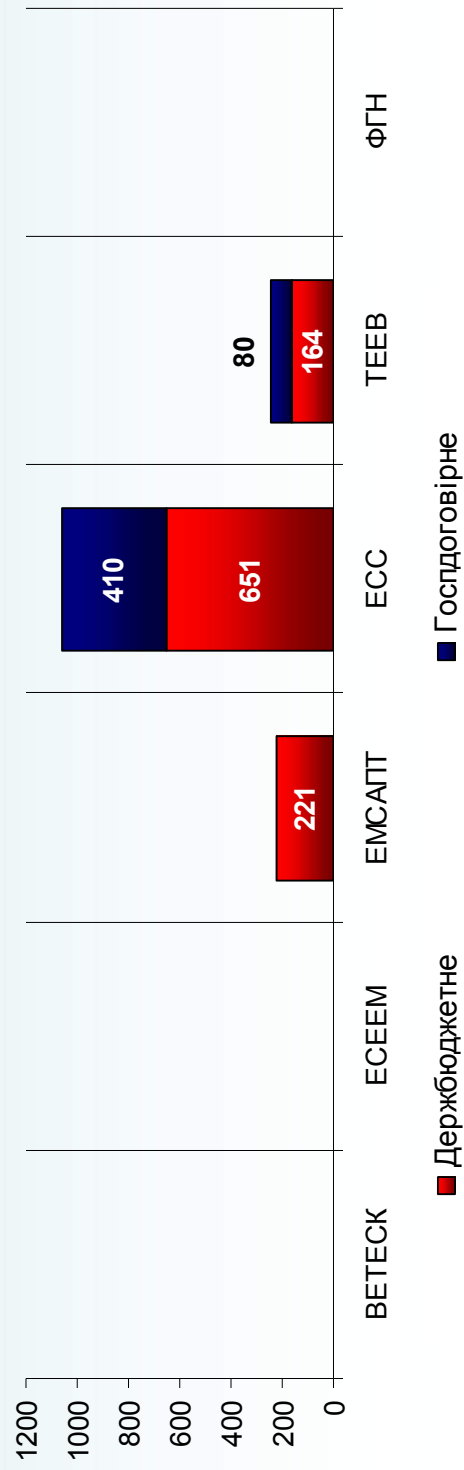
# ОБСЯГ ДЕРЖУДЖЕТНОГО ТА ГОСПДОГОВІРНОГО ФІНАНСУВАННЯ

16

Обсяг дежбюджетного та госпдоговірного фінансування по роках (тис. грн)

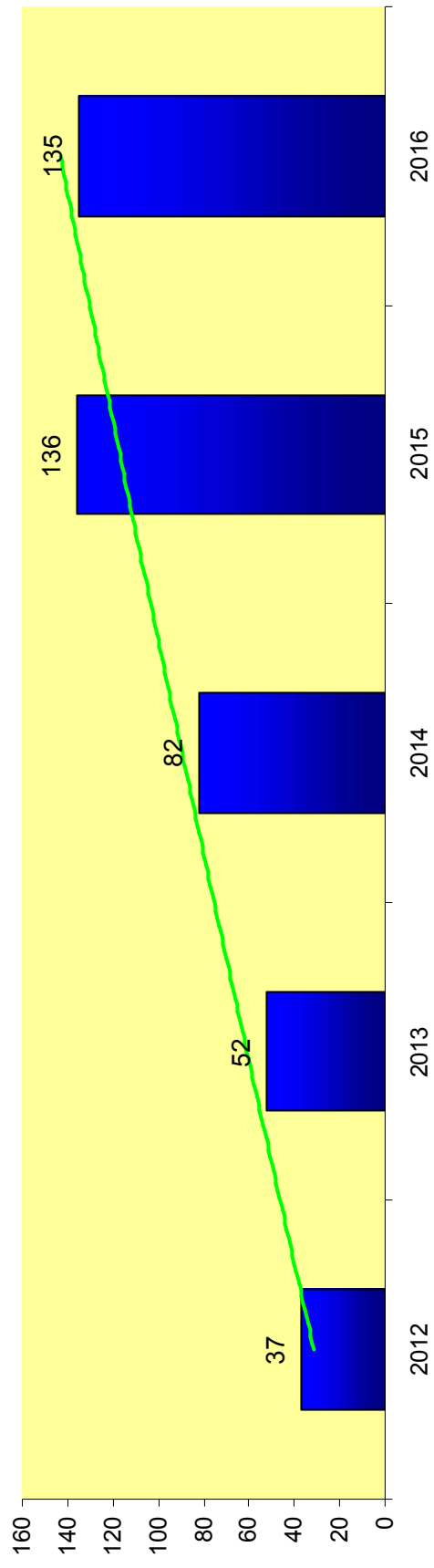


Обсяг залученого фінансування за 2014-2016 р.р. (тис. грн)

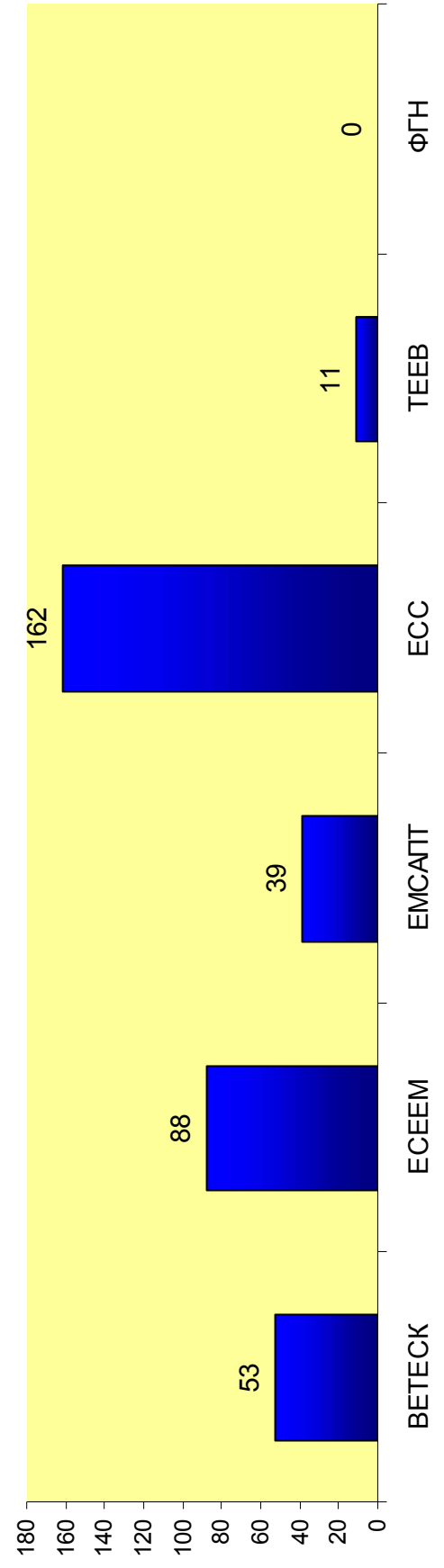


# КІЛЬКІСТЬ СТУДЕНТІВ, ЗАДІЯНИХ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Кількість студентів, що приймали участь у НДР



Кількість студентів-дослідників по кафедрах за 2014-2016 р.р.

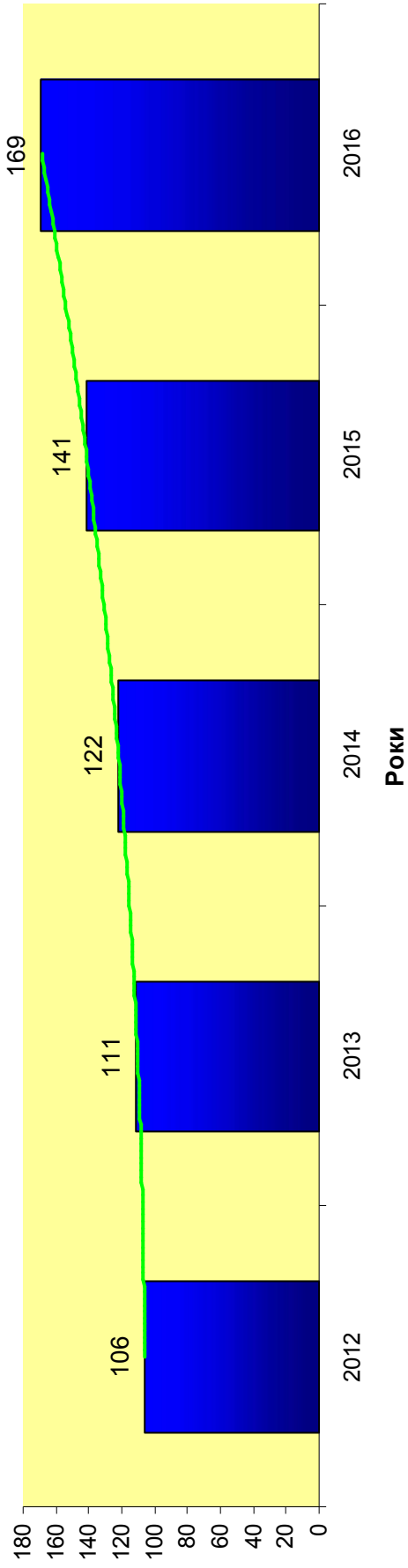




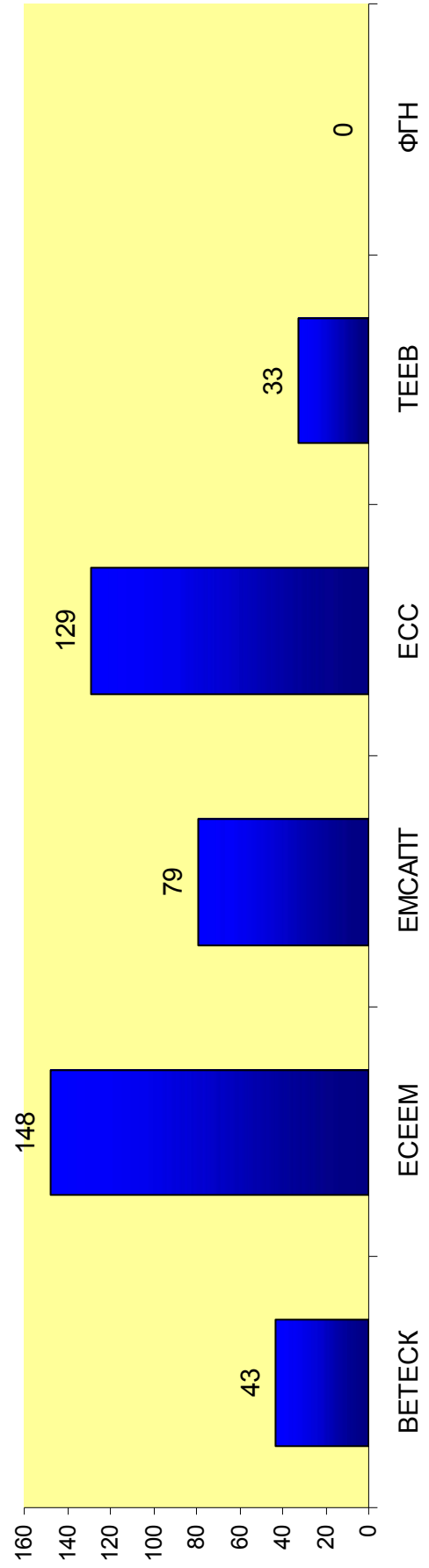
# УЧАСТЬ СТУДЕНТІВ У КОНФЕРЕНЦІЯХ ВНТУ

18

Кількість студентів, що приймали участь у конференціях ВНТУ



Кількість студентів-учасників конференції ВНТУ у 2014-2016 р.р.



## СТУДЕНТИ, ЩО СТАЛИ ПРИЗЕРАМИ КОНКУРСІВ

### 2014 рік

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт  
у напрямку “Електротехніка та електромеханіка”

Дідушок О. В. (керівник Розводюк М.П.) – диплом третього ступеня  
Лаура Я.П. (керівник Бальзан І.В.) – дипломи третього ступеня  
у напрямку “Електричні машини і апарати”

Близнюк М.Я. (керівник Грабко В.В.) – диплом третього ступеня

### 2015 рік

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт  
у напрямку “Електротехніка та електромеханіка”

Хоменко О. О. (керівник Терешкевич Л.Б.) – дипломи другого ступеня  
у напрямку “Електричні машини і апарати”

Тимошенко О. Л. (керівник Левицький С.М.) – диплом другого ступеня  
Лаура Я.П. (керівник Грабко В.В.) – диплом третього ступеня

### 2016 рік

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт  
у напрямку “Електротехніка та електромеханіка”

Богдан Ніч (керівник Дмитро Проценко) – диплом III ступеня  
у напрямку “Електричні машини і апарати”

Олександр Паланюк (керівник Юрій Шевчук) – диплом I ступеня  
Олег Руденко (керівник Микола Мошноріз) – диплом II ступеня  
Микола Занін (керівник Михайло Розводюк) – диплом III ступеня  
у напрямку “Енергетика”

Андрій Мельничук (керівник Вячеслав Комар) – диплом II ступеня  
Олег Нетребський (керівник Олександр Бурикін) – диплом III ступеня

## НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО З МІЖНАРОДНИМИ ТА ВІТЧИЗНЯНИМИ ОРГАНІЗАЦІЯМИ

20

### **КАФЕДРА ЕСС:**

Московський енергетичний інститут (технічний університет)  
Благовіщенський технічний університет  
Молдовський технічний університет  
Камерунський технічний університет  
Всеросійський НДІ електроенергетики  
Фірма Simiens

### **КАФЕДРА ТЕЕВ:**

Санкт-Петербурзький технічний університет  
Свентокшишська політехніка, Польща, м.Кельце  
Фірма Simiens

### **КАФЕДРА ФГН:**

Міжнародний центр СІВР (Франція)  
Університет Sorbona Париж 4  
Томський технічний університет

### **КАФЕДРА**

Інститут проблем управління, м. Москва  
Омський університет залізничного транспорту

### **ЕСЕЕМ:**

### **КАФЕДРА**

Фірма Schneider Electric, Simiens, Hager

### **ЕМСАПТ:**

Всі кафедри інституту плідно співпрацювали з провідними національними технічними та класичними університетами, а також науково-дослідними інститутами України

## ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТА АКТИВІЗАЦІЇ НАУКОВОЇ РОБОТИ В ФЕЕЕМ

- Збільшити кількість публікацій у фахових наукових виданнях, а особливо у виданнях, що цитуються у **Scopus** та **Web Of Science**
- **Розширити творчі зв'язки** з інститутами НАНУ, провідними ВНЗ Європи та України
- **Підвищити рівень підготовки** учасників студентських Всеукраїнських олімпіад та якість конкурсних наукових робіт
- **Збільшити кількість студентів**, що залучаються до виконання держбюджетної та госпдоговірної науково-дослідної роботи
- Протягом року, по можливості, збільшити **обсяги госпдоговірного фінансування** науково-дослідних робіт
- Прискорити роботу над **написанням монографій** (серед іншого, за результатами дисертаційних досліджень)
- У 2017 році забезпечити захист однієї **докторської дисертації**
- Забезпечити **впровадження результатів НДР у навчальний процес** кафедр у вигляді лабораторного, програмного та методичного забезпечення.

## ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕ- РГОГЕНЕРУВАННЯ ФЕС

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Виконано аналіз метеопараметрів за впливовістю на генеровану електроенергію фотовольтаїчною електричною станцією. Натурним експериментом перевірено відповідність виконаного аналізу.

**Ключові слова:** фотовольтаїчні електричні станції, температура панелі, сонячна радіація на поверхні панелі.

### Вступ

В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії, за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії.

Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи.

Для забезпечення функціонування енергоринку України, враховуючи позитивну тенденцію щодо розбудови ФЕС, очікуються зміни умов їх функціонування з введенням практики попередніх заявок на генерування для узгодження їх сумісної роботи з традиційними джерелами енергії.

Реалізація такого механізму зумовлює необхідність розроблення ефективної програмної системи для короткотермінового прогнозування обсягів електроенергії, генерованих ФЕС та режимів їх роботи.

### Дослідження впливу окремих метеопараметрів та їх сукупностей на функціонування ФЕС

Проведений аналіз результатів натурних експериментів дозволяє визначити перелік метеопараметрів і точність їх оцінювання в задачі прогнозування виробітку електричної енергії конкретною ФЕС на добу вперед.



Рисунок 1 – Залежність активної потужності від сонячної радіації на поверхні панелі (протягом року)

На рисунках 1 показано залежності між генерованою активною потужністю і сонячною радіацією. Спостерігається чіткий тренд в цій залежності. Це дозволяє зробити висновок про визначальність цього параметра в задачі прогнозування генерованої потужності. Наявність певної області можливих значень в околі тренду свідчить про вплив інших параметрів з одного боку і певну імовірність хибних спрацювань системи моніторингу.

Проведений кластерний аналіз дозволив розбити результати вимірювань на групи. Кожна група має близькі закони їх зміни. Довжини з'єднувальних ліній між групами характеризують впливовість груп одна на одну.

Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що визначальним параметром для оцінювання генерованої активної потужності є сонячна радіація, менш впливовою є температура панелі.

Оскільки зробити прогноз сонячної радіації на поверхні панелі і її температури безпосередньо не можливо, то необхідно визначитись з додатковими параметрами, за якими можна оцінити визначальні метеопараметри. На це питання кластерний аналіз дозволяє отримати відповідь. Відповідно до впливових груп сонячну радіацію на поверхні панелі можна визначити за радіацією на поверхні землі; температуру панелі за температурою навколишнього середовища, швидкістю вітру і вологістю.

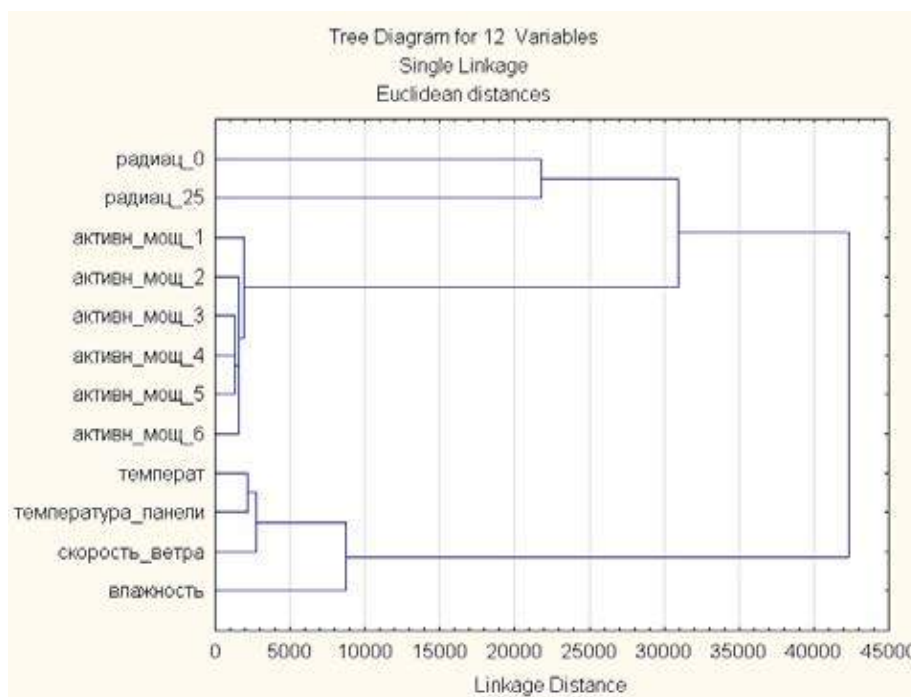


Рисунок 2 – Результати кластерного аналізу

### Аналіз джерел прогнозованих метеопараметрів

Незважаючи на величезний вибір інтернет-сайтів про погоду, лише деякі з них використовують власні прогнози. Наприклад, не варто сподіватися, що погоду в на сайті Sinoptic.ua можна уточнити у Yandex, отже обидва сервіси, як і сотні інших, використовують дані фінської метеорологічної служби [Foreca](#).

Також навряд чи істотні відмінності в прогнозі знайдуться у британської [BBC](#) і російського [rp5](#). Обидва сервіси користуються даними британського метеорологічного бюро [MetOffice](#).



А ось такі американські гіганти як [Weather Underground](#), [AccuWeather](#), [Weather Channel](#) будують свої прогнози на основі американської чисельної моделі прогнозування GFS (Global Forecast System).

Строго кажучи, на сьогодні в світі існує три головні глобальні чисельні моделі прогнозування погоди, або гідродинамічні моделі атмосфери. Тобто дані з усіх метеостанцій світу, супутників, кораблів й інших систем аналізуються, збираються й обробляються трьома способами на основі нелінійних рівнянь.

В роботі проведено аналіз точності прогнозу метеопараметрів на доступних ресурсах. Окремі результати показані на рисунку 3. В середньому точність прогнозу знаходиться в межах 40%.

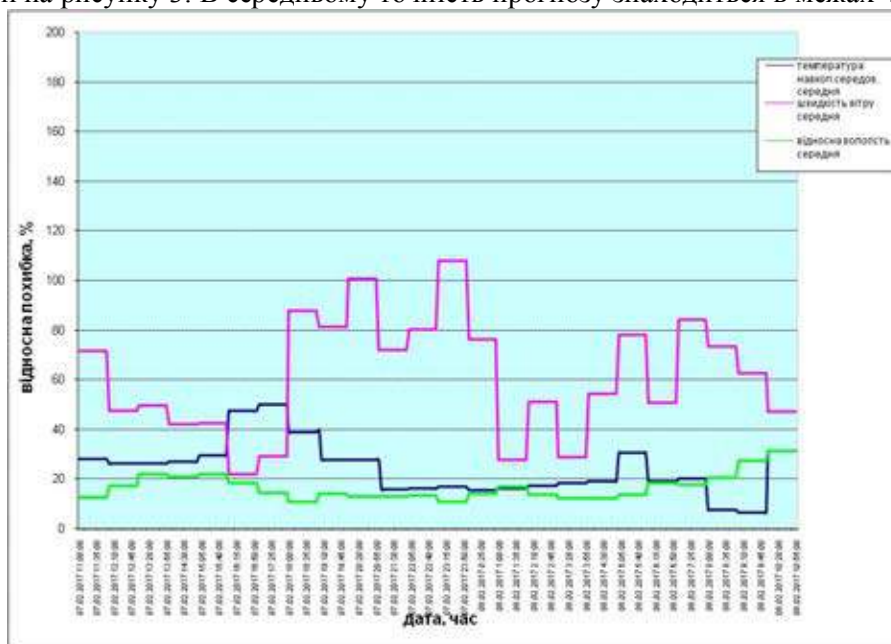


Рисунок 3 – Похибка прогнозу метеопараметрів

### Висновки

Аналіз результатів натурного вимірювання метеопараметрів та генерованої активної потужності з 5-ти хвилинною дискретністю дозволяє зробити висновок про складну залежність між генерованою електроенергією і метеопараметрами.

Для зменшення суперечливості отриманої інформації щодо роботи ФЕС і забезпечення відповідної її «якості» необхідно розробити вимоги до системи моніторингу, виконання яких дозволило б забезпечити максимальну відповідність між вимірними і реальними значеннями, і фільтр отриманих даних для формування бази даних, які максимально точно будуть описувати роботу ФЕС.

Проведений в роботі аналіз даних, виконаний з використанням сучасних засобів математичного аналізу, показав вплив на генеровану електричну енергію таких метеопараметрів як сонячна радіація на поверхні землі та на поверхні панелі, температури панелі та температури навколишнього середовища, швидкості вітру та вологості. За мірою впливу метеопараметри розташовуються в такій послідовності: радіація на поверхні панелі – радіація на поверхні землі – температура панелі – температура навколишнього середовища – швидкість вітру – вологість. Для забезпечення відповідної точності прогнозування генерованої потужності необхідно забезпечити достатню точність прогнозування метеопараметрів.

За відсутності в Україні внутрішніх можливостей з забезпечення відповідної точності прогнозу метеопараметрів доцільним є скористатись платними сервісами для отримання даних для прогнозу генерованої електроенергії.

**Комар Вячеслав Олександрович** – доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kvo1976@ukr.net

**Нетребський Володимир Васильович** – доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vova-26@mail.ru

**Лесько Владислав Олександрович** – доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leskovlad@mail.ru

**Кравчук Сергій Васильович** – аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: wl\_1992@mail.ru

# ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 20 КВ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Наведено переваги переходу розподільних електричних мереж 6(10) кВ на номінальну напругу 20 кВ. Показано, що перехід на клас напруги 20 кВ зі зміною конфігурації та автоматизація розподільної мережі – необхідний та пріоритетний крок для підвищення ефективності роботи мережі та зменшення втрат, забезпечення SAIDI і SAIFI.

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, реконструкція електричних мереж, електричні мережі напругою 20 кВ, оптимальна реконфігурація.

## Abstract

Shown the advantages of transition distributive networks 6 (10) kV rated to voltage of 20 kV. It is shown that the transition to 20 kV voltage class with change of configuration and automation distribution network - a necessary step and a priority to improve network performance and reduce losses, provision SAIDI and SAIFI.

**Keywords:** electric distribution network, reconstruction of electric networks, electric networks with voltage 20 kV, optimal reconfiguration.

## Вступ

Сучасний стан розподільчих та живлячих електричних мереж України, потребує значних покращень основних техніко-економічних характеристик та виконання різних видів робіт (реконструкції, модернізації чи технічного переоснащення), що обумовлено наступними причинами:

- висока ступінь фізичного і морального старіння (зношення) електрообладнання (термін експлуатації якого сягає 45 років та більше);
- значні втрати електричної енергії (як чисто технічні, так і комерційні) до 15 %;
- низький рівень автоматизації об'єктів електричних мереж.

Перераховані недоліки стану мережі 10(6) кВ знижують (погіршують) індекс середньої тривалості відключень (SAIDI) та індекс середньої частоти відключень у системі (SAIFI) міжнародних показників надійності електропостачання споживачів. Тому реальна тривалість перерв електропостачання в Україні сягає від 580 до 870 хвилин, тоді як у країнах ЄС – до 40 хвилин [1].

Технічний стан об'єктів електричних мереж створює передумови до аварійних відключень з тривалим знеструмленням споживачів та населених пунктів, що в свою чергу може призвести до надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, загрози енергетичній безпеці держави, зростання соціальної напруги серед населення. На сьогодні розподільні електричні мережі напругою 10(6) кВ майже вичерпали резерв пропускної здатності, мають надзвичайно низький рівень автоматизації, дистанційне управління обмежене застосуванням застарілого обладнання в РП (ТП), мережі, як правило, дуже розгалужені, мають значну протяжність, секціонування їх практично всюди забезпечується лінійними роз'єднувачами, а застосування сучасних реклоузерів не поширене. Тобто, електричні мережі, їх схеми та обладнання у сучасному стані концептуально не адаптовані до вимог, які стоять перед сферою енергозабезпечення.

Застосування напруги 20 кВ та використання сучасного обладнання, а саме: елегазових, вакуумних вимикачів, реклоузерів, мачтових ТП дозволить перейти на вищий рівень надійного комплексного централізованого електропостачання споживачів України, зменшити (обмежити) струми КЗ, знизити втрати електричної енергії, енергозбереження, покращити безпеку при експлуатації.

Слід відмітити про великі обсяги розподільних електричних мереж в Україні та необхідні значні капіталовкладення на їх реконструкцію, що не дозволяє виконати одночасне переведення об'єктів на напругу 20 кВ, необхідний довгостроковий перехідний період, протягом якого існуючі розподільні



електричні мережі 10(6) кВ будуть поступово доповнюватись та змінюватись мережами 20 кВ.

### Результати дослідження

Згідно «Енергетичної стратегії України» нижній прогноз електроспоживання, що відповідає песимістичному сценарію розвитку економіки, складає 336,4 млрд. кВт\*г — 2030 році. Середньорічний приріст електроспоживання оцінюється за цим сценарієм у 2,6 %. Так як, на сьогодні розподільні електричні мережі напругою 10(6) кВ майже вичерпали резерв пропускної здатності одним з способів дотримання песимістичного сценарію розвитку економіки держави є перехід напруги розподільчих мереж 6 (10) кВ на більш високу напругу.

На сьогоднішній день існує величезна кількість іноземних прикладів застосування розподільчих мереж більш високої напруги. У якості прикладу застосування розподільних мереж 20 кВ можна привести країни наведені у табл. 1, а також інші країни Європи, які мають розподільчі мережі напругою 20-22 кВ: Чехія, Словаччина, Болгарія, Італія [4-6].

Таблиця 1 – Зарубіжний досвід застосування розподільних мереж 20 кВ

Країна	Клас напруги, кВ	Примітка
<b>Європа</b>		
Фінляндія	10, 20, 110, 220, 400	10 кВ тільки в великих містах
Німеччина	20, 60, 110, 150, 220, 380	
Польща	15, 20, 35, 110, 220, 330, 400, 750	Переходять на 20 кВ
Франція	20, 225, 400	Перехід на 20 кВ в 1962 р.
<b>Інші країни</b>		
Японія	22, 66, 154, 275, 500, 1000	

Переваги переходу на напругу 20 кВ ілюструються на рис. 1, а саме – перехід від триступеневої системи передачі та розподілу електричної енергії (110-35-(6)10 кВ) на двоступеневу (110 – 20 кВ), як представлено на рис. 1а [1] та зменшення загальної довжини мереж 0,4 кВ та втрат у них шляхом використання щоглових КТП 20/0,4 кВ (рис. 1б).

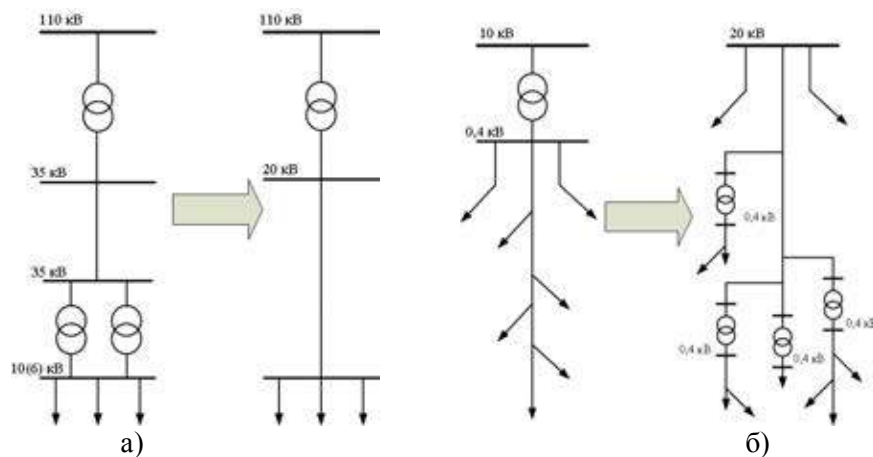


Рисунок 1 – Зменшення кількості ступенів трансформації

Застосування номінальної напруги 20 кВ на протигагу існуючим класам напруги у розподільних мережах дозволить:

- Використати нове обладнання (ТП, РП) в габаритах старого;
- Використати норми відведення земельних ділянок для підстанцій від 6 до 20 кВ без розширення площі ділянок (50 м.кв.);
- Зберегти охоронні зони повітряних ліній електропередач (для ПЛ 6, 10, 20 кВ - 10 метрів);
- Усунути дефіцит потужності в центрах живлення, розвантаживши перевантажені РП - 6(10) кВ існуючих ПС;
- Створити резерв потужності для гарантованого надійного електропостачання споживачів;

- Забезпечити передачу більшої потужності при тих же перетинах провідників;
- Знизити технологічні втрати;
- Зменшити загальну довжину мереж 0,4 кВ та втрати в ній за рахунок використання щоглових КТП 20/0,4 кВ;

Крім того, на даний час, в Україні існує ряд невирішених технічних проблем, які необхідно вирішити під час переведення розподільних електричних мереж на напругу 20 кВ, а саме:

- відсутність проектних рішень на перебудову ПЛ 10 кВ і трансформаторних підстанцій сільського типу (КТП; СТП) на напругу 20 кВ, а також проектних рішень на нове будівництво трансформаторних підстанцій 20 кВ сільського типу (КТП; СТП);
- невизначеність у виборі режиму заземлення нейтралі в мережі 20 кВ з переважанням повітряних ЛЕП;
- можливі додаткові витрати електромережесуб'єктів з переводу не тільки власних електроустановок 10 кВ на напругу 20 кВ, але і електроустановок, що належать споживачам (абонентських).

### Висновки

Таким чином, переведення мереж на рівень напруги 20 кВ – об'єктивна необхідність і таке рішення вже було застосовано в різних країнах Європи. Проте великий обсяг розподільних електричних мереж в Україні та значний обсяг необхідних капіталовкладень не дозволяє говорити про одночасне переведення всіх мереж на новий рівень напруги. Мова може йти про перехідний період, протягом якого існуючі розподільні мережі 6(10) кВ будуть поступово доповнюватись та замінюватись мережами 20 кВ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Циганенко Б.В. Перспективи переведення розподільних мереж України на номінальну напругу 20 кВ [Електронний ресурс] / Б.В. Циганенко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2016. - №1. – С. 1-4. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/464/462>
2. Буре И. Г. Повышение напряжения до 20-25 кВ и качество электроэнергии в распределительных сетях // Электро.- 2005.- № 5.- С. 30-32.
3. Лоскутов, А.А. Об эффективности применения напряжения 20кВ для распределительных электрических сетей / А.А. Лоскутов // Великие реки- 2012: научный конгресс 14-го междунар. научно-промыш. форума / Н. Новгород, 2012. - С. 294-297
4. Borscevskis, O. 20 kV Voltage Adaptation Problems in Urban Electrical Networks / O. Borscevskis. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://egdk.ttu.ee>
5. Baricevic T. ANP method in prioritizing investments in transition of MV network to 20 kV / T. Baricevic, A. Tunjic, E. Mihalek, K. Ugarkovic // Electricity Distribution – Part 2, 2009. CIRED 2009. The 20th International Conference and Exhibition on, 2009. Режим доступу: [http://cdn.intechopen.com/pdfs/37988/InTechAutomatic\\_restoration\\_of\\_power\\_supply\\_in\\_distribution\\_systems\\_by\\_computer\\_aided\\_technologies.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/37988/InTechAutomatic_restoration_of_power_supply_in_distribution_systems_by_computer_aided_technologies.pdf).
6. Hone, Stefan; Hentschel, Klaus. Definition of criteria to operate 20 kV networks with arc suppression coils according to standards // Electricity Distribution – Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on, 2009. Режим доступу: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5255492&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D525549](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5255492&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D525549)

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

**Кулик Володимир Володимирович** — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Burykin Oleksander B.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [mr.burykin@mail.ru](mailto:mr.burykin@mail.ru)

**Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, , email : [kulyk\\_vv@mail.ua](mailto:kulyk_vv@mail.ua)

## ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ ЗБІРНИХ ШИН РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК

<sup>1</sup>ВП ДП «НЕК «Укренерго» Дніпровська ЕС

<sup>2</sup>Запорізький національний технічний університет

### *Анотація*

Проведено аналіз причин зафіксованих випадків технологічних порушень, що сталися на енергетичних об'єктах ОЕС України внаслідок неправильної дії пристроїв релейного захисту збірних шин розподільчих установок, заснований на диференційному струмовому принципі дії. Виявлені основні недоліки пристроїв диференційного струмового захисту шин та проаналізовані чинники електричної мережі, що призводять до наявності цих недоліків, та вплив яких необхідно враховувати при розрахунку та виборі параметрів налаштування захисту. Запропоновані можливі заходи щодо усунення виявлених недоліків сучасних пристроїв релейного захисту збірних шин.

**Ключові слова:** розподільча установка, збірні шини, релейний захист, диференційний струмовий захист.

### *Abstract*

The analysis of the causes of recorded cases of technical violations that occurred at energy facilities OES Ukraine as a result of improper actions of busbar's protection based on the differential current principle. The basic disadvantages devices differential busbar's protection and analyzed the factors of power grid, leading to available to these disadvantages, and whose impact must be considered in the calculation and choice of configuration settings of protection. The possible measures to eliminate disadvantages of modern relays of busbar's protection were proposed.

**Keywords:** switchgear, busbars, relay protection, differential protection.

### **Вступ**

На сьогоднішній день на об'єктах об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України, у відповідності із загальносвітовою практикою, для забезпечення швидкодіючого релейного захисту (РЗ) з абсолютною селективністю збірних шин (ЗШ) розподільчих установок (РУ) від всіх можливих видів пошкоджень переважно застосовуються релейні пристрої, принцип дії яких заснований на диференційному порівнянні векторних величин вторинних фазних струмів трансформаторів струму (ТС) різних приєднань, підключених до спільної системи ЗШ – пристрої диференційного струмового захисту шин (ДЗШ), [1], які набули широкого розповсюдження завдяки наступним своїм перевагам:

- абсолютна селективність дії при КЗ у межах зони, що захищається, та поза її межами;
- висока швидкодія, що, як правило, не перевищує 1-2 періодів струму промислової частоти;
- наявність механізму відлаштування захисту від перехідних та усталених диференційних струмів небалансу, що виникають при зовнішніх КЗ, кидку струму намагнічування та за функціонування ТС з підвищеними похибками внаслідок насичення їх магнітних систем.

У сучасних пристроях ДЗШ у якості механізму для відлаштування захисту від диференційних струмів небалансу переважно застосовується принцип відсоткового гальмування, що дозволяє забезпечити мінімально необхідну чутливість цих пристроїв до пошкоджень, що виникають у межах системи ЗШ, та який заснований на використанні спеціальних пристроїв та алгоритмів їх роботи, які дозволяють забезпечити пропорційне співвідношення між уставкою спрацювання диференційного органу захисту (уставкою диференційного струму  $I_{dif}$ ) та абсолютною величиною струму зовнішнього КЗ (величиною гальмівного струму  $I_{rest}$ ). У якості додаткового алгоритму також може бути застосований принцип гальмування вищими гармоніками диференційного струму, якому властивий несинусоїдальний характер, обумовлений перш за все несинусоїдальністю струму намагнічування ТС з замкну-

тими феромагнітними осердями.

Багаторічний досвід експлуатації пристроїв ДЗШ на енергетичних об'єктах ОЕС України [2, 3], вказує на те, що зазначений принцип дії РЗ ЗШ має певні недоліки, що можуть бути виявлені при виконанні аналізу технологічних порушень, безпосередньо пов'язаних з неправильною дією ДЗШ, які описані у протиаварійних циркулярах та інформаційних повідомленнях підприємств електроенергетики, в електроустановках яких були зафіксовані випадки відмови або хибного (надлишкового) спрацювання пристроїв ДЗШ.

**Метою роботи** є аналіз причин виникнення технологічних порушень, що сталися внаслідок неправильної дії пристроїв ДЗШ, виявлення властивих цим пристроям недоліків на підставі проведеного аналізу цих причин та чинників електричної мережі, які здійснюють вплив на селективність функціонування захисту, надання пропозиції заходів щодо усунення виявлених недоліків.

### Результати дослідження

Згідно з [2,3], випадки відмови дії ДЗШ переважно фіксувалися внаслідок порушення вимог технічної експлуатації цих пристроїв, регламентованих [4], а також при порушенні порядку виконання робіт у вторинних колах захисту, пов'язаних з їх розбіркою та наступною збіркою, оперуванням перемикальними пристроями та налаштуванням уставок реле захисту.

Випадки надлишкової або хибної дії пристроїв ДЗШ мали місце за наступних умов [2,3]:

- невиявлена заздалегідь технічна несправність пристрою, а зокрема його оперативних, струмових кіл або кіл живлення;
- розкорочування або замикання струмових кіл захисту в режимі номінального навантаження або при зовнішніх КЗ за неправильного налаштування вузла контролю справності струмових кіл або за технічної несправності даного вузла;
- неправильне налаштування параметрів спрацювання та робочих характеристик захисту при його введенні в експлуатацію або при наступних експлуатаційних перевірках, планових чи позапланових переглядах розрахункових параметрів;
- порушення контакту струмових кіл ДЗШ з землею чи наявність декількох заземлених точок, що категорично не допускається [1].

Особливої уваги заслуговують випадки неправильної дії пристроїв ДЗШ, що мали місце за умови функціонування ТС одного або декількох приєднань з підвищеними похибками трансформації первинного струму в усталених та перехідних режимах КЗ внаслідок глибокого насичення магнітних систем цих ТС через їх несправність (виткові замикання у вторинних обмотках), перевищення допустимого навантаження  $Z_{2ном}$ , вплив аперіодичної складової та вищих гармонік первинного струму КЗ.

**З огляду на це, основними причинами виникнення неправильної дії пристроїв ДЗШ є наступні:**

- відсутність досконалих методів забезпечення надійної та селективної дії захисту при функціонуванні ТС, до вторинних кіл яких підключено пристрій, з підвищеними похибками при насиченні цих ТС;
- недосконалість методик з організації та проведення робіт у вторинних колах захисту, пов'язаних з їх розбіркою та наступною збіркою, оперуванням перемикальними пристроями та налаштуванням уставок окремих реле захисту;
- недосконалість існуючих методів діагностики справності оперативних та струмових кіл захисту;
- недосконалість, складність та важкодоступність сучасних методик з налаштування параметрів спрацювання та робочих характеристик за якими здійснюється функціонування захисту;
- відсутність методів контролю та виявлення порушення контакту струмових кіл ДЗШ з землею чи наявності декількох заземлених точок, чого категорично не допускається згідно з [1].

**За результатами аналізу причин виникнення випадків неправильної дії ДЗШ можна виділити наступні їх недоліки:**

- відсутність досконалих, структурованих та легкодоступних методик з розрахунку та вибору параметрів налаштування і робочих характеристик реагуючих органів захисту за умовою забезпечення його достатньої чутливості в мінімальних режимах внутрішніх КЗ;
- відсутність засобів автоматизації трудомісткого процесу виконання первинного розрахунку і позапланових переглядів параметрів налаштування захисту (робочих уставок), обумовлених зміною

режиму роботи енергетичного об'єкта, конфігурації або режиму прилеглої до ЗШ електричної мережі (ЕМ), складу навантаження або генерації, які не завжди виконуються належним чином;

- відсутність методів з компенсації похибок, що дозволяють знизити вимоги до технічних характеристик і умов експлуатації ТС, які використовуються для підключення ДЗШ, зокрема до забезпечення функціонування цих ТС в заданому класі точності в аварійних режимах;

- відсутність методів з компенсації похибок вимірювального тракту захисту, обумовлених необхідністю балансування вторинних струмів приєднань, що мають ТС з різними коефіцієнтами трансформації;

- недосконалість існуючих методів з забезпечення блокування дії захисту у разі виникнення замикання або розкорочування його струмових кіл.

Труднощі, що виникають під час розрахунку параметрів налаштування ДЗШ за умови забезпечення нормованої у [1] його чутливості ( $K_{\tau} \geq 2$ ), обумовлені в першу чергу впливом ряду чинників ЕМ, врахування яких є обов'язковим при виконанні розрахунку і виборі уставок реле захисту. До цих чинників, згідно [5,6,7], належать наступні:

- струми намагнічування силових трансформаторів і автотрансформаторів;

- ємнісна провідність протяжних ліній електропередачі (ЛЕП) високої та надвисокої напруги;

- абсолютне значення аперіодичної складової, що міститься у первинному струмі перехідного процесу КЗ, та тривалість часу її затухання;

- кратність первинного аварійного струму в ustalених та перехідних режимах КЗ;

- струми намагнічування та активні втрати в ТС, які обумовлюють наявність струмових та кутових похибок трансформації первинного струму у вторинне коло ТС.

Характер і ступінь впливу зазначених чинників на селективність функціонування РЗ ЗШ, а відповідно і на вибір його уставок, визначається параметрами режиму ЕМ, її конфігурацією та розгалуженістю, імпедансним опором ЛЕП та силових трансформаторів (автотрансформаторів, шунтувальних реакторів тощо), потужністю і відносним розташуванням генеруючих джерел в ЕМ, тощо.

Похибки ТС є вирішальним чинником при здійсненні відлаштування пускових органів ДЗШ від перехідних і ustalених значень диференційного струму небалансу, який має місце при зовнішніх КЗ та в інших ненормальних режимах ЕМ [8,9,10] внаслідок наявності цих похибок. За різних умов та режимів експлуатації ТС їх струмові та кутові похибки змінюються нелінійно, причому похибки ТС, які мають відмінні характеристики намагнічування, змінюються неоднаково, що особливо стає помітним при значних кратностях первинного струму КЗ, що призводить до суттєвого збільшення диференційного струму небалансу, від максимальної величини якого має бути відлаштований ДЗШ, [8,10]. З огляду на це, відповідно до [1,4], встановлюються вимоги щодо однотипності ТС, які застосовуються для підключення струмових кіл схем ДЗШ.

Варто відзначити, що виконання вищезазначених вимог до ТС повною мірою не може бути забезпечене, що пов'язано з труднощами вибору таких ТС, що мають досить схожі між собою криві намагнічування, що в свою чергу призводить до появи похибок та необхідності закруглення комплексу ДЗШ або реалізації спеціальних заходів щодо забезпечення його чутливості відповідно до вимог [1]. До цих заходів зокрема належить застосування принципу відсоткового гальмування та гальмування вищими гармоніками диференційного струму. Зазначені заходи хоча і мають певну ефективність, проте їх реалізація потребує проведення складних розрахунків (з урахуванням впливу вищезгаданих чинників) з метою виключення ймовірності відмови захисту при внутрішніх КЗ та його надлишкового спрацювання при КЗ поза межами зони, що захищається. Найбільшого впливу на функціонування пристроїв ДЗШ завдають саме струмові похибки ТС, що не повинні перевищувати 10%, згідно з вимогами [1, 11]. Відповідно до [8,10], струмові похибки ТС в аварійних режимах енергосистеми змінюються в значно більшому ступені ніж їх кутові похибки та в перехідних режимах КЗ з максимальною аперіодичною складовою аварійного струму та тривалим часом її затухання струмові похибки ТС досягають 81-90%, у той час як їх кутові похибки не перевищують  $46-50^{\circ}$ , що у відсотковому співвідношенні складає близько 51-56%, з розрахунку того, що значення кутової похибки у  $90^{\circ}$  відповідає 100%. Також, за результатами проведених у [12] досліджень зміни струмових та кутових похибок ТС в ustalених та перехідних режимах енергосистеми, було встановлено, що у початковий момент виникнення перехідного процесу КЗ кутові похибки ТС подібно до струмових, можуть досягати достатньо високих значень (більш як 60% або  $54^{\circ}$ ), проте динаміка їх зміни характеризується швидким зменшенням значень цих похибок разом із затуханням перехідного процесу, причому швидкість цієї зміни складає приблизно 5% або  $4,5^{\circ}$  за один період струму промислової частоти.

На підставі узагальненої статистичної інформації за випадками неправильної дії пристроїв ДЗШ [2,3], встановлено також той факт, що провідна роль у виникненні відмови, надлишкової або хибної дії РЗ ЗШ належить людському чиннику та налічує понад 60% випадків, які сталися з вини персоналу проектної, монтажно-налагоджувальної та експлуатаційної організації або заводу-виробника. Мінімізація долі участі персоналу цих організацій при розробці, проектуванні, розрахунку та виборі параметрів, налагодженні та подальшій технічній експлуатації пристроїв РЗ ЗШ дозволить уникнути виникнення ряду небажаних випадків, пов'язаних з неправильною дією цих пристроїв, наслідками яких можуть виявитись порушення електропостачання споживачів та транзиту електричної потужності через ЗШ РУ електричних станцій та підстанцій, неприпустиме перевантаження міжсистемних і внутрішньосистемних зв'язків, порушення балансу електричної потужності в енергосистемі або окремих її частинах, зниження запасу динамічної стійкості окремих її вузлів тощо.

### Висновки

Авторами проведений аналіз та узагальнення причин виникнення випадків відмови, надлишкової або хибної дії сучасних пристроїв РЗ ЗШ, заснованих на диференційному струмовому принципі дії, які перебувають в експлуатації на переважній більшості енергетичних об'єктів ОЕС України. З огляду на низку виявлених недоліків, властивих цим пристроям, можна зробити висновок про актуальність окресленої проблеми з забезпечення високонадійного та селективного функціонування РЗ ЗШ в усталених та перехідних режимах енергосистеми за умови збереження на достатньо високому рівні показників чутливості та швидкодії захисту. Для вирішення даної проблеми можна запропонувати наступні шляхи:

- подальший розвиток та технічне вдосконалення існуючих, а також розробка нових методик налаштування робочих параметрів пристроїв ДЗШ, методів побудови функціональних алгоритмів їх дії з метою підвищення показників ефективності функціонування захисту, зокрема селективності, надійності та чутливості;

- створення нової концепції стосовно принципу виконання вимірювальних та логічних кіл РЗ ЗШ, розробка нових методів та методик у межах даної концепції, направлених на впровадження **диференційно-фазного принципу дії захисту шин**, що на нашу думку є більш доцільним рішенням актуальної на сьогодні проблеми застосування РЗ систем ЗШ електроустановок [13].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила устройства электроустановок: Глава 3.2. Релейная защита / Минэнерго Украины. – 7-е изд., перераб. и доп. - Х: Форт, 2009. – 704 с.
2. Сборник директивных материалов по эксплуатации энергосистем: Электротехническая часть / Минэнерго СССР. – 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоиздат, 1981. – 632 с.
3. Сборник директивных материалов главтехуправления минэнерго СССР: Электротехническая часть / Минэнерго СССР. – 3-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
4. Технічна експлуатація електричних станцій та мереж. Правила / Мінпаливенерго України. Київ : НТУКЦ, 2003. – 597 с.
5. Таубес И. Р. Дифференциальная защита шин 110-220 кВ : библиотека электромонтера, выпуск №560 / И. Р. Таубес. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 96 с.
6. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: учебное пособие для вузов / А. М. Федосеев. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
7. Thompson M. (2001), “Secure Application of Transformer Differential Relays for Bus Protection”, ELECSAR Engineering and Schweitzer Engineering Laboratories : Vol. 14, pp. 75-93 (Eng).
8. Кужеков С. Л. Защита шин электростанций и подстанций / С. Л. Кужеков, В. Я. Синельников. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
9. Zocholl S. E. (2012), “Current Transformer Concepts”, Journal of Reliable Power : Vol. 5, pp. 31-55 (Eng).
10. Афанасьев В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель, И. М. Сирота, Б. С. Стогний – Л: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
11. Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму (IEC 60044-1:2003, IDT) : ДСТУ IEC 60044-1:2008. — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2010. — 38 с. — (Національний стандарт України).

12. Ніценко В. В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / В. В. Ніценко, Д. О. Кулагін, П. В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – Вип.1/2016. – С. 87-94.

13. Ніценко В. В. Перспективы использования дифференциально-фазного принципа для защиты систем сборных шин распределительных устройств 110–750 кВ / Ниценко В. В., Кулагин Д. А. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 158-166.

**Ніценко Володимир Вікторович** - інженер оперативно-розрахункової служби релейного захисту та протиаварійної автоматики ДП «НЕК «Укренерго» Дніпровська ЕС, вул. Гребельна, 2, м. Запоріжжя, Україна, 69096, e-mail: [nicenkovladimir@gmail.com](mailto:nicenkovladimir@gmail.com).

Науковий керівник: **Кулагін Дмитро Олександрович**, кандидат технічних наук, професор кафедри «Електропостачання промислових підприємств» Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063, e-mail: [kulagindo@gmail.com](mailto:kulagindo@gmail.com).

**Nitsenko Volodimir Victorovich** - engineer of operative and settlement service of relays protection and emergency automatics DP "NEC" Ukrenergo " Dniprovska ES st. Dams 2, Zaporizhzhya, Ukraine, 69096, e-mail: [nicenkovladimir@gmail.com](mailto:nicenkovladimir@gmail.com)

Supervisor: **Kulagin Dmitro Oleksandrovich**, candidate of technical Sciences, professor, the Department "Power Supply of industrial enterprises" Zaporizhzhya national technical University, street Zhukovsky 64, Zaporozhye, Ukraine, 69063, e-mail: [kulagindo@gmail.com](mailto:kulagindo@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ

Вінницький національний технічний університет;

**Анотація:** На сьогоднішній день електроенергетичні компанії почали все більше використовувати FRA аналізатори, які виявляють пошкодження обмоток та магнітопроводів силових трансформаторів (СТ) на ранній стадії їх розвитку. Однак існуюча методика визначення таких дефектів полягає в порівняльному аналізі амплітудо-частотних характеристик (АЧХ) та фазо-частотних характеристик (ФЧХ) діагностованих трансформаторів. Ці характеристики отримуються під час попереднього та поточного діагностування. В той же час відсутність попередніх характеристик унеможливує порівняльний аналіз. Враховуючи те, що вимірювання цих характеристик здійснюється на виведеному з роботи трансформаторі, то потрібен тривалий час для накопичення бази даних про АЧХ (ФЧХ) експлуатованих трансформаторів.

**Ключові слова:** силовий трансформатор, регулятор під напругою, частотний аналіз.

**Abstract:** Nowadays electricity companies began to use increasingly FRA analyzers that detect damage to the windings and magnetic core power transformers (PTs) in the early stages of their development. However, the current method of determination of such defects is a comparative analysis of amplitude-frequency characteristics (AFC) and phase response (PFC) diagnosed transformers. These characteristics are obtained during the previous and current diagnostics. At the same time, the lack of previous performance comparative analysis impossible. Given that measuring these characteristics carried out to put out of operation transformer, it requires a long time to accumulate a database of response (PFC) operated transformers.

**Keywords:** power transformer, the regulator under voltage, frequency analysis.

### Вступ

Розвиток електроенергетики України направлений на забезпечення безперервного постачання електроенергії для всіх галузей економіки і базується на потужній, розгалуженій електроенергетичній системі, до якої входять великі електростанції, внутрішні і міжсистемні зв'язки у вигляді ліній електропередач та широкі електричні зв'язки зі споживачем. Потужний електроенергетичний потенціал країни створювався на протязі десятиріч.

В наш час велику увагу приділяють питанню зменшення втрат під час експлуатації енергетичного обладнання. Водночас велика частина електрообладнання пропрацювала 25 і більше років. Економічно виправданим є експлуатація такого обладнання, якщо воно нормально функціонує за умов застосування комплексного діагностичного дослідження його стану.

Силові трансформатори – один із основних та найдорожчих елементів електрообладнання електроенергетичної системи. Відомо, що їх вихід з ладу призводить до значних витрат на ремонт, а також до збитків внаслідок недовипуску електроенергії споживачам [1].

### Результати дослідження

Аналіз літературних джерел дав можливість визначити частотні діапазони в яких найбільш інформативно (на АЧХ та ФЧХ) відображаються характерні дефекти обмоток та осердь силових трансформаторів, наприклад:  $0,2 \div 1$  кГц – пошкодження осердя;  $2 \div 10$  кГц – пошкодження осердя та обмотки;  $0,01 \div 1$  МГц – пошкодження обмотки [2-3]. Дослідження з використанням математичної та комп'ютерної моделі обмотки дозволили визначити вплив осьових та радіальних деформацій обмоток на їх АЧХ та ФЧХ. Результати досліджень наведені на рис. 1.



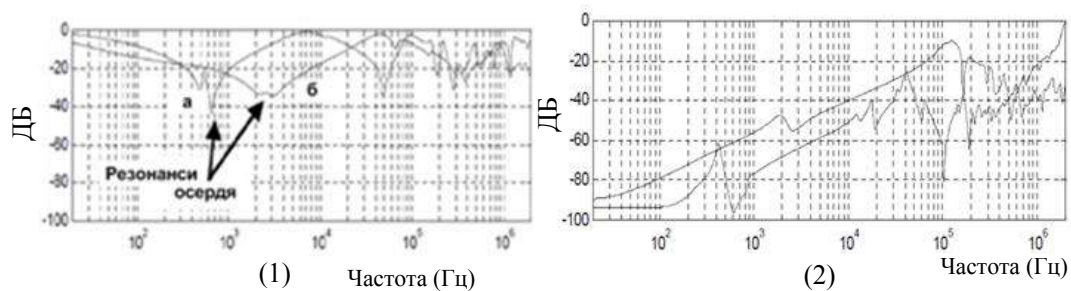


Рисунок 1 – АЧХ обмоток силових трансформаторів з дефектами силових трансформаторів:  
1 – магнітопроводу (а – 110 кВ, б – 35 кВ), 2 – обмотки

### Висновки

Метод виявлення деформацій обмотки СТ полягає у порівнянні між собою графіків АЧХ, ФЧХ не деформованої і деформованої обмоток. З метою досліджень ефективності такого порівняння доцільно використовувати не лише фізичні, або математичні моделі обмотки, а і комп'ютерні моделі, користуючись відомим програмним забезпеченням, наприклад таким, як MatLab Simulink.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. P. A. Abetti and F. J. Maginniss, "Natural frequencies of coils and windings determined by equivalent circuit," AIEE Trans., vol. 72, pt. III, pp. 495–504, Jun.2003.
2. K. Ragavan, L. Satish, Localization of changes in a model winding based on terminal measurements: experimental study, IEEE Trans. Power Deliv. 22 (July) (2015) 1557–1565.
3. E. Rahimpour, J. Christian, K. Feser, H. Moheseni, Transfer function method to diagnose axial displacement and radial deformation of transformer windings, IEEE Trans. Power Deliv. 18 (April) (2013) 493–505.

**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 та 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.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ОЛИВНИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет;

**Анотація:** Знос основних фондів електроенергетики давно вже перевищує 50%. В даний час галузь не має ні фінансовими, ані технічними можливостями в найкоротші терміни замінити обладнання, яке вичерпало свій нормативний ресурс. Щорічний приріст парку електрообладнання з наднормативним терміном служби значно перевищує приріст обладнання що вводиться знову, зважаючи на це використання системи планово-попереджувальних ремонтів для підтримки необхідної експлуатаційної готовності обладнання стає все більш складним.

**Ключові слова:** основні фонди, нормативний ресурс, планово-попереджувальний ремонт.

**Abstract:** *Depreciation of fixed assets Electricity has long been higher than 50%. Currently, the industry has neither the financial nor the technical capabilities to quickly replace equipment, which exceeded its required resource. Annual growth of electrical equipment park with over normative lifetime far exceeds the increase in equipment introduced again, despite this use of preventive maintenance to maintain the required operational readiness of equipment is becoming more complex.*

**Keywords:** *fixed assets, regulatory resource, preventive maintenance.*

### Вступ

Серед важливих задач перед енергетиками України поставлена задача переглянути систему технічного діагностування та ремонту масляних вимикачів, яка використовується в Україні ще з часів запровадження її в СРСР. За приклад можна взяти проведення планово-попереджувальних ремонтів силового високовольтного обладнання. Звідси видно, що вимикання для профілактики і планових ремонтів основного електрообладнання призводить до не виправданих витрат оскільки в проміжку між планово-попереджувальним ремонтом не виявляються приховані дефекти, які розвиваються і призводять до більш вартісних і довготривалих після аварійних ремонтів. Тому раціональнішим є обслуговування за технічним станом електрообладнання, виконання ремонтів, термін проведення яких і необхідний обсяг робіт визначаються дефектами, виявленими при діагностуванні.

Тому, насамперед, потрібно якісно поєднати компоненти системи технічного діагностування і ремонтів. Для цього потрібно вводити, проектувати, модернізувати та реорганізувати багато системних аспектів системи технічного діагностування та ремонту, при цьому потрібно переглянути розробку та ввести в неї нові підсистеми. В першу чергу це стосується технічного, інформаційного, методичного та організаційного видів забезпечення процесу діагностування.

### Результати дослідження

До переходу до ремонту в залежності від фактичного стану підштовхує бурхливий розвиток засобів і методів технічної діагностики.

Параметри, які характеризують стан:

1. котушки привода:  $R_{пр}$  – опір обмотки;
2. контактів:  $R_k$  – опір ізоляції;
3. опорних ізоляторів:  $N$  – кількість тріщин;
4. опорних колон:  $W_c$  – ультразвуковий контроль (УЗК);
5. ізоляційних тяг:  $t_{замк}$  – час спрацювання;
6. фланцевих з'єднань:  $Q$  – кількість пошкоджень;
7. манометра:  $p$  – тиск;

8. дугогасильних камер:  $n$  – комутаційний ресурс;
9. демпфера:  $t_{\text{вкл}}$  - час спрацювання .

Таблиця 3.1 – Причини виведення в ремонт масляних вимикачів

Елемент вимикача	Діагностичний параметр		Кількість ремонтіваних вимикачів, що мають позанормоване значення діагностичного параметра	
	Позначення	Назва параметра	одиниць	%
котушка привода	$R_{\text{пр}}$	опір обмотки	266	36
опорні ізолятори	$N$	кількість тріщин	200	27
опорні колони	$W_c$	ультразвуковий контроль(УЗК)	13	1
ізоляційна тяга	$t_{\text{замк}}$	час спрацювання	49	7
фланцеві з'єднання	$Q$	кількість пошкоджень	10	1
манометр	$p$	тиск	21	2,5
модуль (дугогасильний Пристрій)	$R_k$	опір ізоляції контактів	106	14
	$n$	комутаційний ресурс дугогасильної камери	83	11
	$t_{\text{вкл}}$	час спрацювання демпфера	2	0,5
Разом			750	100

### Висновки

Проведене дослідження свідчить про те, що діагностування електрообладнання має займати все більш важливе місце в сучасній електроенергетичній галузі України, що зумовлено, насамперед, необхідністю продовження терміну служби або інтервалу часу безаварійної роботи силового електрообладнання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Косолапов А.Б. Система технической диагностики электротехнических комплексов // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 2 с. 28-29.
2. Назарычев А.Н. Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию // Надежность либерализованных систем энергетики / Под ред. Н.И. Воропая, А.Д. Тевяшева. – Новосибирск: Наука, 2004. – с.173-189.
3. Структура экспертно-диагностической и информационной системы оценки состояния высоковольтного оборудования /Давиденко И.В., Голубев В.П., Комаров В.И., Осотов В.Н. // Электрические станции. 1997. №6. – с.25-27.

**Брухно Олег Борисович** — студент групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleh\_bruhno@mail.ru;

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

**Oleh B. Brukhno** – Faculty electricity and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa,  
e-mail: oled\_bruhno@mail.ru;

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

# АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ, ЩО СКЛАДАЄТЬСЯ З ЧОТИРЬОХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО АКТИВНО-ІНДУКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Львівський національний аграрний університет

## Анотація

Запропоновано, на основі узагальненого міждисциплінарного (інтердисциплінарного) методу математичного моделювання, який ґрунтується на модифікації інтегрального варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського математичну модель локальної електроенергетичної системи, ключовим елементом якої є довга лінія із розподіленими параметрами.

**Ключові слова:** математична модель, електроенергетична система, перехідні процеси.

## Abstract

Is proposed based on the generalized multidisciplinary (interdisciplinary) method of mathematical modeling, based on the modification of the integral variational principle of Hamilton-Ostrogradskii mathematical model of the local power system, a key element of which is a long line with distributed parameters.

**Keywords:** mathematical model, power system, transients.

## Вступ

Нині апарат математичного моделювання з використанням ЕОМ є одним із ефективних та дешевих способів дослідження перехідних електромагнітних процесів в елементах електроенергетичних систем із розподіленими та скупченими параметрами. Дослідження згаданих процесів є актуальною науковою задачею, адже перебіг останніх має значний вплив на електричні апарати, які працюють у цій системі.

Метою роботи є покращення методів математичного моделювання перехідних електромагнітних процесів у електроенергетичних системах, ключовим елементом яких є довгі лінії електропередач.

## Варіаційна модель системи

Ключовим елементом модифікованого принципу Гамільтона-Остроградського є розширений неконсервативний лагранжіан [1]:

$$L^* = \tilde{T}^* - P^* + \Phi^* - D^* \quad (1)$$

де  $L^*$  – модифікована функція Лагранжа,  $\tilde{T}^*$  – кінетична коенергія,  $P^*$  – потенціальна енергія,  $\Phi^*$  – енергія дисипації,  $D^*$  – енергія сторонніх непотенціальних сил.

Лінія в загальному випадку розглядається як система з розподіленими параметрами. Тоді елементи модифікованої функції Лагранжа будуть не енергетичними функціями, а їхніми відповідними густинами [2]. Отже, функціонал дії за Гамільтоном-Остроградським буде мати наступний вигляд [1]:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \left( L^* + \int_l L_l dl \right) dt, \quad I = \int_l L_l dl, \quad \text{тут } L^* = 0, \quad (2)$$

де  $S$  – дія за Гамільтоном-Остроградським,  $L_l$  – лінійна густина модифікованої функції Лагранжа,  $I$  – енергетичний функціонал.

Схему локальної електроенергетичної системи зображено на рис. 1. Ключовим елементом даної схеми є довга лінія із розподіленими параметрами. Неусталені електромагнітні процеси, які проходять у цій лінії і входять у коло наших зацікавлень.

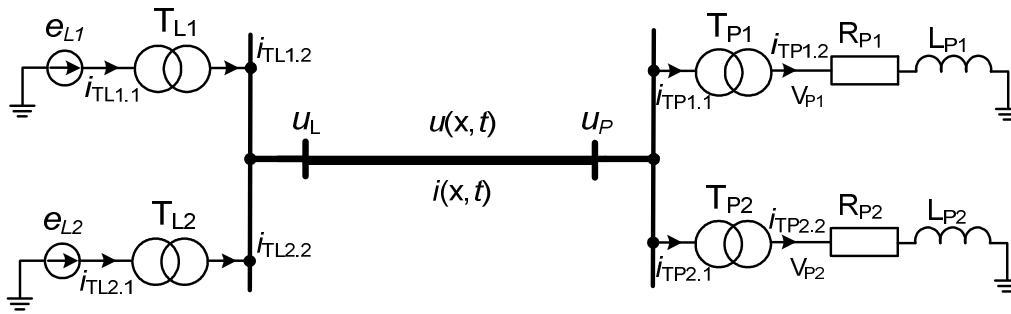


Рис. 1. Схема локальної електроенергетичної системи

Ми не будемо записувати виведення рівнянь для дослідження перехідних процесів у довгих лініях, оскільки це було зроблено нами у праці [3, 4], а лише запишемо кінцеве рівняння:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = (C_0 L_0)^{-1} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - (g_0 L_0 + C_0 R_0) v - g_0 R_0 u \right), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = v. \quad (3)$$

Дискретизуючи рівняння (1) за методом скінченних різниць отримаємо [1]:

$$\frac{dv_j}{dt} = (C_0 L_0)^{-1} \left( \frac{u_{j-1} - 2u_j + u_{j+1}}{(\Delta x)^2} - (g_0 L_0 + C_0 R_0) v_j - g_0 R_0 u_j \right), \quad u_1 = u(x, t)|_{x=0}, \quad u_N = u(x, t)|_{x=l}, \quad (4)$$

$$\frac{du_j}{dt} = v_j, \quad j = 2, \dots, N-1. \quad (5)$$

Сумісний розв'язок рівнянь (4) та (5) дає змогу отримати розподіл електромагнітної хвилі напруги вздовж лінії електропередач.

### Висновки

Використання варіаційних підходів до моделювання неусталених електромагнітних процесів дозволяє уникнути декомпозиції єдиної системи, натомість формувати кінцеві рівняння стану виключно з єдиного енергетичного підходу шляхом побудови розширеної функції Лагранжа.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чабан А. В. Принцип Гамільтона-Остроградського в електро-механічних системах : монографія. / А. В. Чабан. – Львів : В-во Тараса Сороки, 2015. – 464 с.
2. Шимони К. Теоретическая электротехника / К. Шимони. – М. : Мир, 1964. – 776 с.
3. Математичне моделювання перехідних процесів у лінії Лехера в стані неробочого ходу / А. В. Чабан [та ін.] // Електротехніка і Електромеханіка. – 2016. – № 3. – с. 30-35.
4. Model matematyczny dwuprzewojowej linii zasilania z wykorzystaniem modyfikowanej zasady Hamiltona / Andriy Czaban [and other] // Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe. – 2016. – Nr 1. – pp. 31-36.

**Чабан Андрій Васильович** — д-р. техн. наук, професор кафедри електротехнічних систем, Львівський національний аграрний університет

**Левонюк Віталій Романович** — асистент кафедри електротехнічних систем, Львівський національний аграрний університет

**Chaban Andriy V.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor department of electrical systems, Lviv National Agrarian University, Lviv, email : [atchaban@gmail.com](mailto:atchaban@gmail.com);

**Levoniuk Vitaliy R.** — assistant department of electrical systems, Lviv National Agrarian University, Lviv, email : [bacha1991@ukr.net](mailto:bacha1991@ukr.net);

# ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*В даній роботі розглянуті основи побудови ізоляції електричних машин високої напруги, висвітлені теоретичні основи сучасних методів діагностування ізоляції статорних обмоток, визначена ефективність діагностування і викладені пропозиції покращення засобів для діагностування, які значно підвищують надійність ізоляції електричних машин високої напруги.*

**Ключові слова:** крупні електричні машини; діагностування ізоляції; методи і засоби; конструкція ізоляції; надійність ізоляції

## **Abstract**

*In this paper the bases of the insulation of electrical machines high voltage highlighted theoretical foundations of modern methods of diagnostic of stator windings, determined efficiency of diagnosis and set out proposals to improve facilities for diagnosis, which significantly increase the reliability of electrical machines insulation of high voltage.*

**Keywords:** Large electric cars; diagnosis of exclusion; methods and tools; construction insulation; insulation reliability

## **Вступ**

Пошкодження ізоляції обмотки статора генератора призводить до важких аварій і тривалих простоїв генераторів в ремонті. При цьому своєчасне діагностування стану ізоляції дозволяє нормалізувати ізоляцію в плановому порядку. Найважчим є виявлення небезпечного пониження опору ізоляції обмотки відносно корпусу генератора. Обмотки статорів потужних генераторів мають ізольовану нейтраль, тому істотне пониження опору ізоляції в будь-якому місці однієї з фаз викликає проходження невеликого ємнісного струму. Сучасні засоби для контролю за станом ізоляції обмотки статора використовують переносні портативні мегаомметри. Для проведення вимірювання опору ізоляції і коефіцієнта абсорбції необхідно вивести генератор з роботи, а в деяких випадках і розібрати його.

## **Характеристики часткових розрядів в ізоляції електричних машин**

У процесі роботи ізоляція машин перебуває в тяжких умовах експлуатації: впливу перенапруг, високої робочої температури, вібрації, циклів нагрівання й охолодження, механічних зусиль, впливів продуктів розкладання повітря (озону). Крім того, істотне значення мають технологічні труднощі при виготовленні й укладанні ізоляції, що приводять до механічних ушкоджень, а також недосконалість методів контролю й випробувань.

При конструюванні ізоляції машин велика увага приділяється ослабленню впливу корони, часткових розрядів, що виникають у пазовій частині ізоляції, і ковзних розрядів, що виникають у місці виходу обмотки з паза. Для запобігання небезпечного впливу цих розрядів використовуються наступні заходи: 1) застосування ізоляції з підвищеною стійкістю до впливу часткових розрядів (слідо місткі типи ізоляції); 2) регулювання електричного поля.

У пазових частинах ізоляція покривається напівпровідними покриттями (асбестоалієвими стрічками), що послаблюють електричне поле в газових включеннях і повітряних проміжках між ізоляцією й стінками пазів, що зменшує часткові розряди в цих включеннях.

Поняття часткового розряду (ч.р.) в ізоляції охоплює місцевий розряд на поверхні або в середині ізоляції у вигляді корони, ковзний розряд або пробій окремих елементів ізоляції, шунтуючої частини ізоляції між електродами, що знаходяться під різними потенціалами.

Ч. р. в ізоляції виникають у місцях зі зниженою електричною міцністю (наприклад, у прошарках просочуючої рідини або в газових включеннях у товщі діелектрика). Надалі елемент діелектрика зі зниженою електричною міцністю, що бере участь у ч. р., буде називатися «включенням».

При виникненні ч.р. досить великої інтенсивності спостерігається збільшення діелектричних втрат за рахунок потужності, що виділяється при ч.р. Це збільшення діелектричних втрат може бути зареєстроване по збільшенню  $\operatorname{tg}\delta$  в ізоляції випробуваного об'єкта. При наявності ч. р. втрати в діелектрику випробуваного об'єкта ємністю  $C_x$  складаються з втрат на ч. р.  $P_{ч.р}$  і інших видів діелектричних втрат  $P_d$ . Якщо  $\operatorname{tg}\delta_d$ , що відповідає втратам  $P_d$ , не залежить від напруги, де  $P_d$  пропорційна квадрату напруги.

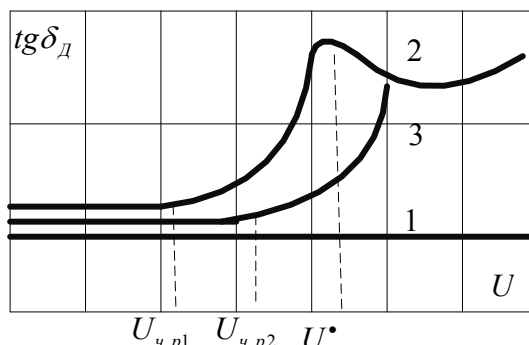


Рисунок 1- Характерні залежності  $\operatorname{tg}\delta$  від напруги; 1 – ч.р відсутні; 2 – присутні локальні газові включення, щоне збільшуються з ростом напруги, ч.р виникають при напрузі  $U_{ч.р1}$ ; 3 – ч.р виникають при напрузі  $U_{ч.р2}$

В процесі експлуатації ізоляція електричних машин змінює свої характеристики під впливом цілого ряду чинників: вібрації, високої температури, робочої напруги, перенапруг, ударних динамічних навантажень, зwoложення. Вплив кожного з цих чинників є досить істотним. У зв'язку з цим вибір товщини ізоляції і робочої напруженості ґрунтується головним чином на експлуатаційному досвіді. При цьому встановлений зв'язок між товщиною ізоляції  $d$  і номінальною напругою машини.

Останніми роками були вироблені експериментальні і теоретичні дослідження, які дозволили зменшити товщину ізоляції і збільшити допустимі напруженості електричного поля (рис. 2.1). Розглянемо можливість виникнення ч. р. в газових включеннях ізоляції машин. Оскільки:

$$d = d_v + d_d,$$

де  $d_v$  — товщина повітряного включення і  $d_d$  — товщина твердої ізоляції, то відповідно до (1-3) амплітудне значення напруженості в повітряному включенні.

### Висновки

Установлено, що в слабких місцях ізоляції імовірно розшарування і тріщини, в яких виникають самостійні електричні розряди – корона, ковзні розряди по поверхні, часткові розряди.

Виявлені найнебезпечніші місця в ізоляції статорних обмоток електричних машин – місця виходу обмотки із пазової частини в лобову.

Проаналізовані особливості розвитку часткових розрядів і особливості вимірювання характеристик часткових розрядів, що дозволяє своєчасну діагностику ізоляції.

Запропонований сучасний вимірювач характеристик часткових розрядів ІЧР-201.

Проаналізована ефективність приладу для автоматичного вимірювання опру і коефіцієнта абсорбції ізоляції обмотки статора генератора на працюючому і зупиненому генераторі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутін В.М., В.І. Брейдбурд "Диагностирование электрооборудования электрических сетей" - К.: УМК-ВО, 1991 р., 104 с.
2. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій. Навчальний посібник. / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
3. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

**Чехман Андрій Михайлович**— студент групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 380500770356@yandex.ua

Науковий керівник: **Собчук Наталія Валеріївна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Chekhman Andrew M.** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 380500770356@yandex.ua

Supervisor: **Sobchuk Natalia V.** — Ph. D., assistant professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia



## АКТИВНИЙ СПОЖИВАЧ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ: МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Основні тенденції розвитку електроенергетики в світі, перехід до інноваційного перетворення галузі на основі нової концепції, що отримала назву Smart Grid. Особливості активних споживачів. Переваги «активних споживачів» над звичайними споживачами електроенергії.*

**Ключові слова:** електроенергетика, інтелектуальна енергетична система, активний споживач, Smart Grid.

### *Abstract*

*Key development trends of electroenergy in the world, the transition to the innovative transformation of the industry to the new concept, called Smart Grid. Features active consumers. The advantages of "active consumers" of conventional electricity consumers.*

**Keywords:** electroenergy, an intellectual energy system, active consumer, Smart Grid.

### Вступ

Україна за останні роки включилася в процес інноваційних перетворень, і в даний час знаходиться на стадії обговорення підходів до розробки концепції розвитку галузі, що отримала назву «Інтелектуальної електроенергетичної системи України», на базі принципових положень концепції Smart Grid. Smart Grid за кордоном розглядається як концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої і самовідновлювальної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі і всі види споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу [1].

### Результати дослідження

Однією з ключових функціональних характеристик інтелектуальної енергетичної системи (далі - ІЕС), як і в концепції Smart Grid, є мотивація активної поведінки кінцевого споживача, під якою розуміється забезпечення можливості самостійного зміни споживачами обсягу і функціональних властивостей (рівня надійності, якості і т.п.) електроенергії що отримується, на підставі балансу своїх потреб і можливостей енергосистеми з використанням інформації про характеристику цін, обсягів поставок електроенергії, надійності, та ін. [2].

Концепція ІЕС націлена на реалізацію активної стратегії споживача, іншими словами стимулює споживачів до участі в регулюванні навантаження. В інтелектуальній енергосистемі кінцевий споживач електроенергії розглядається в якості партнера суб'єктів електроенергетики в частині забезпечення надійної роботи енергосистеми і набуває статусу «активного».

Під активним споживачем розуміється учасник споживчого ринку електроенергії, який має можливість виходячи зі своїх потреб оптимізувати графік завантаження своїх потужностей як з метою мінімізації витрат на електроенергію, так і з метою отримання доходу від продажу електроенергії і потужності.

«Активний споживач» має право вибирати:

- Режим свого електроспоживання відповідно до необхідності виконання своїх виробничих планів випуску продукції або забезпечення електроенергією домогосподарства, оптимізуючи свої витрати на покупку електроенергії з зовнішніх ринків;
- Ступінь своєї участі в наданні додаткових послуг, які полягають в наданні керованих активних і реактивних навантажень (потужностей) для управління з боку системного оператора;
- Умови завантаження власної потужності (при її наявності), для формування заявки на участь у купівлі / продажу електроенергії на оптовому і роздрібному ринках [3].

Управління активним споживачем (обсягами його споживання і генерації, перерозподілом навантаження) проводиться за допомогою гнучко налаштованих (в залежності від типу споживача, економічної кон'юнктури, технологічних умов) меню тарифів як на споживану, так і на передану в мережу електроенергію. Таке управління відноситься до мотиваційного, заснованого на впливі на економічні інтереси.

Переваги активних споживачів:

- активна поведінка (тобто перехід від стратегії «звичайного» споживача до «активного») вплине на зменшення втрат енергії в мережах електропостачання, як через використання власної генерації, так і через використання систем керування навантаженням з метою його зміни в часі відповідно до поточних цін на електроенергію;

- вибір, тобто споживачі отримують можливість обирати постачальників енергії (власна генерація, віртуальна електростанція, традиційні генератори, мережа тощо), а також варіантів енергії («зелена» енергія, енергія від традиційних джерел, енергія підвищеної якості);

- пристосування до графіка добового споживання через використання систем керування навантаженням, що дозволяє без створення незручностей для споживачів та суттєвої зміни графіка споживання позитивно впливати на мережу;

- можливість отримувати прибуток від продажу надлишкової енергії;

Метою активного споживача є створення зворотного зв'язку та зворотній вплив на постачальників послуг, з метою підвищення якості послуг, а також збільшення участі осіб або організацій у формуванні конкурентного ринку електроенергії.

В даний час в українській системі електроенергетичних ринків механізми і мотиваційні інструменти «активізації» споживача до оптимізації функціонування ЄЕС розвинені недостатньо - при наявності добре опрацьованих ринкових механізмів ціноутворення на ринку (ринок «на добу вперед», балансуючий ринок і ринок потужності), можливості варіювання тарифів на роздрібному ринку досить обмежені (в тому числі, внаслідок обмеженості можливостей використовуваних засобів обліку і передачі інформації).

## Висновки

Отже, споживчий ринок для населення в рамках чинного тарифного законодавства повністю регулюється державою, на сучасному етапі розвитку реалізація стратегії активного споживача для населення не можлива. Таким чином, потенціал реалізації моделі активного споживача, відповідно до чинної моделі ціноутворення в Україні існує, оскільки існує можливість, виходячи зі своїх потреб, оптимізувати графік завантаження своїх потужностей як з метою мінімізації витрат на електроенергію, так і з метою отримання доходу від продажу електричної енергії та потужності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Smart Power Grids - Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.
2. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SMART GRID — М.: ИАЦ Энергия, 2010.
3. В.В. Дорофеев «Развитие электроэнергетической системы России с использованием принципов активно-адаптивной сети» / Материалы международного форума «Энергетика будущего» - 16 ноября 2010 г. - Москва

**Урода Анастасія Богданівна** — студентка групи 2Е-15Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [bd\\_2015@ukr.net](mailto:bd_2015@ukr.net)

**Лесько Владислав Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail [Leskovlad@mail.ru](mailto:Leskovlad@mail.ru)

Науковий керівник: **Лесько Владислав Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Uroda Anastasia Bogdanivna** - student group 2E-15B, Department of Electricity and electro, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia. e-mail: [bd\\_2015@ukr.net](mailto:bd_2015@ukr.net).

**Lesko Vladislav Alexandrovich** - Ph.D., assistant professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia. e-mail [Leskovlad@mail.ru](mailto:Leskovlad@mail.ru).

# ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*В роботі розглянуті основні особливості заземлювальних пристроїв розподільних установок. Проведено огляд методів розрахунку заземлювальних пристроїв розподільних установок, які залежать від режиму заземлення нейтралі мережі.*

**Ключові слова:** заземлювальний пристрій; розподільна установка; заземлювач; нейтраль; електробезпека

## *Abstract*

*The paper describes the main features of earthing distribution systems. The review of methods for calculating earthing distribution systems, which depend on the mode of earthing-neutral network.*

**Keywords:** earthing device; Distribution installation; earthing; neutral; electrical safety.

## Вступ

Для оцінки працездатності заземлювального пристрою (ЗП), що забезпечує захист технічного стану електроенергооб'єкту, застосовуються різні технічні способи та засоби контролю. До теперішнього часу перевірити якість конструктивного виконання ЗП в процесі експлуатації енергооб'єктів було можливо тільки шляхом відкопування. Тому розробка нових технічних способів для здійснення систематичного контролю ЗП методом неруйнівного контролю, без розкриття ґрунту і відключення устаткування є винятково важливою й актуальною задачею.

Актуальність цієї задачі підсилюється тим фактом, що в даний час в Україні на підстанціях установлюються пристрої релейного захисту й автоматики як іноземного, так і вітчизняного виробництва на основі мікропроцесорної техніки, яка набагато менше, ніж релейно-контакторна, захищена від впливу пошкоджень, причиною яких може стати несправний ЗП.

Метою роботи є узагальнення та систематизування знань про основні особливості заземлювальних пристроїв розподільних установок та методи їх розрахунку.

## Методи розрахунку заземлювальних пристроїв

Заземлювальні пристрої є частиною електроустановок та служать для забезпечення необхідного рівня електробезпеки в зоні обслуговування електроустановки і за її межами, для відводу в землю імпульсних струмів з блискавковідводів та розрядників і для створення кола при роботі захисту від замикань на землю, а також для стабілізації напруги фаз електричних мереж відносно землі [1].

Найбільш жорсткі вимоги висуваються до заземлювальних пристроїв умовами забезпечення безпеки, оскільки для ізоляції електрообладнання небезпечні різниці потенціалів у всіх випадках значно перевищують номінальну напругу.

Заземлювальні пристрої складаються з таких основних елементів:

- ґрунту, якості якого визначаються його питомим опором;
- штучних заземлювачів, які в електроустановках зазвичай виконуються із заглиблених у землю сталевих електродів (вертикальних у вигляді труб, стрижнів, кутиків та горизонтальних у вигляді заглибленої сталеві полоси або круглої сталі);
- природних заземлювачів – усіх металевих та залізобетонних елементів будівель та споруд, металевих конструкцій та обладнання (оболонки кабелів, трубопроводів), які мають надійний дотик з землею і можуть бути використані для стікання струмів у землю;

- заземлювальних магістралей та провідників, які з'єднують окремі заземлювачі між собою та заземлювачі обладнання.

Для заземлення електроустановок різних призначень та напруг, як правило, використовується один загальний ЗП. Заземленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, приводи електричних апаратів, каркаси розподільних щитів, щитів управління та шаф, металеві оболонки кабелів та кабельні конструкції, а також вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів.

Розрахувати заземлювач – це значить визначити при заданому струмі потенціали в будь-яких точках простору, зокрема потенціал заземлювача, а також потенціали в характерних точках поверхні землі. Передбачається при цьому, що схема заземлювача і його розміри задані, будова землі та її параметри відомі.

В установках з незаземленими та ефективно-заземленими нейралями вимоги до розрахунку заземлювальних пристроїв відрізняються [2].

В установках з незаземленими або резонансно-заземленими нейралями (мережі 6, 10, 35 кВ) обмежується потенціал на заземлювачі ( $U_3$ ), тобто нормується опір заземлювального пристрою  $R_3$ . Пояснюється це тим, що зазвичай в таких мережах струм однофазного замикання на землю менше 500 А (мережі з малими струмами замикання на землю) і такий режим може бути тривалим. Ймовірність попадання під напругу в момент дотику до заземлених частин збільшується.

В установках з ефективно заземленою нейтраллю (мережі 110 кВ і вище) замикання триває короткочасно і відключається релейним захистом, внаслідок чого зменшується ймовірність попадання під напругу дотику або кроку ( $U_{\text{дот}}, U_{\text{кр}}$ ). Струми однофазного замикання на землю, як правило, перевищують 500 А (мережі з великими струмами замикання на землю), тому різко зростають потенціали на заземлювачі. В цих установках нормуються величина  $U_{\text{дот}}$ , яка визначається залежно від тривалості протікання струму через тіло людини, і величина  $R_3$ . Напруга кроку не нормується.

## Висновки

Розглянуто конструктивні особливості заземлювальних пристроїв. Встановлено, що методи розрахунку ЗП залежать від режиму роботи нейтралі електроустановки і від величини струмів однофазного замикання на землю. Норми на заземлювальні пристрої встановлюються вимогами, якими вони повинні задовольняти. Основними є вимоги, що визначають умови електробезпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по проектированию подстанций 35-500 кВ / Под ред. С. С. Рокотяна, Я. С. Самойлова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
2. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

**Стець Артур Віталійович**— студент групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ar.stets.bog@yandex.ru

Науковий керівник: **Тептя Віра Володимирівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Stets Arthur V.** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: ar.stets.bog@yandex.ru

Supervisor: **Teptia Vira V.** — Ph. D., assistant professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ АДРЕСНИХ ВТРАТ У БАЛАНСІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

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

### *Анотація*

*Проведено аналіз існуючих методів визначення адресних втрат викликаних поставками електроенергії за двосторонніми договорами.*

**Ключові слова:** розподіл втрат електроенергії, адресні втрати електроенергії, ринок електроенергії, прямі договори.

### *Abstract*

*The analysis of existing methods for determining the address losses caused by the supply of electricity by direct contracts.*

**Keywords:** distribution of electricity losses, address the loss of electricity, the electricity market, direct contracts.

### **Вступ**

Сьогодні в Україні діє закон «Про засади функціонування ринку електроенергії», хоча його і не виконують повною мірою. У рамках цього закону прописано норму про існування прямих договорів, тільки вони називаються двосторонніми договорами і передбачають укладення договору про постачання електроенергії між виробником і споживачем [1].

За правилами ринку, сторони, які уклали прямий договір, повинні, наприклад, повідомити адміністратору розрахунків і системному операторові про укладені договори. Ця стандартна форма сповіщення необхідна для того, щоб електроенергію, закуплену за прямими договорами, було прибрано з подальшого балансу і щоб вона не потрапила на ринок «на добу вперед» чи балансувальний ринок.

Однак, поставки за двосторонніми договорами неминуче викликають втрати електроенергії, які залишаються у балансі, що вплине на ціни на електроенергію для всіх сегментів енергоринку. Таким чином, виникає необхідність аналізу існуючих та розробки нових шляхів розв'язання задач по визначенню адресних втрат електроенергії викликаних двосторонніми договорами.

### **Результати дослідження**

На даний момент в інженерній практиці різних країн використовується ряд методів, що дозволяють виконувати розрахунок втрат, як з однозначно заданою інформацією, так і з імовірнісно-статистичним оцінюванням втрат (регресійний аналіз) [2-10]. Однак, однозначної методики розподілу втрат між учасниками енергообміну на даний час не існує.

У технічній літературі представлено три групи методів розподілу втрат потужності:

1) Пропорційні методи (Pro Rata Procedures), що базуються на припущенні про рівні внески у втрати мережі генерацій і споживачів. Дані методи, як правило не враховують особливості поточкорозподілу та структуру електричної мережі [2,3];

2) Так звані, граничні методи (Marginal procedures), що базуються на коефіцієнтах приросту втрат (Incremental transmission loss (ITL) coefficients) потужності залежно від зміни навантаження у вузлах [2, 4].

3) Дольові методи (Proportional Sharing Procedures), що базуються на визначенні поточкорозподілу та лінеаризованому розподілі втрат від кожного учасника енергообміну [2,5-10].

Покажемо докладніше окремі алгоритми, що є представниками кожної з груп методів.

*Методи пропорційного розподілу.* Дана група методів є примітивною та досить простою у застосуванні. Як правило дані методи ігнорують топологію мережі та розподіляють втрати потужності між вузлами, що генерують та споживають потужність у певному, попередньо узгодженому, співвідношенні. При пропорційному розподілі 50% втрат від передачі потужності генераторам та 50% споживачам розрахункові вирази приймуть наступний вигляд [2,3]:

$$\Delta P_{Gi} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{2} \frac{P_{Gi}}{P_G}, \quad \Delta P_{Hj} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{2} \frac{P_{Hj}}{P_H} \quad (1)$$

де  $P_G$  – загальна активна потужність генерації;  $P_{Gi}$  – потужність, що генерується у  $i$ -му вузлі;  $P_H$  – загальна активна потужність навантаження;  $P_{Hi}$  – активне навантаження споживачів  $i$ -го вузла;  $\Delta P_{\Sigma}$  – сумарні втрати потужності ЕЕС;  $\Delta P_{Gi}$  – втрати віднесені до  $i$ -го вузла, що генерує потужність;  $\Delta P_{Hi}$  – втрати віднесені до  $i$ -го вузла навантаження.

Необхідно зазначити, що пропорції розподілу втрат між вузлами, що генерують та споживають потужність однакові для всіх вузлів. Слід також зауважити, що частки втрат віднесені як до виробників так і споживачів електроенергії завжди позитивні та можуть сягати 100 % [3].

Використання даного методу для розподілу втрат викликаних впливом взаємних перетоків потужності вбачається сумнівним, оскільки метод не враховує структуру електричної мережі, параметри режиму, особливості потокорозподілу та не має фізичного обґрунтування, що дозволило б стверджувати про достатню міру його адекватності.

*Граничні методи.* У алгоритмах даної групи методів використовуються коефіцієнти чутливості приросту втрат потужності до зміни навантаження [2,4]. Граничні методи, як і попередня група методів, розподіляють втрати потужності між вузлами, що генерують та споживають потужність у співвідношенні, що визначається коефіцієнтами приросту втрат. Приріст втрат потужності, спричинений деяким вузлом забезпечує відповідні зміни у сумарних втратах, пропорційно до зміни навантаження або генерації даного вузла.

Відзначимо, що диференційні втрати на передачу потужності для балансуєчого вузла рівні нулю за визначенням.

Розрахунок втрат віднесених до  $i$ -го вузла, що генерує потужність та навантаження  $j$ , виконується за наступними виразами, відповідно:

$$\Delta P_{Gi} = P_{Gi} \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Gi}} = P_{Gi} K_i \quad (2)$$

$$\Delta P_{Hj} = P_{Hj} \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Hj}} = -P_{Hj} K_j \quad (3)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт приросту втрат потужності, що викликані вузлом  $i$ .

Однак, в результаті нелінійності, сума розподілених втрат  $\Delta P'$  не відповідає реальним (вимірним) сумарним втратам  $\Delta P$ , тобто

$$\Delta P \neq \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} + \sum_{j=1}^{N_H} P_{Hj} = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} K_i - \sum_{j=1}^{N_H} P_{Hj} K_j = \Delta P' \quad (4)$$

де  $N_G$  – множина вузлів, що генерують потужність;  $N_H$  – множина вузлів навантажень.

Тому, для уточнення величини втрат  $\Delta P$  використовується процедура нормалізації:

$$\Delta P = \Delta P' \frac{\Delta P}{\Delta P'} = \left( \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} K_i - \sum_{j=1}^{N_H} P_{Hj} K_j \right) \frac{\Delta P}{\Delta P'} = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} K'_i - \sum_{j=1}^{N_H} P_{Hj} K'_j \quad (5)$$

де  $K'_i = K_i (\Delta P / \Delta P')$  – нормалізований коефіцієнт приросту втрат на передачу потужності для  $i$ -го вузла.

В кінцевому рахунку, втрати розподілені для кожного генератора та навантаження визначаються, відповідно:

$$\Delta P'_{Gi} = P_{Gi} K'_i, \quad \Delta P'_{Hj} = P_{Hj} K'_j \quad (6)$$

Необхідно зазначити, що при використанні граничного розподілу можуть виникати негативні втрати генераторів та навантажень, що можуть бути інтерпретовані, як зниження втрат від зустрічних перетоків потужності.

Даний метод не достатньо враховує структуру електричної мережі, адже отримані результати чутливі лише до величини навантаження та генерації по вузлах і не залежать від схеми мережі. Дана особливість суттєво зменшує адекватність алгоритмів розроблених на основі даної групи методів при дослідженні впливу взаємних перетоків потужності, що цілком залежать від структури електричної мережі.

*Метод дольового розподілу Біалека.* У даному методі, попередньо наближені значення втрат потужності, визначаються першочергово по вузлам, що споживають електроенергію, а потім по вузлам,

що її генерують [2,5]. Відносно навантажень, загальне сумарне навантаження вузла з урахуванням в ньому втрат потужності, що при дотриманні термінології автора може бути перекладено, як “валове навантаження”, включаючи втрати  $P_H^B$  визначається наступним чином:

$$P_H^B = P_H + \Delta P \text{ та } P_H^B = \sum_{j=1}^{N_H} P_{Hj}^B \quad (8)$$

де  $P_{Hj}^B$  – валове навантаження вузла  $j$ .

Загальне валове навантаження дорівнює загальній генерації, тобто  $P_G = P_H^B$ . Використовуючи принцип пропорційного розподілу, баланс потужностей у кожному вузлі еквівалентної безвтратної мережі може бути записано наступним чином:

$$P_i^B = P_{Gi} + \sum_{j \in \alpha_i} c_{ji} P_j^B = P_{Gi} + \sum_{j \in \alpha_i} \frac{P_{ji}^B}{P_j^B} P_j^B \approx P_{Gi} + \sum_{j \in \alpha_i} \frac{P_{ji}}{P_j} P_j^B, \quad i = 1 \dots N \quad (9)$$

де  $P_i^B$  – валова потужність вузла  $i$ ;  $P_{Gi}$  – генерація у вузлі  $i$ ;  $\sum_{j \in \alpha_i} c_{ji} P_j^B$  – переток потужності, що протікає через  $i$ -й вузол від приєднаних до нього ліній;  $\alpha_i$  – сукупність вузлів з яких потужність підтікає до вузла  $i$ ;  $P_{ji}^B$  – валовий переток потужності від  $j$  до  $i$ ;  $P_{ji}$  – реальний переток потужності від  $j$  до  $i$  (береться із вузла  $j$ );  $P_j$  – реальна потужність, що витікає з вузла  $j$ ;  $N$  – загальна кількість вузлів електричної мережі.

Рівняння (9) складає систему лінійних рівнянь, що легко вирішуються при  $P_i^B, i = 1 \dots N$ . Тоді, валові навантаження та втрати розраховуються, відповідно, наступним чином:

$$P_{Hj}^B = \frac{P_j^B}{P_j} P_{Hj} \text{ та } \Delta P_{Hj} = P_{Hj}^B - P_{Hj} \quad (10)$$

Аналогічно, розподіляються та визначаються втрати викликані вузлами, що генерують потужність.

Кінцеві значення генерації та навантажень у вузлах визначаються у відношенні 50% на 50%, як

$$P'_{Gi} = \frac{P_{Gi}^B + P_{Gi}}{2} \text{ та } P'_{Hj} = \frac{P_{Hj}^B + P_{Hj}}{2} \quad (11)$$

Кінцеві значення втрат віднесені до кожного вузла, що генерує та споживає потужність визначаються, відповідно:

$$\Delta P'_{Gi} = P_{Gi} - P'_{Gi} \text{ та } \Delta P'_{Hj} = P'_{Hj} - P_{Hj} \quad (12)$$

В даному методі враховується структура електричної мережі але розподіл втрат потужності від окремих перетоків потужності близький до методу пропорційного розподілу та не має достатнього фізичного обґрунтування, що зменшує достовірність результатів при дослідженні взаємовпливу електричних мереж.

*Методи дольового розподілу засновані на використанні еквівалентної мережі.* Дана підгрупа методів дольового розподілу базується на отриманні радіальної мережі, що цілком еквівалентна реальній [6,7]. Еквівалентність мережі полягає в тому, що значення напруг та їх кути, а також активна та реактивна потужність у вузлах однакові у обох мережах.

Розрахункові вирази даних методів базуються на визначенні параметрів еквівалентної радіальної мережі шляхом розв'язання системи рівнянь, типу [6]:

$$P_i^A = f(U_i, \phi_i, U_j, \phi_j, R_{i,j}, X_{i,j}); \quad i \in \mathbf{N}, j \in \mathbf{K} \quad (13)$$

$$Q_i^A = -f(U_i, \phi_i, U_j, \phi_j, R_{i,j}, X_{i,j}, B_{i,j}); \quad i \in \mathbf{N}, j \in \mathbf{K} \quad (14)$$

де  $P_i^A, Q_i^A$  – активна та реактивна потужність у  $i$ -му вузлі реальної мережі;  $U, \phi$  – напруга та фаза відповідного вузла;  $R_{i,j}, X_{i,j}, B_{i,j}$  – невідомі параметри електричної мережі;  $N$  – вузли мережі;  $K$  –

сукупність вузлів, що генерують потужність, якщо вузол  $i$  є споживачем або сукупність вузлів навантажень, якщо  $i$ -й вузол є генерацією.

Втрати у лінії еквівалентної радіальної мережі пропорційно розподіляються між вузлами початку та кінця лінії.

Алгоритми даної підгрупи методів є досить ефективними та простими у застосуванні при необхідності розподілу втрат потужності між окремими вузлами або електричними мережами, що є сукупністю таких вузлів, однак вони не дозволяють визначити вплив взаємних перетоків потужності між ЕМ об'єднаної ЕЕС без проведення додаткових розрахунків та накладання певних умов, що значно погіршують адекватність методу.

Методи дольового розподілу засновані на адресності активних та реактивних потужностей в ЕЕС. Методи даної підгрупи засновані на визначенні шляхів та орієнтованому графі [8,9]. Алгоритми засновані на використанні даного методу дозволяють за кількість циклів, що дорівнює числу генераторних вузлів, визначити долю активної або реактивної потужності, що протікає від кожного генераторного вузла по віткам схеми у вузли навантажень.

В результаті декомпозиції перетоків потужності у вітках схеми визначаються  $n$  компонентів перетоку  $S_i$  вітки  $l$ , тобто:

$$S_l = \sum_{i=1}^n S_{li} \quad (15)$$

Тоді, втрати активної потужності в вітці  $l$ , з опором  $r_l$ , можуть бути записані, як:

$$\Delta P_l = S_l^2 \frac{r_l}{U_l^2} \quad (16)$$

де  $U_l$  – середня напруга вітки  $l$ .

Алгоритми даної підгрупи методів розраховано на використання лише активного або реактивного перетоку потужності, що припустимо лише для однорідних електричних мереж, а проведення розрахунку з використанням середньої напруги вітки зменшує його точність та адекватність.

Метод дольового розподілу втрат потужності на основі методу накладання. Даний метод базується на представленні залежностей між параметрами режиму електричної мережі в лінеаризованому вигляді, що дозволяє встановити для конкретного стану мережі коефіцієнти розподілу сумарних втрат потужності від навантаження будь-якого вузла по окремих вітках схеми [10].

Вираз для визначення втрат потужності у вітках схеми мережі у даному методі має наступний вигляд:

$$\Delta \dot{\mathbf{S}}_{\mathbf{v}} = \dot{\mathbf{T}}_k \dot{\mathbf{S}} + \dot{\mathbf{T}}_{zp} \quad (17)$$

де  $\dot{\mathbf{T}}_k$  – матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вітках електричних мереж в залежності від потужностей у їх вузлах з врахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку;  $\dot{\mathbf{T}}_{zp}$  – вектор-стовпець втрат потужності у вітках схеми від е.р.с. незбалансованих коефіцієнтів трансформації.

Кожен рядок матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності для  $i$ -тої вітки схеми від потужності у її вузлах та втрати у  $i$ -тій вітці від е.р.с. незбалансованих коефіцієнтів трансформації трансформаторів зв'язку визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} \dot{T}_{ki} &= (\dot{U}_i \mathbf{M}_{\Sigma ki}) \hat{\mathbf{C}}_{ki} \dot{U}_d^{-1}; \\ \dot{T}_{zpi} &= (\dot{U}_i \mathbf{M}_{\Sigma ki}) \hat{\mathbf{D}}_{oi} \hat{\mathbf{U}}_{\bar{o}}, \end{aligned} \quad (18)$$

де  $\mathbf{C}_k = \mathbf{z}_e^{-1} \mathbf{M}_{kt} (\hat{\mathbf{M}}_k \mathbf{z}_e^{-1} \mathbf{M}_{kt})^{-1}$  – матриця струморозподілу з врахуванням трансформаторних зв'язків;  $\hat{\mathbf{D}}_{\bar{o}} = \mathbf{z}_e^{-1} \left( \mathbf{M}_{\bar{o}kt} - \mathbf{M}_{kt} (\hat{\mathbf{M}}_k \mathbf{z}_e^{-1} \mathbf{M}_{kt})^{-1} \mathbf{Y}_{\bar{o}} \right)$  – матриця провідностей, що обмежують зрівнювальні струми від незбалансованих коефіцієнтів трансформації у замкнених контурах ЕС;  $\mathbf{M}_{\Sigma k}$  – матриця зв'язків, що за структурою подібна до першої матриці з'єднань  $\mathbf{M}_{\Sigma}$ , але в якій замість значень “-1” для вузлів кінця віток з ідеальними трансформаторами знаходяться їх коефіцієнти трансформації;  $\hat{\mathbf{U}}_{\bar{o}}$  – вектор-стовпець напруг у балансуємих вузлах;  $\dot{U}_i$  – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і базисний;  $\dot{U}_d$  – діагональна матриця напруг у вузлах включаючи і базисний.



Зауважимо, що складова втрат потужності, яка зумовлена незбалансованими коефіцієнтами трансформації трансформаторних зв'язків може збільшувати, або зменшувати сумарні втрати потужності в залежності від напрямку е.р.с. небалансу у замкнених контурах схеми.

Даний метод є найбільш ефективним з розглянутих методів, зважаючи на необхідність виявлення впливу взаємних перетоків потужності ЕМ ЕЕС. Використання загальноприйнятих моделей нормального режиму ЕЕС та методів їх розрахунку без припущень, що носять апроксимуючий характер підвищують адекватність даного методу.

Перевага даного методу полягає у можливості виділення втрат потужності в будь-якій вітці схеми ЕЕС від довільної групи вузлів, як то ЕМ. Це дозволяє виділити взаємні перетоки потужності, напрямки яких може змінюватись відповідно до природного струморозподілу та носити лише наскрізний характер.

### Висновки

Проведений огляд існуючих методів розрахунку адресних втрат потужності від перетоків потужності за двосторонніми договорами показав, що для аналізу та оцінки втрат потужності перетоків наскрізного характеру доцільно користуватись методом дольового розподілу втрат потужності на основі методу накладання з лінеаризацією струмів у вузлах ЕЕС. Даний метод дозволяє розв'язувати задачі такого типу без додаткових перетворень та припущень, що суперечать основним законам електротехніки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про засади функціонування ринку електричної енергії України» // Відом. Верхов. Ради України. – 2014. – № 22. – Ст. 781.
2. 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, pp. 571–576, Aug. 2002.
3. J. J. Gonzalez and P. Basagoiti, “Spanish power exchange market and information system. Design concepts, and operating experience,” in *Proc. IEEE PICA Conf.*, Santa Clara, CA, May 1999, pp. 245–252.
4. F. D. Galiana, A. J. Conejo, and I. Kockar, “Incremental transmission loss allocation under pool dispatch,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, pp. 26–33, Feb. 2002.
5. J. W. Bialek, “Topological generation and load distribution factors for supplement charge allocation in transmission open access,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, pp. 1185–1193, Aug. 1997.
6. J. Conejo, N. Alguacil, and G. Fernandez-Ruiz, “Allocation of the cost of transmission losses using a radial equivalent network”, *Power Systems, IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, pp. 1353–1356, Nov. 2003
7. Димо П. Модели РЕИ и параметры режима. Объединенные энергосистемы. Пер. с рум. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 382 с.: ил.
8. D. Kirschen, R. Allan, and G. Strbac, “Contributions of individual generators to loads and flows,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, pp. 52–60, Feb. 1997.
9. Гамм А.З., Голуб И.И. Адресность передачи активных и реактивных мощностей в электроэнергетической системе // *Электричество*. – 2003. - №3. - С. 9-16.
10. Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами / Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. – Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008.–123 с.
11. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей. – М.: Энергия, 1972. – 232 с.

**Повстянко Катерина Олександрівна** — студентка групи 2Е-166, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Ivanov@sens.ua

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

**Povstyanko Kateryna O.** — Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : ekaterina.povstyanko@mail.ru

Supervisor: **Burykin Oleksander B.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : mr.burykin@mail.ru

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 кВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Запропоновано підхід до вирішення задачі оптимізації розподільної електричної мережі 0,4кВ та наводить-ся 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, і 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, накінець, самий низький рівень із тих, які розглядаються, вузол навантаження.

Для того, щоб вирішити дану складну оптимізаційну задачу, необхідно її розбити на ряд простих під задач 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 електроприймачів, що мають різні параметри, до лінійних напруг;

- те саме, до фазних напруг;
- те саме, до лінійних і фазних напруг.

Математична модель, дозволяє оптимально під'єднати однофазні навантаження до лінійних напруг має вигляд:

$$\begin{cases} \Delta P_{\Sigma} = 3 \left\{ \left| \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^3 \dot{I}_{lim} x_{im} \right|^2 \right\} \cdot r_{II} \rightarrow \min \\ \sum_{m=1}^3 x_{im} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \\ x_{im} \in \{1, 0\}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\dot{I}_{lim}$  - 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. 2.

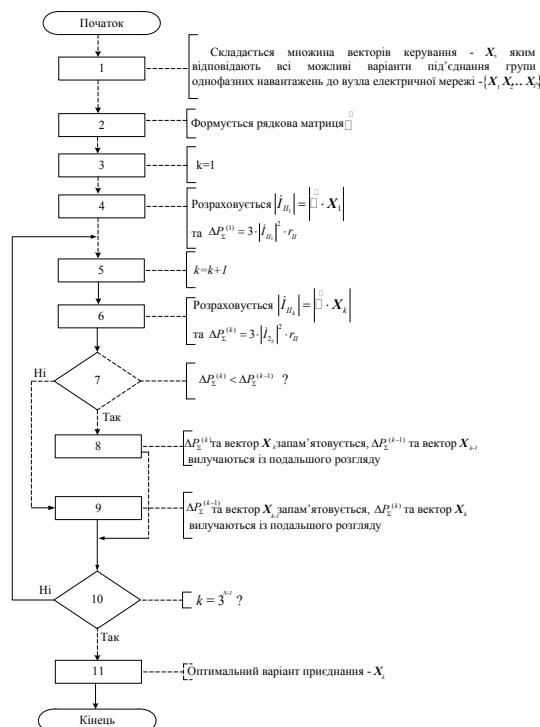


Рис.1 - Алгоритм для визначення оптимального варіанту під'єднання однофазних навантажень до лінійної напруги шляхом

Рядкова матриця  $\square$  формується із струмів  $\dot{I}_{lim}$  таким чином:

$$\square = \begin{pmatrix} \text{Re}\dot{I}_{II11} + j\text{Im}\dot{I}_{II11} & \text{Re}\dot{I}_{II12} + j\text{Im}\dot{I}_{II12} & \text{Re}\dot{I}_{II13} + j\text{Im}\dot{I}_{II13} & \text{Re}\dot{I}_{II21} + j\text{Im}\dot{I}_{II21} \\ \text{Re}\dot{I}_{II22} + j\text{Im}\dot{I}_{II22} & \text{Re}\dot{I}_{II23} + j\text{Im}\dot{I}_{II23} & \dots & \dots \\ \text{Re}\dot{I}_{IIN_11} + j\text{Im}\dot{I}_{IIN_11} & \text{Re}\dot{I}_{IIN_12} + j\text{Im}\dot{I}_{IIN_12} & \text{Re}\dot{I}_{IIN_13} + j\text{Im}\dot{I}_{IIN_13} & \dots \end{pmatrix} \quad (2)$$

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., завідуючий кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

**Олександр Олександрович 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.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГАСІННЯ ДУГИ В ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧАХ

Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

*Розглянуто основні принципи гасіння електричної дуги в елегазових вимикачах високої напруги, характеристики елегазу відносно використання в дугогасильних пристроях вимикачів високої напруги, здійснено вибір елегазового комутаційного обладнання.*

**Ключові слова:** елегаз, вимикач, повітря, електрична дуга.

### Abstract

*The basic principles of the arc extinguishing in gas-insulated high voltage circuit breakers, insulating gas characteristics relatively to usage in arc devices of high voltage circuit breakers are considered. The choice of gas insulated switching equipment was done.*

**Keywords:** insulating gas, circuit breakers, air, electric arc.

### Вступ

У високовольтних електроустановках, таких як електростанції і підстанції, велику увагу приділяють гасінню дуги. Для того, щоб відключити споживача від мережі, поступають наступним чином: відключають вимикач з дугогасильною камерою, а вже потім додатково відокремлюють його від лінії роз'єднувачем.

Елегазові високовольтні вимикачі, дугогасильні пристрої яких працюють в середовищі електротехнічного газу SF<sub>6</sub>, поєднують в собі переваги різних типів вимикачів: можливе використання елегазових вимикачів на будь-яких напругах, застосовуваних у вітчизняній енергетиці; невелика маса і габаритні розміри конструкції елегазових вимикачів в поєднанні з безшумною роботою приводу; збільшена комутаційна здатність елегазового вимикача; робота в режимі перемикання великих і малих струмів без виникнення перенапруги, що автоматично виключає наявність пристроїв ОПН (обмеження перенапруги); висока надійність елегазового вимикача, пожежобезпечність обладнання.

### Результати дослідження

У високовольтних колах змінного струму процес гасіння дуги пов'язаний з переходом струму через нуль, коли в області нуля струму, завдяки активній деіонізації міжконтактного проміжку, вдається збільшити його електричну міцність і пробивна напруга вище прикладеної перехідної напруги.

Підвищення ефективності дугогасіння безпосередньо пов'язано з інтенсивністю взаємодії елегазу з електричною дугою в камері і соплових конструкціях дугогасильного пристрою. У сучасних елегазових вимикачах використовується система поздовжнього газового дуття (рисунок 1), де дуговий розряд 1 (електрична дуга відключення) між контактами 3-4 взаємодіє через сопло 2 з поздовжнім потоком дугогасильного газу, забезпеченого перепадом тисків P/P<sub>в</sub>, де P – тиску газу вверх по потоку, P<sub>в</sub> – тиск газу вниз по потоку (у камері вимикача), або система двостороннього дуття (потоки газу спрямовані в протилежні сторони). На середні класи напруги застосовуються дугогасильні пристрої з використанням ефекту автогенерації і електромагнітного дуття (див. рисунок 2 а, б).

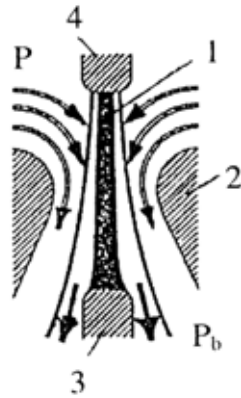


Рисунок 1 – Принципова схема ДП одностороннього газового дуття

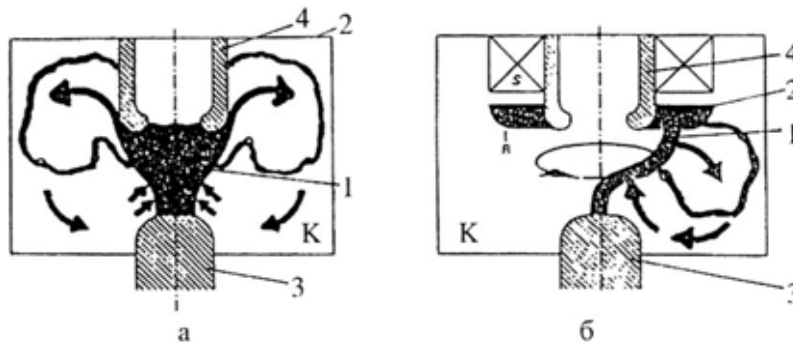


Рисунок 2 – Принципова схема ДП з автогенерацією (а) і ДП з електромагнітним дуттям (б)

Застосування ефекту автогенерації (див. рисунок 2а), коли в дугогасильній камері К під дією випромінювання і високої температури дугового розряду 1 на контактах 3-4 ізоляційні стінки 2 камери К виділяють газ, дозволяє збільшити тиск газу в камері К не тільки завдяки високій температурі, а й додатковій масовій витраті від газогенеруючих стінок цієї камери. У дугогасильному пристрої з електромагнітним дуттям (див. рисунок 2б) взаємодія дуги відключення 1 з магнітним полем котушки *s* викликає інтенсивний рух дуги по контактах і підвищення взаємодії дуги з елегазом в камері К. Зазвичай в даних пристроях дуга відключення 1 перекидається на додатковий дугогасильний контакт 2 і обертальний рух дуги відключення викликає нагрівання газу в камері К.

Гідродинамічна нестійкість в поєднанні з електромагнітною нестійкістю дугового розряду створюють в прикордонному шарі (шарі змішування) складний характер взаємодії газового середовища з електричною дугою відключення, який і визначає ефективність дугогасіння.

Представлені на рисунках 1 і 2 принципи дугогасіння знайшли застосування в ряді конструкцій дугогасильних пристроїв елегазових вимикачів.

### Висновки

Таким чином було досліджено електрофізичні процеси гасіння дуги в елегазовому середовищі. Розглянуто основні принципи гасіння електричної дуги в елегазових вимикачах високої напруги. Проаналізовано характеристики елегазу відносно використання в дугогасильних пристроях вимикачів високої напруги. Проаналізовано вплив характеристик елегазу та дугогасильного пристрою на відключаючу здатність.

Використання елегазового електрообладнання має займати все більш важливе місце в сучасній електроенергетичній галузі України що диктується, насамперед, необхідністю продовження терміну служби та підвищення ефективності гасіння дуги високовольтного електрообладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.И. Вишнеvский. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 728 с.
2. Лежнюк П.Д., Зелінський В.Ц. Фізичні основи електричних апаратів: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. –184 с.
3. Основы теории электрических аппаратов: Учебное пособие для электротехнических специальностей вузов / Б.К. Буль, Г.В. Буткевич, А.Г. Голжелло и др./ Под редакц. Г.В. Буткевича. – М.: Высшая школа, 1970. – 600 с.
4. К. Реггаллер, Р. Рейхат. Физика дуги и переходные процессы в сетях / Под ред. К. Реггаллера. – М.: Энергоиздат, 1981. – 345 с.
5. Буткевич Ю.В. Дуговые процессы при коммутации электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1973.

**Кушченко Павло Вікторович** — студент групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kushchenko@list.ru

Науковий керівник: **Наталія Валеріївна Собчук** — доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Kushchenko Pavlo V.** – Faculty electricity and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: kushchenko@list.ru

Supervisor: **Sobchuk Natalia V.** - Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ШУНТУЮЧИХ РЕАКТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація:** Розглянуто результати досліджень пошкоджень шунтуючих реакторів 750 кВ. Приділена увага конструктивним особливостям шунтуючих реакторів, найбільш частим видам пошкоджень та засобам їх діагностування.

**Ключові слова:** діагностування, пошкодження, шунтові реактори, пристрої контролю, ізоляція, обмотки, магнітопровід.

**Abstract:** considered the results of studies of damage shunt reactors 750 kV. Attention is paid to the design features shunt reactors, the most common types of injuries and their means of diagnosis.

**Keywords:** diagnosis, damage, shunt reactors, control machines, insulation, winding, magnetic.

### Вступ

На сьогоднішній день більшість електричного обладнання вітчизняної енергосистеми вичерпало свій ресурс, оскільки воно було виготовлене ще за радянських часів. Шунтуючі реактори є важливим елементом електричної мережі, оскільки вони компенсують емнісну реактивну потужність в лінії і за рахунок цього забезпечують такі рівні напруг на шинах підстанцій, за яких відхилення напруг не перевищують нормованих значень. Отже такі реактори підвищують надійність обладнання 750 кВ та зменшують його пошкоджуваність.

### Результати дослідження

Розглянувши відомості про відмови реакторів можна виділити такі основні види пошкоджень реакторів:

- пробій ізоляції уздовж обмоток дискової конструкції з розвитком розрядів по циліндрах;
- порушення електричного кола в обмотках переплетеного типу з виникненням виткових замикань;
- газовиділення через конструктивні недоліки реакторів;
- пошкодження високовольтних вводів;
- перегрів і розряди на електромагнітному екрані, перегрів склотекстолітового кільця та С-подібного магнітного шунта.

На рис. 1 зображено вигляд реактора після його відмови. Звідси видно, що він повністю зруйнований і відновити його неможливо.

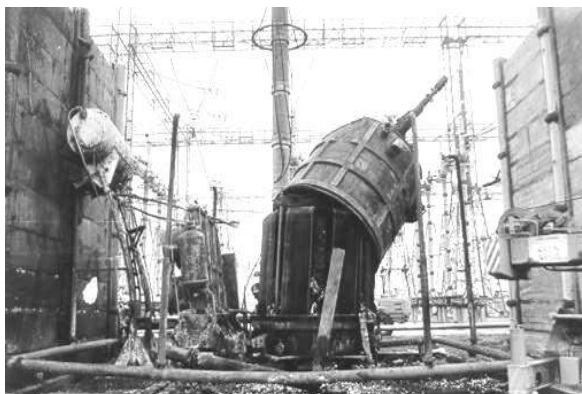


Рисунок 1 – Пошкоджений реактор



## Висновки

Розглянувши конструкцію і основні типи пошкодження можна зробити висновок про те, які основні типи випробувань потрібно проводити, для забезпечення надійного стану функціонування реакторного обладнання.

Основні види випробувань ізоляції: вимірювання опору ізоляції при напрузі 2,5 кВ; вимірювання ємності та діелектричних втрат при напрузі 5 – 10 кВ; хроматографічний аналіз трансформаторного масла; тепловізорний контроль та інше.

Для забезпечення достатньої ефективності випробувань вимірювання ізоляції необхідно проводити при напрузі, яка близька до номінальної фазної напруги.

Зосереджені дефекти головної та виткової ізоляції досить надійно виявляються вимірюванням часткових розрядів при збудженні фазної напруги і вище. Такі вимірювання особливо доцільні після робіт із зливом масла з устаткування для оцінки якості сушіння ізоляції і дотримання технології заливки маслом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев Б.А. Основное электрооборудование в энергосистемах // М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с.
2. 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.
3. Гейчер Г., Дженкинс Р., Соллергрэн Б., Майклабаст Р. Некоторые проблемы применения, проектирования и испытания мощных шунтирующих реакторов, - «Трансформатор», СИГРЭ, 1964 и 1966, доклад № 118. / М., «Энергия», 1968, с. 86-93.
4. Мاستрюков Л.А., Вылеток О.Н., Лурье С.И. Проблемы проектирования мощных шунтирующих реакторов. М., «Информэлектро», 1969. 18 с.
5. Лизунов С.Д., Смирнов Ю.Ф., Языков В.И. Испытания мощных шунтирующих реакторов высших классов напряжения. – «Электротехника», 1973, №3, с. 39-43.

**Мельничук Андрій Сергійович** — студент групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: melnychukandriy@rambler.ru;

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

**Andrii S. Melnychuk** – Faculty electricity and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: melnychukandriy@rambler.ru;

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

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

### *Анотація*

*Досліджено вплив вітрових електричних станцій на режим роботи локальної електроенергетичної системи, окремі питання стосовно стабільної роботи таких станцій у складі енергосистеми та проблеми керування локальною електричною системою з вітроустановками.*

**Ключові слова:** вітроустановка, вітрова електрична станція, локальна електроенергетична система, системи керування.

### *Abstract*

*The influence of wind power stations on the operation of the local power system, some questions about the stable operation of those power stations and the problem of control the local electrical system with the wind turbines have been investigated.*

**Keywords:** wind turbine, wind power station, the local electric power system, control system.

### **Вступ**

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 об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, потреби в електроенергії в районах розміщення вітроелектростанцій (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 [1].

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**

Серед основних проблем, які мають вирішуватись при прийнятті рішень про будівництво ВЕС і які потребують окремих досліджень в кожному конкретному випадку, є коло питань, пов'язаних з випадковою природою вітру. Так, характеристики вітру змінюються при переході до іншої місцевості, іншого сезону, а у різні роки різняться навіть в тій же точці та в тому ж сезоні; ці зміни носять випадковий характер, проте мають певні закономірності, які потребують вивчення стосовно конкретних умов. Швидкість вітру має змінний по висоті профіль, що залежить від характеру місцевості, підстилаючої поверхні, погоди та інших факторів.

Окрім того, вітровий потік має пульсуючу природу, спричинену турбулентністю, що впливає на режим роботи вітроустановок (ВЕУ). Вітроустановки мають енергетичну характеристику (здатність перетворювати кінетичну енергію вітру в електричну), яка на практиці може бути

визначена лише наближено, в залежності від стабільності вітрового потоку. ВЕУ і самі здатні впливати на вітровий потік, спотворюючи його та змінюючи цим характер роботи сусідніх ВЕУ.

Стабільна робота ВЕС у складі локальної енергосистеми (ЛЕС) потребує знання не лише довготривалих перспектив генерування електроенергії, а й короткотермінових змін, тобто прогнозування на найближчі години та дні. Так, при великих обсягах впровадження ВЕС до ЛЕС вони можуть помітно впливати як на загальну стабільність енергозабезпечення, включаючи режими проходження пікових навантажень, так і на економічну складову внаслідок зростання потреб у резервних потужностях [3-4].

Ступінь та характер цього впливу можна оцінити лише з певною імовірністю, беручи до уваги особливості конкретної ЛЕС, характерні вітрові режими територій розміщення ВЕС, доступну точність прогнозування, тощо. Традиційні принципи та правила управління ЛЕС розроблялися з розрахунку на детерміновану природу генеруючих об'єктів, звісно з поправкою на технічну надійність обладнання та наявність випадкової складової в режимі споживання електроенергії. Однак наявність ВЕС вносить додаткову невизначеність, що може вимагати розробки спеціальних алгоритмів керування ЛЕС [5-6].

Зростання частки вітрових електростанцій у складі ЕЕС ускладнює можливості регулювання енергобалансу в силу випадкового характеру вітрової енергії. Одним з проблемних питань є зростання потреби у регулюючих потужностях, здатних компенсувати неочікувану зміну виробітку електроенергії на ВЕС. Важливими факторами при цьому є швидкість та амплітуда змін, їх узгодженість з добовими графіками споживання електроенергії та її виробництва іншими електростанціями.

Вплив вітрових електростанцій на роботу ЛЕС аналізується переважно шляхом математичного моделювання [7]. Разом з тим, існує значний досвід практичного використання ВЕС, зокрема щодо зміни їх потужності при різких перепадах швидкості вітру. Так, за даними Міжнародної енергетичної агенції ІЕА, для ВЕС в екстремальних погодних умовах зафіксовано стрибки потужності зі швидкістю 10-35% номінальної потужності за годину (окремі значення – майже до 40%) [8]. Проте середній темп змін – 5% на 180 годину. Щодо змін за одну хвилину – зафіксовано максимальні значення 0,5-0,8% номінальної потужності. Розмах коливань потужності для одиничних агрегатів в цілому більший, ніж для ВЕС, що займають значну територію. Так, для 1-годинного осереднення стандартне відхилення зростає десь на третину при переході від великої кількості ВЕУ (понад 250) до малої (до 14 одиниць). На більш тривалих інтервалах часу можливі суттєвіші коливання потужності; в екстремальних ситуаціях вітроустановки зупиняють повністю. Враховуючи, що грозовий фронт звичайно потребує 4-6 годин, щоб перетнути територію в сотні кілометрів, для такого часового масштабу актуальним є застосування різних методів прогнозування роботи ВЕС.

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]. Згідно з досвідом країн світу, певну частку виробленої ВЕС електроенергії енергосистема може поглинати практично без будь-яких складнощів, але при перевищенні цієї величини виникають труднощі як мережевого, так і режимного характеру. Здебільшого порогова величина оцінюється як 10% від загального споживання електроенергії в країні.

Інтегрування значних потужностей вітроустановок може серйозно впливати на роботу ЛЕС – її стабільність, надійність та економічність, а також істотно ускладнювати роботу диспетчерських служб. Це обумовлює ряд вимог до вітроустановок, виконання яких має передувати підключенню ВЕС до мережі. Зокрема, необхідні механізми компенсації змін потужності від номінальної до нульової протягом короткого часу. Виникають відповідні технічні вимоги до системи керування ВЕС [6]. Гострота вимог залежить від точності передбачення поточної потужності. Важливо прогнозувати швидкість вітру та відповідну потужність ВЕС, щоб планувати роботу енергосистеми відповідно до робочих графіків та договірних зобов'язань. Якщо частка вітрової енергетики значна, то навіть малі похибки у прогнозі поведінки вітру спричинять значну

погрішність у визначенні активної потужності, натомість точний прогноз здатен максимізувати прибутковість та мінімізувати ризики.

### Висновки

Продуктивність вітрових станцій змінюється відповідно до швидкості вітру, тоді як енергосистема має утримувати баланс між генеруванням та споживанням енергії. Вплив змін потужності ВЕС на керуваність та стійкість ЛЕС є важливим чинником.

Таким чином, крупна ВЕС може стати вагомим дестабілізуючим фактором, що впливатиме навіть на сусідні енергосистеми за відсутності відповідного регулювання.

Для утримання ЛЕС в стабільному стані виробники енергії повинні постійно пристосовуватися до змінного навантаження з боку споживачів, використовуючи також системи акумулювання. Однак для ВЕС характерними є додаткові коливання потужності внаслідок непостійності вітру. Якщо активна потужність ВЕУ може іноді бути знижена при зменшенні потреб у енергії, то збільшитись при зростанні потреб вона не може внаслідок обмеженої швидкості вітру. Тому чим більша частка вітрової енергії, тим важче утримувати баланс енергосистеми.

### 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. Кузнєцов М.П. Забезпечення електроенергетичного балансу при наявності вітрових електростанцій / М.П.Кузнєцов // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 2. – С. 60–64.
4. Кузнєцов М.П. Проблеми забезпечення електроенергетичного балансу в енергосистемах з інтегрованими вітровими електростанціями / М.П.Кузнєцов // Відновлювана енергетика XXI століття: XV міжнар. конф., 16 – 17 вересня 2014 р.: тези доп. – Київ, 2014. – С. 254–260.
5. Бурикін О.Б. Оптиміальне керування відновлювальними джерелами електроенергії у локальних електричних системах [Текст] / Бурикін О.Б., Томашевський Ю.В., Малогулко Ю.В., Радзівська Н.В. // Вісник ВПІ. Енергетика та електротехніка. – 2016. - №4. – С. 69-74. -ISSN: 1997-9274.
6. Малогулко Ю.В. Автоматизація оптимального керування відновлюваних джерел енергії в локальних електричних системах. / Ю.В. Малогулко, Н.В. Радзівська // XLV Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки. - Вінниця: ВНТУ, 2016.
7. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлювальними джерелами енергії [Текст] / Бурикін О.Б., Малогулко Ю.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – №2 - Вип. 15 (338). – С. 42-46. - ISSN 2074-2630.
8. Ditlevsen S. Inference for observation of integrated diffusion processes /S.Ditlevsen, M.Sorensen // Scandinavian Journal of Statistics. – 2004. – N. 31. – P. 417–429.

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

**Юрій Васильович Семенюк** — студент гр. 1E-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [Semenyuk.yura@bk.ru](mailto:Semenyuk.yura@bk.ru).

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

**Yriy V. Semenuk** —student of 1E-14 group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [Semenyuk.yura@bk.ru](mailto:Semenyuk.yura@bk.ru).

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

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

### Анотація

Досліджено та проаналізовано сучасний стан розвитку біогазових установок в Україні та їх вплив на режими роботи електроенергетичної системи.

**Ключові слова:** біогазова установка, електроенергетична система, відновлювані джерела енергії, «зелений тариф».

### Abstract

Investigated and analyzed the current state of biogas plants in Ukraine and their impact on modes of power system.

**Keywords:** biogas plant, electric power system, renewable energy, "green tariff".

### Вступ

Розвиток відновлюваних джерел енергії зумовлює появу низки проблем, які відносяться до надійності електропостачання споживачів, якості електричної енергії в мережах та транспортування електроенергії, виробленої такими джерелами [1-2]. Значна увага приділяється виробленню енергії біогазовими установками, про що свідчить стимуляція з боку держави у вигляді «зеленого тарифу» (рис. 1). За останні роки на державному рівні відбулися певні зрушення щодо розуміння необхідності підтримки розвитку в Україні біогазової енергетики [3].

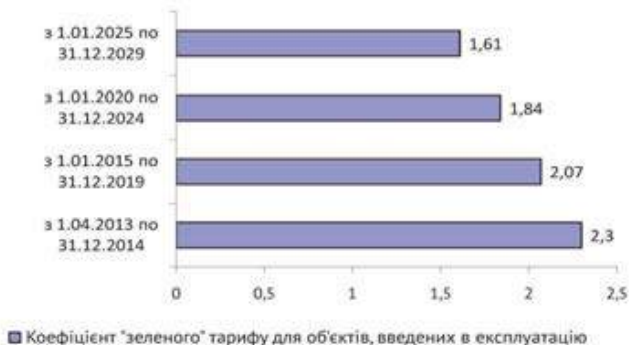


Рис. 1.1 – Коефіцієнт «зеленого» тарифу для деяких підприємств

Сучасна біогазова установка – це комплекс пристроїв, пов’язаних між собою гідравлічними, механічними, електричними та інформаційними зв’язками. В час високих технологій управління виробленням біогазу повинно бути максимально комп’ютеризованим та автоматизованим, щоб забезпечити максимальний ККД. Поширення біогазової технології у світі стало зростати в геометричній прогресії, це обумовлено, в першу чергу, постійно зростаючими цінами на природний газ і електрику. Також зіграло свою роль і те, що ці установки є екологічно чистими, не забруднюючими абсолютно навколишнє середовище [3-4].

Активний розвиток ринку сучасних біогазових технологій і обладнання в Україні відбувається впродовж останніх 10 років. На вітчизняному ринку сьогодні представлені як провідні компанії, так і маловідомі підприємства, які лише почали розвивати цей напрям поновлювальної біоенергетики. За оцінками фахівців, з усіх можливих джерел альтернативної енергії, найбільш прогресивними та перспективними для розвитку в світі та в Україні, зокрема, є

біогазові технології, оскільки вони дозволяють одночасно утилізувати відходи, отримувати біодобрива та виробляти електроенергію [5].

### Результати дослідження

Для інтенсивного нарощування виробництва біогазу та енергії з нього необхідно створити умови для розвитку цього виду бізнесу, які дозволили б залучати як 21 вітчизняні, так і іноземні інвестиції, використовувати передові закордонні технології, а також сприяли б розвитку вітчизняних аналогів на базі інноваційних рішень.

Використання біомаси як відновлювального джерела енергії – один із перспективних напрямів розвитку світової відновлювальної енергетики. На сьогоднішній день для енергетичних потреб у світі використовується 1250 млн т біомаси [6]. Енергетична ефективність біоенергетики є достатньо високою для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства. В Україні є достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і відповідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики [7]. Енергетичний потенціал біопалива в Україні у 2008 році наведено в таблиці 1.

Сам процес утворення біогазу - це так зване метанове бродіння, яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій. Біогаз утворюється у результаті розкладання органічних речовин при анаеробних умовах без доступу кисню і представляє собою суміш метану (40–75%), вуглекислого газу (25–55%) та інших газів (<10%). Як сировину для переробки на біогаз можна використовувати органічні відходи діяльності тваринницьких ферм і переробних підприємств, а також спеціально вирощену зелену масу сільськогосподарських рослин.

Таблиця 1 – Енергетичний потенціал біопалива в Україні

	Енергетичний потенціал, млн т у.п./рік	
	Теоретичний	Технічно-Досяжний
<b>1. Тверде біопаливо</b>		
1. Солома зернових культур (пшениця, жито, ячмінь, овес тощо)	10,39	4,32
2. Солома технічних і круп'яних культур (ріпак, гречка, просо та ін.)	2,72	1,57
3. Відходи переробної промисловості (лушпиння соняшника, гречки, рису та ін.)	1,30	0,98
4. Стебла та стрижні початків кукурудзи	5,70	3,3
5. Стебла та кошики соняшника	4,2	2,34
6. Відходи рубки та переробки деревини	2,13	1,37
7. Енергетичні культури (тополя, верба, міскантус тощо)	14,58	10,26
Всього	41,09	24,14
<b>2. Рідке біопаливо</b>		
8. Біоетанол	2,33	1,93
9. Біодизель	1,28	1,06
Всього	3,61	2,99
<b>3. Газоподібне біопаливо</b>		
10. Біогаз із гною та рослинних відходів	4,86	2,95
11. Біогаз зі стічних вод	0,21	0,12
12. Біогаз із полігонів твердих побутових відходів	0,77	0,38
Всього	5,84	3,45
<b>4. Викопне біопаливо</b>		
13. Торф	0,77	0,42
Загалом	51,31	31,00

## Висновки

Розвиток біогазових технологій в Україні дозволить у перспективі замінити від 2,6 до 18 млрд. м<sup>3</sup> природного газу на рік. Розвиток біогазових технологій зробить значний внесок у забезпечення енергетичної незалежності держави, сформує альтернативний газопаливний ресурс, забезпечить можливість покриття пікових навантажень в електромережі, а також сприятиме створенню нових робочих місць та розвитку місцевої економіки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурикін О.Б. Оптимальне керування відновлювальними джерелами електроенергії у локальних електричних системах [Текст] / Бурикін О.Б., Томашевський Ю.В., Малогулко Ю.В., Радзівєвська Н.В. // Вісник ВПІ. Енергетика та електротехніка. – 2016. - №4. – С. 69-74. -ISSN: 1997-9274.
2. Лежнюк П.Д. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах [Текст] / Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Малогулко Ю.В. // Вісник НТУ "ХПІ". - 2014. - №60. - С.68-77.
3. <http://www.agro-business.com.ua>.
4. <http://jak-zrobyty.pp.ua/3299-bogazov-ustanovki.html>.
5. Г.С. Ратушняк «Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання» / Навчальний посібник – Вінниця: ВНТУ, 2002. – 120 с.
6. Підручник «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії». С.О. Кудря, - К.:НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
7. Кудря С. О., Яценко Л. В., Душина Г. П., Шинкаренко Л. Я., Довга В. Т., Васько П. Ф., Бриль А. О., Шурчков А. В., Забарний Г. М., Жовмір М. М., Віхарев Ю. А. «Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії» - К., 2001. - 41с.

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

**Роман Леонідович Маньківський** — студент гр. 2Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mankivskij@gmail.com](mailto:mankivskij@gmail.com).

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

**Roman L. Mankivskiy** — student of 2E-13 group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [mankivskij@gmail.com](mailto:mankivskij@gmail.com).

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

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

### *Анотація*

*Розглянуто питання поточного стану існуючих бар'єрів та перспектив розвитку біоенергетики в Україні. Показано можливість, важливість і актуальність використання біомаси як палива. Запропоновано реалістичні цілі для розвитку сектору біоенергетики в країні.*

**Ключові слова:** біоенергетика, біопаливо, відновлювальна енергетика, сектор біоенергетики.

### *Abstract*

*Considered the question of the current state and prospects of existing barriers to bioenergy development in Ukraine. Shown the possibility of the importance and relevance of using biomass as fuel. Offered a realistic targets for bioenergy development in the country.*

**Keywords:** Bioenergy, biofuels, renewable energy, bioenergy sector.

### Вступ

Відновлювана енергетика – сектор енергетики, що динамічно розвивається у світі. На сьогодні частка ВДЕ в загальному постачанні первинної енергії в світі становить близько 13%, в тому числі біомаси – 10%, що відповідає більше 1300 млн. т н.е./рік [1].

Європейський досвід свідчить, що енергія, яка вироблена з біомаси та інших відновлювальних джерел, відіграє все більш провідну роль у загальному енергетичному балансі. Згідно з даними фахівців Біоенергетичної асоціації України, в ЄС частка відновлюваних джерел вже сьогодні становить 15%, а в Україні – 1% [2-4]. При цьому саме біомаса складає 62% загального внеску відновлювальних джерел енергії. А в європейських країнах з найбільш високорозвиненим агропромисловим комплексом, таких, як Угорщина, Польща, Фінляндія, країни Балтії, за рахунок великого об'єму біоенергетичної сировини, виробництво енергії з біомаси сягає 95%. Враховуючи потенційні можливості України щодо кількості сировини для виготовлення біомаси, наша держава має усі шанси обійняти лідируючі позиції в галузі біоенергетики [5].

За даними дослідження [3], за 2013 рік частка відновлювальних джерел енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні досягла 3,45%, у тому числі біомаса - 2,2%, що становить 63% від усіх відновлювальних джерел енергії. Це свідчить про те, що порівняно з 2012 роком спостерігається помітний ріст внеску біомаси до загального постачання первинної енергії - на 23%. При цьому на 2015 рік Біоенергетична асоціація України прогнозує ще більше зростання цих показників у зв'язку з гострою необхідністю заміщення російського газу альтернативними видами палива.

Фахівці з біоенергетики зазначають, що для виконання поставленої цілі в Україні є достатній потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії - більше 27 млн. т умовного палива на рік. Основні її складові - первинні відходи сільського господарства. Але наразі на енергетичні потреби в Україні використовується лише 10% загального потенціалу біомаси - 2,7 млн т умовного палива на рік. Головним чином це деревна біомаса (86% від загального обсягу використання біомаси) та лушпиння соняшника ( 8%). Найменш активно застосовуються рослинні відходи - 94 тис т соломи на рік, що становить менше 1% економічного потенціалу соломи в Україні.

Згідно з базовим сценарієм (розробленим на основі Національного Плану дій щодо ВДЕ до 2020 року), частка ВДЕ в загальному енергоспоживанні країни до 2030 року може досягти 13,2 %, в той час як сценарій, запропонований експертами IRENA, пропонує збільшити цей показник до 21,8 %. Таке збільшення частки відновлюваної енергетики в кінцевому енергоспоживанні до 2030 року призведе до щорічної економії фінансів в розмірі 175 млн. доларів США, а з урахуванням переваг, отриманих від зменшення шкідливого впливу роботи енергогенеруючих об'єктів на здоров'я людини і скорочення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу, щорічна економія коштів зросте від 1,3 млрд. доларів США, (базовий прогноз) до 5,5 млрд. доларів США (оптимістичний прогноз) [1].

На рисунку 1 приведено дані щодо впровадження технологій відновлюваної енергетики в Україні за двома сценаріями – базовим та сценарієм IRENA.



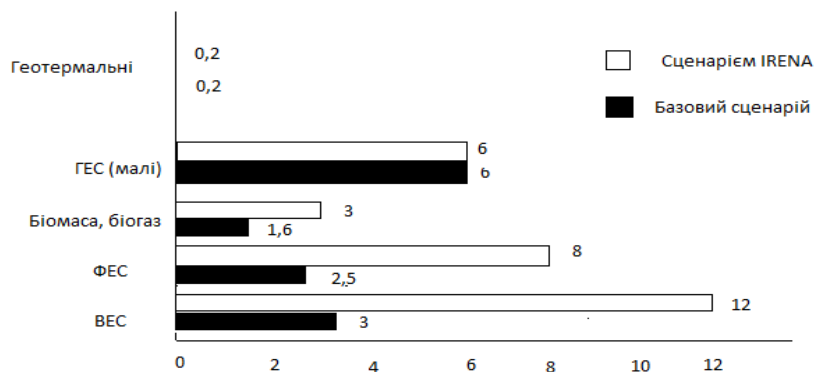


Рис. 1- Встановлена потужність ВДЕ з виробництва електроенергії в 2030, ГВт

Українська влада намагається приймати всі необхідні заходи для розвитку біоенергетики. Протягом 2014 року було прийнято низку урядових постанов, спрямованих на стимулювання заміщення природного газу альтернативними видами енергії. Втім, незважаючи на деякий прогрес у розвитку біоенергетичних технологій, залишається низка бар'єрів, які створюють різноманітні перешкоди [6].

Європейський Союз успішно рухається до досягнення мети 2020 року з відновлюваної енергетики – 20% енергії з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому енергоспоживанні. За останні 10 років цей показник зріс з 8% до 14% (рис. 2). Три країни (Швеція, Болгарія та Естонія) вже виконали свої національні цілі 2020 року.

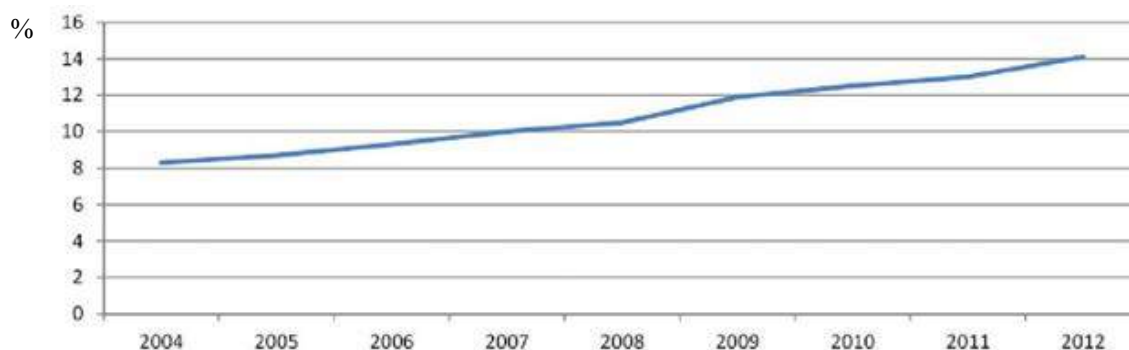


Рис. 2 - Динаміка зростання частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні ЄС

### Результати досліджень

На сьогоднішній день обсяги споживання біомаси для виробництва енергії в Європейському Союзі становлять понад 120 млн. т н.е./рік, а до 2020 року валове кінцеве споживання біомаси має зрости до 138 млн. т н.е./рік. Основним видом біомаси, що використовується, є тверда біомаса. Її частка в загальному обсязі споживання незмінно становить близько 70%.

Внесок біомаси до валового кінцевого енергоспоживання ЄС вже перевищив 8%, а до 2020 року має зрости до 14%. В окремих країнах-лідерах рівень розвитку біоенергетики значно вище середньоевропейського. Так, в Фінляндії частка біомаси в кінцевому енергоспоживанні становить 28%, в Латвії – більше 27%, в Швеції та Естонії – близько 26% (для порівняння – в Україні 1,78%).

Україна має великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, що є гарною передумовою для динамічного розвитку сектора біоенергетики. Економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в країні складає близько 20-25 млн. т у.п./рік. Основними складовими потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла кукурудзи, стебла соняшнику і т.п.) – більше 11 млн. т у.п./рік (за даними 2015 р.) та енергетичні культури – близько 10 млн. т у.п./рік (Табл. 1). При цьому сільськогосподарські відходи є реальною частиною потенціалу біомаси, а дані щодо енергетичних культур відображають обсяг біомаси, який можна отримати при вирощуванні цих культур на вільних землях в Україні. Слід зазначити, що цей процес активно розвивається останні кілька років.

Площа незадіяних сільськогосподарських земель в Україні становить 3-4 млн. га, за даними 2015 року – 3,5 млн. га. Кілька можливих сценаріїв вирощування енергетичних культур на цих

землях представлено в Таблиці 7. Сценарії відрізняються між собою площею земель, виділених під вирощування енергетичних культур – 1 млн. га, 2 млн. га і 3 млн. га. Для всіх сценаріїв обрані найбільш перспективні культури – верба, міскантус, тополя, кукурудза і наступний розподіл загальної площі: верба – 25%, міскантус – 15%, тополя – 10%, кукурудза – 50%.

Таблиця 1- Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн. т	Частка, доступна для отримання енергії, %	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Солома зернових культур	30,6	30	4,54
Солома ріпаку	4,2	40	0,84
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	40,2	40	4,39
Відходи виробництва соняшнику (стебла, кошики)	21,0	40	1,72
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	6,9	75	1,13
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	4,2	90	1,77
Біодизель (з ріпаку)	-	-	0,47
Біоетанол (з кукурудзи та цукрових буряків)	-	-	0,99
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	1,6 млрд. м <sup>3</sup> метану (CH <sub>4</sub> )	50	0,97
Біогаз з полігонів ТПВ	0,6 млрд. м <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	34	0,26
Біогаз із стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 млрд. м <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	23	0,27
Енергетичні культури <sup>3)</sup> :			
- верба, тополя, міскантус	11,5	90 <sup>2)</sup>	6,28
- кукурудза (біогаз)	3,3 млрд. м <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	90 <sup>2)</sup>	3,68
Торф	-	-	0,40
<b>Всього</b>	-	-	<b>27,71</b>

### Висновок

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Нажаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських. На сьогоднішній день частка біомаси в загальному постачанні первинної енергії в країні становить лише 1,2%, а у валовому кінцевому енергоспоживанні – 1,78%.

Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т у.п./рік біомаси різних видів. При цьому основний внесок робить деревина – її частка в структурі річного споживання біомаси складає майже 80%. На деревину припадає і найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80%, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче. Найменш активно (на рівні 1%) реалізується енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку.

Прийнятий урядом план дій з ВДЕ до 2020 року ставить завдання перед сектором біоенергетики додатково замінити 5,27 млрд. куб м на рік природного газу твердим біопаливом і досягти загального заміщення 7,2 млрд. куб м на рік у 2020 році. Це потребуватиме значного

нарощування використання теплогенеруючого обладнання на біомасі: з 3 650 МВт у 2013 році до 15 750 МВт у 2020 році. Фактично збільшення потужностей - у 4,3 рази.

Досягнення таких цілей неможливе без швидкого нарощування енергетичного споживання аграрних відходів та біопалива з енергетичних плантацій. Таким чином, у поточному році необхідно вирішити усі проблемні моменти, що заважають розвитку біоенергетичної галузі в Україні. Тому що це є стратегічне питання, вирішення якого безпосередньо впливає на забезпечення енергонезалежності нашої держави.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті», Кудря С.О., Резцов В.С., Київ -2016.
2. Аналітична записка БАУ №1 (2012) «Місце біоенергетики в проєкті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року».
3. 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.
4. Бурикін О.Б. Оптимальне керування відновлювальними джерелами електроенергії у локальних електричних системах [Текст] / Бурикін О.Б., Томашевський Ю.В., Малогулко Ю.В., Радзівська Н.В. // Вісник ВПІ. Енергетика та електротехніка. – 2016. - №4. – С. 69-74. -ISSN: 1997-9274.
5. <http://www.agro-business.com.ua>.
6. <http://jak-zrobyty.pp.ua/3299-bogazov-ustanovki.html>.

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

**Владислав Анатолійович Гриник** — студент гр. 1Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [kurtcobain1997@gmail.com](mailto:kurtcobain1997@gmail.com).

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

**Hrynyk A. Vladyslav** — student of 1E-14 group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [kurtcobain1997@gmail.com](mailto:kurtcobain1997@gmail.com).

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

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

### *Анотація*

*Досліджено принцип роботи сучасних промислових фотоелектричних перетворювачів, здійснено аналіз основних технічних вимог при виробництві сонячних фотоперетворювачів та проведено розрахунок параметрів фотоелектричної системи житлового будинку при заданих параметрах електроприймачів.*

**Ключові слова:** фотоелектрична панель, сонячна електрична станція, інвертор, напівпровідник, електроенергія, акумуляторні батареї.

### *Abstract*

*In this paper was researched the principle of modern photovoltaic industry, analyzed the main technical requirements in the production of solar photovoltaic and calculated the parameters of photovoltaic systems residential building at given parameters of consumer.*

**Keywords:** PV panel, solar power station, inverter, semiconductor, power energy, rechargeable battery.

### Вступ

На сьогоднішній день одним з перспективних напрямів використання енергії відновлювальних джерел, що швидко розвивається є сонячна енергетика [1-2]. З усіх відновлювальних джерел сонячна енергія є найбільш ємним і доступним природнім енергоресурсом; щодо її використання накопичено багатовіковий історичний досвід. Переваги практично невичерпного джерела енергії сонячної радіації при її використанні у якості первинного місцевого енергоресурсу полягають у можливості використання джерела теплової енергії на більшості ділянок поверхні землі та в можливості безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в електричну енергію.

Промислові фотоелектричні перетворювачі мають ККД в межах від 10% до 30% , при середньому надходженні сонячного випромінювання вони можуть виробляти за день від 1 до 2 кВт·год електроенергії на 1 м<sup>2</sup> робочої поверхні. Сонячні елементи генерують електричний струм прямо пропорційно інтенсивності сонячного випромінювання [3].

Фотоелектричне перетворення сонячної енергії в даний час є одним із найкращих напрямів використання сонячної енергії, що обумовлюється наступним:

- можливістю отримання електроенергії практично в будь-якому районі;
- екологічною чистотою перетворення енергії;
- значним терміном роботи;
- невеликими затратами на обслуговування;
- незалежністю ефективності перетворення сонячної енергії від встановленої потужності.

Сучасні сонячні елементи мають наступні переваги:

- у них відсутні рухомі частини, що зношуються;
- вони мають необмежений термін служби ;
- вимагають мінімального обслуговування(або взагалі не вимагають такого);
- не забруднюють навколишнє середовище;
- на відміну від електрогенераторів інших типів, вони можуть застосовуватися в широких межах потужності – від одного вата і до декількох тисяч мегават.

За останні роки фотоенергетика отримала значний розвиток завдяки прогресу у вирішенні основних проблем: підвищення ККД сонячних фотоперетворювачів та зменшення вартості їх виробництва.

### Результати дослідження

Найбільш ефективними, з енергетичної точки зору, пристроями для перетворення сонячної енергії на електричну являються напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі, оскільки це прямий, одноступінчатий перехід енергії [4]. ККД фотоелементів, вироблених в промислових масштабах, в середньому складає 16%, у кращих зразків до 25%. У лабораторних умовах вже досягнуто ККД 40,7 %.

Для аналізу і оцінки якості фотоелемента корисною є така характеристика, як спектральна залежність струму короткого замикання елемента, розрахована на один квант поглинаючого світла. Ця величина називається ефективним квантовим виходом фотоелемента  $Q_{ef}$ .

$$Q_{ef} = I_{k.3.2} / N_0 \quad (1.1)$$

$Q_{ef}$  - ефективний квантовий вихід фотоелемента, електрон на квант (фотон);

$I_{k.3.2}$  - вимірюється в електронах за секунду;

$N_0$  - кількість квантів, що падають на одиницю поверхні напівпровідника.

Кремнієві фотоелементи, а в останній час і фотоелементи з арсеніду галію та інших широкозонних напівпровідників, широко застосовуються як фотоелектричні перетворювачі сонячного випромінювання або сонячні елементи.

3 середини 2009 року компанія Spencilab (підрозділ Boeing, США) розпочала серійний випуск сонячних батарей із застосуванням нанотехнологій (середній ККД- 38,5%) [5].

Для розрахунку фотоелектричної системи житлового будинку необхідно:

1. Визначити навантаження, спожитої енергії і необхідної потужності інвертора.
2. Визначити величини ємності акумуляторних батарей та їхньої кількості.
3. Розрахувати необхідну кількість сонячних панелей.

Необхідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані навантаження будинку

№ п/п	Ділянка мережі	Електроприймач						Спожита пот. за тиждень P, Вт
		Тип приймача	Кількість шт.	U, В	P, Вт	I, А	Тривалість роботи, год.	
1	Кімната	ПК	1	220	600	1,5	42	25200
		Лампи розжарюван.	2	220	200	0,45	45	9000
2	Кімната	Лампи розжарюван.	2	220	120	0,4	35	4200
		Телевізор	1	220	100	1	30	3000
3	Кухня	Холодильник	1	220	250	0,8	140	30800
		Лампи розжарюван.	1	220	100	0,45	42	4200
		Витяжка	1	220	220	0,7	5	1100
4	Ванна кімната	Пральна машина	1	220	850	1,9	8	6800
		Лампа розжарюван.	1	220	100	0,45	20	2000
		Водонагрівн.	1	220	1500	2	28	42000
Загальна спожита потужність за тиждень, Вт								128300

Для визначення енергоспоживання та потужності інвертора перераховуємо все навантаження змінного струму і вказуємо її номінальні потужності та кількість годин роботи за тиждень. Множимо потужність на кількість годин роботи за тиждень для кожного приладу і складаємо отримані значення для встановлення сумарної спожитої енергії змінного струму за тиждень. Решту розрахунків наводимо в таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати розрахунків фотоелектричної системи житлового будинку

№ п/п	Назва	Позначення	Формула	Результат
1	Загальна потужність спожитого струму	$P_{зар}$	$\sum P$	128300 Вт
2	Енергія постійного струму	$W_{пс}$	$P_{зар} \cdot k$	153960 Дж
3	Потужність інвертора	$P_{ін}$	$\frac{W_{пс}}{7 \cdot 24}$	914 Вт
4	Число ампер-годин в тиждень	$g$	$\frac{W_{пс}}{U_{пс}}$	2566 А/год.
5	Число ампер-годин в день	$g_{д}$	$\frac{g}{7}$	366 А/год.
6	Сумарна ємність акумуляторних батарей	$g_n$	$g_{д} \cdot N_{бс}$	372 Ф
7	Заряд акумуляторних батарей	$g_{\gamma}$	$\frac{g_n}{\gamma}$	744
8	Загальна ємність акумуляторних батарей	$g_{заг}$	$g_{\gamma} \cdot \alpha$	825.84 Ф
9	Кількість батарей з'єднаних паралельно	$N_{пар}$	$\frac{g_{заг}}{g_n}$	2 шт.
10	Кількість батарей з'єднаних послідовно	$N_{посл}$	$\frac{U_{пс}}{U_n}$	5 шт.
11	Загальна кількість акумуляторних батарей	$N_{зар}$	$N_{пар} \cdot N_{посл}$	10 шт.
12	Вироблення однієї панелі на тиждень (літом) $\alpha_l = 0,5$	$W_l$	$\alpha_l \cdot P_n \cdot 5.19 \cdot 7$	6357.75 Вт
13	Вироблення однієї панелі на тиждень (зимою) $\alpha_z = 0,7$	$W_z$	$\alpha_z \cdot P_n \cdot 0,9 \cdot 7$	1543.5 Вт
14	Визначення необхідної кількості сонячних панелей	$N_1$	$\frac{P_{заг}}{W_l}$	20 шт.
15	Визначення необхідної кількості сонячних панелей	$N_2$	$\frac{P_{заг}}{W_z}$	83 шт.

### Висновки

В результаті розрахунку визначено, що відповідно для літнього періоду знадобиться 20 панелей, а для зимового періоду - 83. Проте, такі розрахунки не зовсім точні і за фактом є ще дуже багато факторів, які впливають на вироблення енергії. На ефективність можуть істотно вплинути кут нахилу панелей, наявність приводів, які розгортають панелі до сонця або їх відсутність.

Власники таких панелей повинні розуміти, що навряд чи батареї будуть здатні забезпечити будинок необхідною енергією, тільки якщо не передбачені великі площі під сонячні батареї. Але все ж головна перевага - це нарощення потужності, при додаванні нових панелі або при заміні сонячних елементів на інші, більш потужні.

Перевагою сонячних елементів є те що вони розраховані на досить великий термін експлуатації (25-30 р.), також вони невибагливі до обслуговування, мають високу енергоефективність, не викидають в навколишнє середовище шкідливих речовин, а недоліками є те, що їхня енергоефективність залежить від географічного розміщення, погодних умов і часу доби, також відведення великої площі під їх встановлення, періодичного очищення від пилу, а також висока вартість.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Бурикін О.Б. Оптимальне керування відновлювальними джерелами електроенергії у локальних електричних системах [Текст] / Бурикін О.Б., Томашевський Ю.В., Малогулко Ю.В., Радзівєвська Н.В. // Вісник ВПІ. Енергетика та електротехніка. – 2016. - №4. – С. 69-74. -ISSN: 1997-9274.
3. Бурикін О.Б. Спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем / Бурикін О.Б., Малогулко Ю.В., Нікіторович О.В. // Відновлювальна

енергетика XXI століття: XV ювілейної міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Київ: Інститут відновлювальної енергетики НАН України, 2014. - С. 52-55.

4. [http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/25439/1/Ivanov\\_%20fotoelektrychna%20systema.pdf](http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/25439/1/Ivanov_%20fotoelektrychna%20systema.pdf).

5. Сарнацкий Э.В. Проектирование систем солнечного теплоснабжения / Сарнацкий Э.В., Чистович С.А. // Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. - Стройиздат, 2001. - 328 ст.

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

**Хавтурко Віталій Васильович** - студент гр. 1Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vertik97@mail.ru](mailto:vertik97@mail.ru).

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

**Vitaliy V. Havtyrko** - student of 1E-14 group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [vertik97@mail.ru](mailto:vertik97@mail.ru).

## **РОБОТА РІЗНОТИПНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ**

**Вінницький національний технічний університет**

### *Анотація*

*Запропоновано спосіб оцінювання ефективності сумісної роботи сонячних електростанцій, малих ГЕС та біогазових установок.*

**Ключові слова:** сумісна робота, відновлювальні джерела енергії.

### *Abstract*

*Proposed a method for evaluating the efficiency of operation of solar power, small hydro and biogas plants.*

**Keywords:** joint work, renewable energy.

Вступ. Використання відновлюваних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та поліпшення стану оточуючого природного середовища. Збільшення обсягів використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України дасть змогу підвищити рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави [1]. На сьогодні частка відновлювальних джерел в енергосистемі країни становить лише близько 1%, що говорить про те, що країна не використовує можливий потенціал відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) [2]. Орієнтуючись на курс євроінтеграції, Україна взяла на себе обов'язок збільшити частку ВДЕ до 11% до 2020 року. Тому актуальною є задача організації доцільної роботи різнотипних відновлювальних джерел енергії в електричній мережі.

Мета: забезпечення надійного покриття графіка навантаження за участю різнотипних відновлювальних джерел енергії.

Важливим фактором підвищення енергетичної безпеки, а також зменшення негативного впливу на екологію навколишнього середовища, є освоєння відновлювальних джерел енергії. Сонячну енергетику, малі гідроелектростанції можна охарактеризувати як такі, що мають широкі перспективи для розвитку. Також сьогодні є більш ніж реальна перспектива часткового позбавлення залежності країни від імпорту природного газу, яка пов'язана із розвитком різних видів поновлювальних джерел енергії, і зокрема, одного з найбільш універсальних - біогазу.

Висновки. Оскільки сонячні електричні станції можуть генерувати електроенергію тільки в світлову частину доби, то вони є нестабільним джерелом електроенергії. В таких випадках доцільно використовувати для сумісної роботи малі ГЕС. Так як малі гідроелектростанції мають невелику потужність, то сумісно використовують також біогазові установки. Сумісна робота сонячних електростанцій, малих ГЕС та біогазових установок може забезпечувати надійне покриття графіка навантаження споживачів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Кабінет міністрів України. – Київ. – 2014. – Режим доступу [ <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>].
2. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії [Підручник] / С.О. Кудря. // К. : НТУУ «КПІ». – 2012. – 492 с.

**Кулик Володимир Володимирович** – докт. техн. наук, доц., професор кафедри електричних станцій та систем.

**Бартецька Ірина Анатоліївна** – аспірант кафедри електричних станцій та систем, e-mail: bartetskayairina@gmail.com

Kulyk Volodymyr - Doctor of Sciences (Eng), assist. prof., professor of electrical plants and systems department.

Bartetska Iryna - postgraduate student of power plants and systems department, e-mail: bartetskayairina@gmail.com



# ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*В роботі розглянуті основні особливості заземлювальних пристроїв розподільних установок. Проведено огляд методів розрахунку заземлювальних пристроїв розподільних установок, які залежать від режиму заземлення нейтралі мережі.*

**Ключові слова:** заземлювальний пристрій; розподільна установка; заземлювач; нейтраль; електробезпека

## *Abstract*

*The paper describes the main features of earthing distribution systems. The review of methods for calculating earthing distribution systems, which depend on the mode of earthing-neutral network.*

**Keywords:** earthing device; Distribution installation; earthing; neutral; electrical safety.

## **Вступ**

Для оцінки працездатності заземлювального пристрою (ЗП), що забезпечує захист технічного стану електроенергооб'єкту, застосовуються різні технічні способи та засоби контролю. До теперішнього часу перевірити якість конструктивного виконання ЗП в процесі експлуатації енергооб'єктів було можливо тільки шляхом відкопування. Тому розробка нових технічних способів для здійснення систематичного контролю ЗП методом неруйнівного контролю, без розкриття ґрунту і відключення устаткування є винятково важливою й актуальною задачею.

Актуальність цієї задачі підсилюється тим фактом, що в даний час в Україні на підстанціях установлюються пристрої релейного захисту й автоматики як іноземного, так і вітчизняного виробництва на основі мікропроцесорної техніки, яка набагато менше, ніж релейно-контакторна, захищена від впливу пошкоджень, причиною яких може стати несправний ЗП.

Метою роботи є узагальнення та систематизування знань про основні особливості заземлювальних пристроїв розподільних установок та методи їх розрахунку.

## **Методи розрахунку заземлювальних пристроїв**

Заземлювальні пристрої є частиною електроустановок та служать для забезпечення необхідного рівня електробезпеки в зоні обслуговування електроустановки і за її межами, для відводу в землю імпульсних струмів з блискавковідводів та розрядників і для створення кола при роботі захисту від замикань на землю, а також для стабілізації напруги фаз електричних мереж відносно землі [1].

Найбільш жорсткі вимоги висуваються до заземлювальних пристроїв умовами забезпечення безпеки, оскільки для ізоляції електрообладнання небезпечні різниці потенціалів у всіх випадках значно перевищують номінальну напругу.

Заземлювальні пристрої складаються з таких основних елементів:

- ґрунту, якості якого визначаються його питомим опором;
- штучних заземлювачів, які в електроустановках зазвичай виконуються із заглиблених у землю сталевих електродів (вертикальних у вигляді труб, стрижнів, кутиків та горизонтальних у вигляді заглибленої сталеві полоси або круглої сталі);
- природних заземлювачів – усіх металевих та залізобетонних елементів будівель та споруд, металевих конструкцій та обладнання (оболонки кабелів, трубопроводів), які мають надійний дотик з землею і можуть бути використані для стікання струмів у землю;

- заземлювальних магістралей та провідників, які з'єднують окремі заземлювачі між собою та заземлювачі обладнання.

Для заземлення електроустановок різних призначень та напруг, як правило, використовується один загальний ЗП. Заземленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, приводи електричних апаратів, каркаси розподільних щитів, щитів управління та шаф, металеві оболонки кабелів та кабельні конструкції, а також вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів.

Розрахувати заземлювач – це значить визначити при заданому струмі потенціали в будь-яких точках простору, зокрема потенціал заземлювача, а також потенціали в характерних точках поверхні землі. Передбачається при цьому, що схема заземлювача і його розміри задані, будова землі та її параметри відомі.

В установках з незаземленими та ефективно-заземленими нейралями вимоги до розрахунку заземлювальних пристроїв відрізняються [2].

В установках з незаземленими або резонансно-заземленими нейралями (мережі 6, 10, 35 кВ) обмежується потенціал на заземлювачі ( $U_3$ ), тобто нормується опір заземлювального пристрою  $R_3$ . Пояснюється це тим, що зазвичай в таких мережах струм однофазного замикання на землю менше 500 А (мережі з малими струмами замикання на землю) і такий режим може бути тривалим. Ймовірність попадання під напругу в момент дотику до заземлених частин збільшується.

В установках з ефективно заземленою нейтраллю (мережі 110 кВ і вище) замикання триває короткочасно і відключається релейним захистом, внаслідок чого зменшується ймовірність попадання під напругу дотику або кроку ( $U_{\text{дот}}, U_{\text{кр}}$ ). Струми однофазного замикання на землю, як правило, перевищують 500 А (мережі з великими струмами замикання на землю), тому різко зростають потенціали на заземлювачі. В цих установках нормуються величина  $U_{\text{дот}}$ , яка визначається залежно від тривалості протікання струму через тіло людини, і величина  $R_3$ . Напруга кроку не нормується.

## Висновки

Розглянуто конструктивні особливості заземлювальних пристроїв. Встановлено, що методи розрахунку ЗП залежать від режиму роботи нейтралі електроустановки і від величини струмів однофазного замикання на землю. Норми на заземлювальні пристрої встановлюються вимогами, якими вони повинні задовольняти. Основними є вимоги, що визначають умови електробезпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по проектированию подстанций 35-500 кВ / Под ред. С. С. Рокотяна, Я. С. Самойлова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
2. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

**Стець Артур Віталійович** — студент групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ar.stets.bog@yandex.ru

Науковий керівник: **Тептя Віра Володимирівна** — кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Stets Arthur V.** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: ar.stets.bog@yandex.ru

Supervisor: **Teptia Vira V.** — Ph. D., assistant professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАЛИХ ГЕС В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*В роботі проаналізовано вплив генерування розосереджених джерел енергії на режими розподільних мереж. Показано, що встановлення нових розосереджених джерел може мати як позитивний так і негативний вплив на мережі 10 кВ. Тому важливо на стадії передпроектних розрахунків оцінювати вплив нових джерел на ефективність електропостачання і уточнювати, на цій підставі, доцільні потужності та місця їх приєднання.*

**Ключові слова:** розосереджені джерела енергії, відновлювана енергетика, генерування, розподільні мережі, якість електричної енергії

### **Abstract**

*This paper analyzes the impact of distributed generation energy sources in the modes of distribution networks. It is shown that the installation of new distributed sources can have both positive and negative effects on the network of 10 kV. Therefore it is important at the stage project calculations to assess the impact of new sources of power and efficiency specify on this basis, appropriate facilities and places of their accession.*

**Keywords:** dispersed energy sources, renewable energy, electric distribution network, generating, electricity quality

### **Вступ**

Основним джерелом електроенергії в Україні є так звані «традиційні» станції (АЕС, ТЕС, потужні ГЕС). Однак, останнім часом гостро постала проблема економії енергетичних ресурсів та запровадження сучасних енергозберігаючих технологій, які б зменшили негативний екологічний вплив таких станцій за рахунок відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та новітніх систем керування енергоспоживанням з використанням *Smart Grid* технологій.

Внаслідок скорочення власних традиційних енергетичних ресурсів для України вкрай необхідно вирішення важливої стратегічної задачі – підвищення ефективності виробництва, перетворення та використання всіх видів енергії. Відновлювальна енергетика в Україні отримала визнання на державному рівні і знайшла підтримку в ряді державних програм, основною метою яких є побудова стабільної енергетичної бази. Досвід опанування енергією відновлювальних джерел в Україні – вітровою, сонячною, гідравлічною, геотермальною енергією – показує, що їх використання в теперішній час є досить ефективним [1].

Сучасна гідроенергетика порівняно з іншими традиційними видами електроенергетики є найбільш економічним та екологічно безпечним способом отримання електроенергії. Мала гідроенергетика йде в цьому напрямі ще далі. Невеликі гідроелектростанції дозволяють зберегти природний ландшафт, не впливають на довкілля не тільки на етапі експлуатації, а й у процесі будівництва. При подальшій експлуатації відсутній негативний вплив на якість води, вона повністю зберігає первинні природні властивості. В річках зберігається риба, вода може використовуватися для водопостачання населенню [2].

Однією з причин низьких темпів розбудови відновлюваної енергетики є неунормованість питань проектування і експлуатації ВДЕ. Переважна більшість відновлюваних джерел експлуатується в розподільних мережах, певним чином впливаючи на їх режими та режими електроспоживання. У випадку генерування, узгодженого з навантаженням електричних мереж, ефективність їх експлуатації підвищується, а якість електроенергії покращується. Проте зі збільшенням встановленої потужності ВДЕ видача електроенергії може супроводжуватися негативним впливом на режими розподільних електромереж [3–5]. Пояснюється це обмеженою пропускною здатністю останніх.

Для підвищення ефективності експлуатації ВДЕ необхідною умовою є проектування з урахуванням їх впливу на функціонування енергопостачальних компаній. Ліквідація недоліків проекту, що закладені на етапі видачі технічних умов на приєднання ВДЕ певної встановленої потужності потребує надмірних капіталовкладень. Тому вони, зазвичай, не усуваються. Отже, актуальною проблемою є розроблення засобів оцінювання впливу ВДЕ на ефективність експлуатації електромереж на стадії передпроектних досліджень.

### Результати дослідження

У самих установках розосередженого генерування (РГ), приєднаних до енергосистеми, мають місце проблеми, пов'язані з забезпеченням стійкості і надійності роботи, що потребує встановлення додаткової апаратури автоматики. Певною мірою на стійкість роботи установки РГ впливає режим роботи навантаження та співвідношення між потужністю, що споживається навантаженням РГ, та потужністю, яка передається в енергосистему. Маються на увазі, в першу чергу, особливості роботи асинхронних двигунів, приєднаних до джерел РГ [5].

Установлені у віддалених точках енергосистеми джерела РГ підвищують рівень напруги у місці встановлення. Це є позитивною рисою РГ по відношенню до якості електроенергії. У той же час розосереджені джерела енергії можуть створювати негативні явища, генеруючи додаткові гармоніки.

У країнах ЄС при проектуванні використовують нормовані значення відхилення параметрів якості електроенергії, пов'язані з підключенням нового джерела РГ. До них належать максимальне відхилення напруги у стаціонарних режимах, значення флікера, значення рівнів гармонік.

Таким чином, інтеграція РГ до енергосистеми має як позитивний, так і негативний вплив на якість електроенергії і потребує проведення відповідного аналізу.

Важливим в досягненні ефективного використання ВДЕ є правильний вибір місця їх під'єднання в електричній мережі. В даній роботі проведено дослідження впливу розосередженого генерування на режими роботи розподільних електричних мереж за умови співмірного генерування РДЕ та електроспоживання електричної мережі та підвищення ефективності сумісної експлуатації розподільних електричних мереж з малими ГЕС.

Дослідження виконувались на прикладі схеми електричної мережі 10 кВ за допомогою програмного комплексу розрахунку втрат потужності і електроенергії в розподільних електричних мережах «Втрати-10», розробленого на кафедрі електричних станцій та систем ВНТУ.

Для дослідження впливу ГЕС на роботу мережі розраховано режими максимальних, середніх, а також мінімальних навантажень з визначенням втрат електроенергії. В результаті розрахунків отримано оптимальні з точки зору мінімуму втрат в мережі значення потужностей генерування ГЕС, а також оптимальний вузол підключення ГЕС до фідера. За результатами розрахунків при підключенні ГЕС у фідері якість електричної енергії забезпечується, відхилення напруги у вузлах не виходять за допустимі межі  $\pm 5\%$  від номінального значення.

### Висновки

Таким чином, на стадії передпроектних розрахунків виникає необхідність оцінювати вплив ВДЕ на ефективність електропостачання і уточнювати, на цій підставі, доцільні потужності та місця їх приєднання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малі ГЕС в локальних електричних системах з розосередженим генеруванням / О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 54–58.
2. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://msd.in.ua/zagalna-informaciya-pro-mali-ges/>
3. Оцінювання впливу відновлюваних джерел електроенергії на функціонування електричних мереж / О. А. Буславець, В. В. Кулик, П. Д. Лежнюк, В. В. Тептя // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. Вип. 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2015. С. 46-49.
4. Лежнюк П. Д. Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних

електричних мереж / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, В. В. Кулик // Енергетика та електрифікація. – 2015. – № 1. – С. 8-12.

5. Кириленко О. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Випуск 24.– Київ. – 2009. – С. 3–7. – ISSN 1727–9895.

**Віра Володимирівна Тетя** – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tvv75@list.ru;

**Дмитро Володимирович Шаповал** – студент групи ЕСМ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dsh110394@gmail.com

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

**Dmytro V. Shapoval** – student of the Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dsh110394@gmail.com

## ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕ- РГОГЕНЕРУВАННЯ ФЕС

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Виконано аналіз метеопараметрів за впливовістю на генеровану електроенергію фотовольтаїчною електричною станцією. Натурним експериментом перевірено відповідність виконаного аналізу.

**Ключові слова:** фотовольтаїчні електричні станції, температура панелі, сонячна радіація на поверхні панелі.

### Вступ

В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії, за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії.

Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи.

Для забезпечення функціонування енергоринку України, враховуючи позитивну тенденцію щодо розбудови ФЕС, очікуються зміни умов їх функціонування з введенням практики попередніх заявок на генерування для узгодження їх сумісної роботи з традиційними джерелами енергії.

Реалізація такого механізму зумовлює необхідність розроблення ефективної програмної системи для короткотермінового прогнозування обсягів електроенергії, генерованих ФЕС та режимів їх роботи.

### Дослідження впливу окремих метеопараметрів та їх сукупностей на функціонування ФЕС

Проведений аналіз результатів натурних експериментів дозволяє визначити перелік метеопараметрів і точність їх оцінювання в задачі прогнозування виробітку електричної енергії конкретною ФЕС на добу вперед.

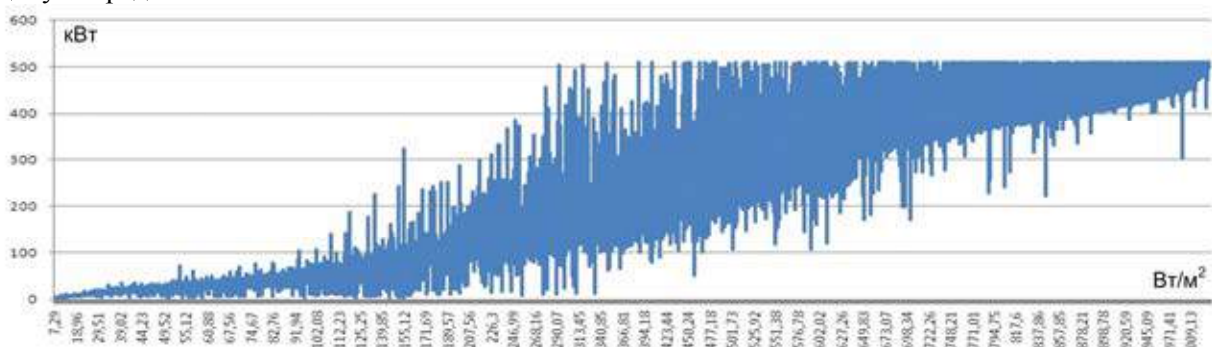


Рисунок 1 – Залежність активної потужності від сонячної радіації на поверхні панелі (протягом року)

На рисунках 1 показано залежності між генерованою активною потужністю і сонячною радіацією. Спостерігається чіткий тренд в цій залежності. Це дозволяє зробити висновок про визначальність цього параметра в задачі прогнозування генерованої потужності. Наявність певної області можливих значень в околі тренду свідчить про вплив інших параметрів з одного боку і певну імовірність хибних спрацювань системи моніторингу.

Проведений кластерний аналіз дозволив розбити результати вимірювань на групи. Кожна група має близькі закони їх зміни. Довжини з'єднувальних ліній між групами характеризують впливовість груп одна на одну.

Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що визначальним параметром для оцінювання генерованої активної потужності є сонячна радіація, менш впливовою є температура панелі.

Оскільки зробити прогноз сонячної радіації на поверхні панелі і її температури безпосередньо не можливо, то необхідно визначитись з додатковими параметрами, за якими можна оцінити визначальні метеопараметри. На це питання кластерний аналіз дозволяє отримати відповідь. Відповідно до впливових груп сонячну радіацію на поверхні панелі можна визначити за радіацією на поверхні землі; температуру панелі за температурою навколишнього середовища, швидкістю вітру і вологістю.

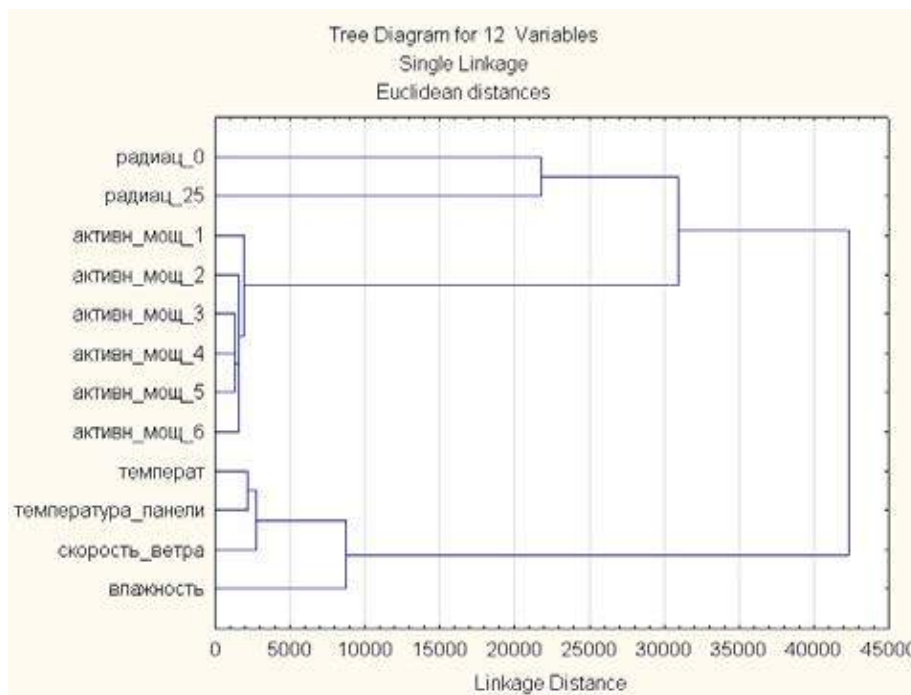


Рисунок 2 – Результати кластерного аналізу

### Аналіз джерел прогнозованих метеопараметрів

Незважаючи на величезний вибір інтернет-сайтів про погоду, лише деякі з них використовують власні прогнози. Наприклад, не варто сподіватися, що погоду в на сайті Sinoptic.ua можна уточнити у Yandex, отже обидва сервіси, як і сотні інших, використовують дані фінської метеорологічної служби [Foreca](#).

Також навряд чи істотні відмінності в прогнозі знайдуться у британської [BBC](#) і російського [rp5](#). Обидва сервіси користуються даними британського метеорологічного бюро [MetOffice](#).



А ось такі американські гіганти як [Weather Underground](#), [AccuWeather](#), [Weather Channel](#) будують свої прогнози на основі американської чисельної моделі прогнозування GFS (Global Forecast System).

Строго кажучи, на сьогодні в світі існує три головні глобальні чисельні моделі прогнозування погоди, або гідродинамічні моделі атмосфери. Тобто дані з усіх метеостанцій світу, супутників, кораблів й інших систем аналізуються, збираються й обробляються трьома способами на основі нелінійних рівнянь.

В роботі проведено аналіз точності прогнозу метеопараметрів на доступних ресурсах. Окремі результати показані на рисунку 3. В середньому точність прогнозу знаходиться в межах 40%.

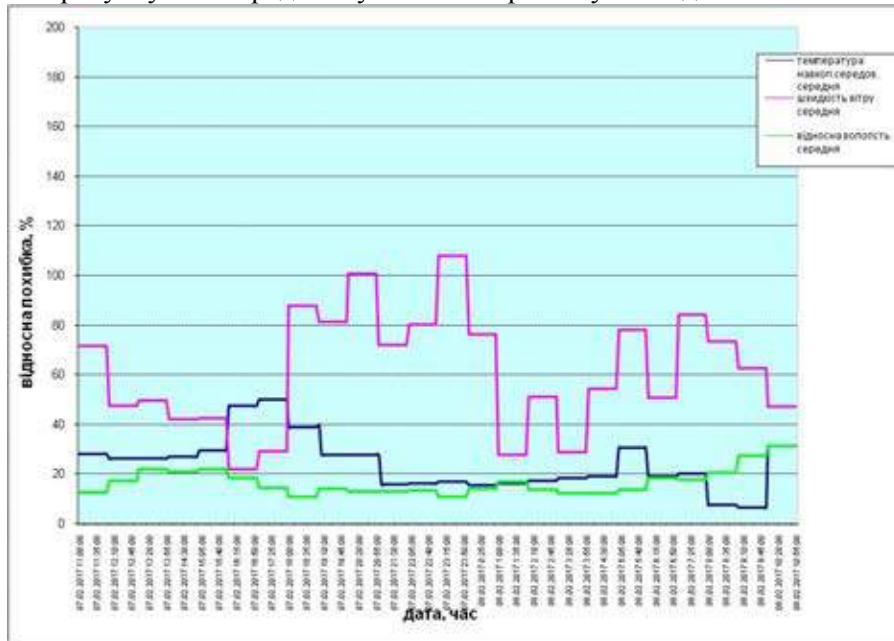


Рисунок 3 – Похибка прогнозу метеопараметрів

### Висновки

Аналіз результатів натурного вимірювання метеопараметрів та генерованої активної потужності з 5-ти хвилинною дискретністю дозволяє зробити висновок про складну залежність між генерованою електроенергією і метеопараметрами.

Для зменшення суперечливості отриманої інформації щодо роботи ФЕС і забезпечення відповідної її «якості» необхідно розробити вимоги до системи моніторингу, виконання яких дозволило б забезпечити максимальну відповідність між вимірними і реальними значеннями, і фільтр отриманих даних для формування бази даних, які максимально точно будуть описувати роботу ФЕС.

Проведений в роботі аналіз даних, виконаний з використанням сучасних засобів математичного аналізу, показав вплив на генеровану електричну енергію таких метеопараметрів як сонячна радіація на поверхні землі та на поверхні панелі, температури панелі та температури навколишнього середовища, швидкості вітру та вологості. За мірою впливу метеопараметри розташовуються в такій послідовності: радіація на поверхні панелі – радіація на поверхні землі – температура панелі – температура навколишнього середовища – швидкість вітру – вологість. Для забезпечення відповідної точності прогнозування генерованої потужності необхідно забезпечити достатню точність прогнозування метеопараметрів.

За відсутності в Україні внутрішніх можливостей з забезпечення відповідної точності прогнозу метеопараметрів доцільним є скористатись платними сервісами для отримання даних для прогнозу генерованої електроенергії.

**Комар Вячеслав Олександрович** – доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kvo1976@ukr.net

**Нетребський Володимир Васильович** – доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vova-26@mail.ru

**Лесько Владислав Олександрович** – доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leskovlad@mail.ru

**Кравчук Сергій Васильович** – аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: wl\_1992@mail.ru



# ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ АНАЛОГІЇ І ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ НАЙМЕНШОЇ ДІЇ

Вінницький національний технічний університет;

## Анотація

*Розглянуто застосування принципу найменшої дії в електроенергетиці. Досліджено аналогії між процесами в механічних і електричних системах, які зумовлені наявністю в природі принципу найменшої дії.*

**Ключові слова:** принцип найменшої дії, електрична система, аналогія.

## Abstract

*The application of the principle of least action in the electricity sector is considered. Analogies between the processes in the mechanical and electrical systems that are caused by the presence in nature of the principle of least action are explored.*

**Keywords:** principle of least action, electrical system, analogy.

## Вступ

За своєю природою ЕЕС є неоднорідними, тому у даних системах завжди виникають додаткові втрати на транспортування і розподіл електроенергії. Оптимізувати роботу ЕЕС можна тільки примусово. Для вирішення задач самоорганізації та самооптимізації функціонування електродинамічних систем у відповідності з заданим критерієм оптимальності – втратами електроенергії використовують принцип найменшої дії. Завдяки роботам Фейнмана, Еддінгтона, Гельмгольца, Пуанкаре [1–4]. ПНД як суто механічний принцип було поширено на істотно немеханічні процеси [5].

## Результати дослідження

ПНД зумовлює оптимальність функціонування будь-якої системи, а також розвиток, що скерований на підвищення міри її ідеальності. Для природних систем прояв цього явища є очевидним і необмеженим. 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 перебуває в оптимальному стані з погляду технологічних втрат електроенергії, але глибина цього 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 істотною перевагою цього підходу порівняно з класичною оптимізацією [6]

По аналогії з механічною системою, для електричного кола можна ввести потенційну і кінетичну енергію, дисипативну функцію Релея, узагальнені сили, що відповідають непотенційним і недисипативним силам, тобто, іншими словами, вводять електромеханічні аналогії. На основі введених функцій для електричної системи записуються рівняння Лагранжа, які є рівняннями її стану [7].

Як приклад, розглянемо, як можна застосувати рівняння аналітичної механіки не тільки до механічних, але і до електричних і електромеханічних систем. Розглянемо електричне коло, в якому активний опір  $R$ , індуктивність  $L$  і ємність  $C$  з'єднані послідовно (конденсатор попередньо не заряджений). Тоді, згідно із законом Кірхгофа, якщо в контурі є ерс, будемо мати:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int idt = e(t) \quad (1)$$

або

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = e(t). \quad (2)$$

Це рівняння є аналогічним до рівняння механічних коливань.

де  $Q$  – сила, прикладена до механічної системи;

$a$  – маса;

$b$  – коефіцієнт дисипації (розсіювання) енергії;

$d$  – коефіцієнт пружності;

$q$  – узагальнена координата, що визначає положення механічної системи, на яку накладені зв'язки .

$$a \frac{d^2q}{dt^2} + b \frac{dq}{dt} + dq = Q(t), \quad (3)$$

З рівняння (3) видно, що індуктивності  $L$  відповідає інерційний коефіцієнт (узагальнена маса)  $a$ , активному опору  $R$  – дисипативний коефіцієнт  $b$ , коефіцієнту  $1/C$  відповідає приведений коефіцієнт пружної сили  $d$ , заряд  $q$  відповідає узагальненій координаті  $q$ , е.р.с.  $e(t)$  – узагальненій силі  $Q(t)$ .

Розглянемо електричне коло, в якому активний опір  $R$ , індуктивність  $L$  і ємність  $C$  з'єднані паралельно. Тоді, згідно із законом Кірхгофа, маємо:

$$\frac{u}{R} + \frac{1}{L} \int_0^t u dt + C \frac{du}{dt} = i(t). \quad (4)$$

Почленно диференціюючи останній вираз, отримуємо

$$C \frac{d^2u}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{du}{dt} + \frac{1}{L} u = \frac{di}{dt}. \quad (5)$$

В результаті отримуємо іншу систему аналогій в якій координаті  $u$  відповідає напруга  $u$  і механічні коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $d$  замінюються на  $C$ ,  $1/R$ ,  $1/L$ . Узагальненій силі  $Q(t)$  тут відповідає величина  $di/dt$ .

Дві електричні системи, що мають однакові (з точністю до позначень) рівняння, є двома різними електричними моделями однієї і тієї ж механічної системи. Кінетичній ( $K$ ) і потенційній ( $\Pi$ ) енергіям, функції Релея ( $\tilde{R}$ ), узагальненій силі механічної системи з одним ступенем свободи в першій і другій системі аналогій відповідають величини, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 Аналогії механічної і електричної систем

Механічна система	$a$	$b$	$c$	$Q$	$K = \frac{1}{2} a \dot{q}^2$	$\tilde{R} = \frac{1}{2} b \dot{q}^2$	$\tilde{\Pi} = \frac{1}{2} \tilde{n} q^2$
Аналогія «сила-напруга»	$L$	$R$	$\frac{1}{C}$	$e$	$\frac{1}{2} L \dot{q}^2$	$\frac{1}{2} R \dot{q}^2$	$\frac{1}{2C} q^2$
Аналогія «сила-струм»	$C$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{L}$	$\frac{di}{dt}$	$\frac{1}{2} C \dot{u}^2$	$\frac{1}{2R} \dot{u}^2$	$\frac{1}{2L} u^2$

Таким чином, за допомогою таблиці 1 можна визначити системи електромеханічних аналогій.

### Висновки

Для оптимального керування нормальними режимами ЕЕС може бути використаний принцип найменшої дії.

Наслідком системного принципу найменшої дії є аналогії між процесами в електричних і механічних системах. 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.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мякишев Г.Я. Динамические и статистические закономерности в физике / Мякишев Г.Я. – М.: Наука, 1973. – 272 с.
2. Вариационные принципы механики: [Сб. ст. / ред. Л.С. Полак]. - М.: Гос. издательство физ.-мат. лит., 1959. – 932 с.
3. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике: [в 12 т.] / том 6. Электродинамика. Глава 19. Принцип наименьшего действия / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс – М., : Мир, 1966.– С. 94–119.
4. Пуанкаре Анри. Избранные труды: том 3 / Пуанкаре Анри – М.: Наука, 1974.– 771 с.
5. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / Самарский А.А., Михайлов А.П. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
6. Методы оптимизации режимов энергосистем / В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др.; Под ред. В.М. Горнштейна. – М.: Энергия, 1981. – 336 с
7. Пентегов И.В. Лагранжиан электрической цепи с сосредоточенными параметрами и его применение / Пентегов И.В., Волков И.В. // Электричество. – 1969. – №5. – С. 59–63.

**Костяева Марія Сергіївна** — студентка групи ЕС-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kostayevamaria@gmail.com

Науковий керівник: **Петро Демянович Лежнюк** — доктор технічних наук, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Kostayeva Maria S.** – Faculty electricity and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mariakostayeva@gmail.com

Supervisor: **Lezhnyuk Petro D.** - Doctor of Science Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## Аналіз пошкоджуваності силових трансформаторів електроенергетичних систем

Вінницький національний технічний університет

### Анотація:

*Проаналізовано пошкоджуваність силових трансформаторів енергосистем, що дозволяє оцінити ефективність методів та засобів діагностування трансформаторного обладнання.*

**Ключові слова:** силовий трансформатор, діагностування, пошкоджуваність, електроенергетичні системи.

### Abstract:

*Analyzed defects grid power transformers that allow to analyze the effective methods and means of diagnosing power grid equipment.*

**Keywords:** power transformer, diagnostics, frequency analysis, electric power system.

### Вступ

Одним з напрямків покращення надійнісних показників роботи електроенергетичних систем є врахування результатів оцінювання стану силових трансформаторів (СТ) під час їх експлуатації. Отже необхідно провести аналіз статистики відмов, існуючих методів та засобів діагностування СТ.

На сьогодні існує багато методів та засобів визначення технічного стану (ТС) СТ таких, як наприклад, тепловізійний контроль, хроматографічний аналіз розчинених газів в трансформаторній оливі, контроль комплексної провідності та тангенса кута діелектричних втрат ізоляції, частотний аналіз та інші [1].

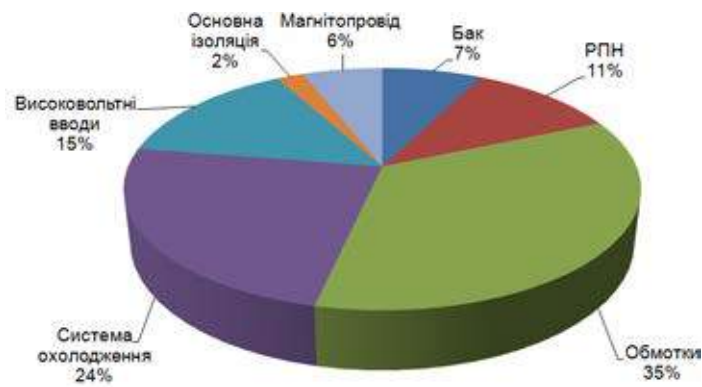
### Результати дослідження

Результати досліджень літературних джерел свідчать про старіння парку СТ [1, 2]. Водночас в літературних джерелах зазначається, що в експлуатації досить мають місце пошкодження СТ [1, 3÷6]. Такі пошкодження можна узагальнити, як це показано в табл. 1 та на рис.1.

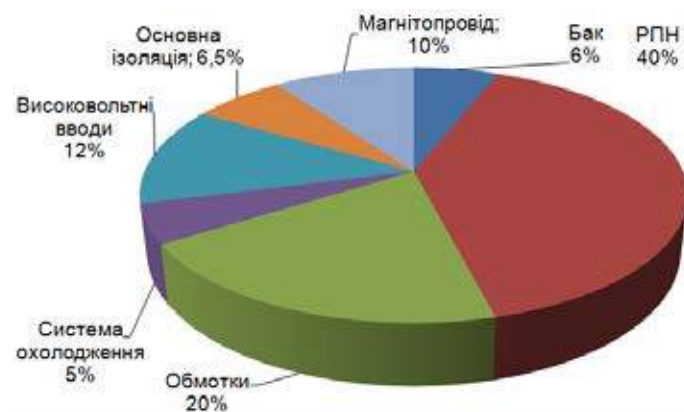
Таблиця 1 – Статистика пошкоджень силових трансформаторів.

Пошкодження	За кордоном	В Україні
Бак	6%	7,5%
РПН	40%	11%
Обмотки	20%	35%
Система охолодження	5%	24%
Високовольтні вводи	12,5%	14,5%
Основна ізоляція	6,5%	2%
Магнітопровід	10%	6%

В наш час використовуються такі методи визначення ТС СТ, як вимірювання опору ізоляції, використання мегомметра і вимірювальних мостів змінного струму, тепловізорів, хроматографів, і тому подібне. В наш час розроблені нові методи такі як методи визначення ТС, що ґрунтуються на результатах нейро – нечіткого моделювання ТС СТ [3].



а)



б)

Рисунок 1 – Гістограми пошкоджуваності основних вузлів СТ а) в Україні б) за кордоном

Водночас впроваджуються засоби періодичного та безперервного (online) контролю СТ та засоби визначення його діагностичних параметрів [5, 7]. Це такі моніторингові системи, як КІН 750, КІВ 500 та SAFE-C для безперервного контролю стану ізоляції високовольтних ввідів, FRA для визначення стану магнітопроводу та обмоток, HYDROCAL для визначення вмісту газу в трансформаторній оливі з функціями моніторингу інших діагностичних параметрів трансформатора [7, 8]. Однак і за умов використання таких високоякісних пристроїв в експлуатації мають місце пошкодження СТ.

### Висновки

Отже, актуальним завданням є вдосконалення існуючих методів та засобів контролю діагностичних параметрів та технічного стану.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Б. В. Ванін, О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации /Б.В. Ванін, Ю.Н. Львов, М.Ю. Львов и др.// . Технічна електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 58-61. – ISSN 1607-7970.
2. Using the Frequency Response Analysis (FRA) In Transformers Internal Fault Detection JALAL ABDALLAH Department of Electrical Engineering Tafila Technical University P.O. Box: 851229, code 11185-Amman JORDAN
3. Бардик Є.І., Нечітке моделювання для оцінки технічного стану маслонаповнених ввідів солового трансформатора за результатами ХАРГ / Бардик Є.І., Болотний М.П., Калінчук Р.Р.// Технічна електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 63-67. – ISSN 1607-7970.

4. О.Є. Рубаненко, Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС з врахуванням технічного стану трансформаторів з РПН / О.Є.Рубаненко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». – 2013.– №1(14)–С. 234–240. ISSN 2074-2630
5. Кутін В.М., Обработка результатов контроля теплового состояния открытых контактных соединений электрооборудования / Кутін В.М., Шпачук А.А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 2 С. 133–137. ISSN 1997-9266.
6. В. М. Кутін, Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором / В. М. Кутін В. І. Голінько О. О. Шпачук// Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 2 С. 137–141. ISSN 1997-9266.
7. С. П. Денисюк, Розробка системи онлайн моніторингу стану силових трансформаторів / С. П. Денисюк , М. Ф. Сопель, Ю. В. Пилипенко, І. В. Притискач. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво» – 2014– №–24 С. 92– 103. ISSN 2079-5688
8. С. П. Денисюк, Оцінювання стану в системах моніторингу силових трансформаторів тягових підстанцій /С. П. Денисюк, І. В. Притискач // Електрифікація транспорту – 2014 – № 7.С –13–20. ISSN 2307-4221.

**Гришук Максим Олександрович** – аспірант групи АС – 16, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,  
e-mail:[grishuk.maksim.93@ukr.net](mailto:grishuk.maksim.93@ukr.net)

Науковий керівник **Рубаненко Олександр Євгенійович** –к.т.н., доцент, доцент кафедри електричні станції та підстанції, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

# **КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З РОЗПОДІЛЕНИМ ГЕНЕРУВАННЯМ НА БАЗІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*У роботі досліджено відомі методи аналізу надійності, що використовуються для оцінювання здатності роботи розподільних електричних мереж. Запропоновано комбінований метод оцінювання функціональної надійності з використанням геоінформаційних систем в мережах з розосередженим генеруванням.*

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

## **Abstract**

*In this work the known methods of reliability analysis used to evaluate operability distribution electrical grids. A combined functional reliability evaluation method using GIS networks with dispersed generation .*

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

## **Вступ**

Розподільна електрична мережа є складним об'єктом, який містить елементи з різними функціональними параметрами та характеристиками – трансформаторні підстанції, кабельні та повітряні лінії електропередач, тощо. Якість функціонування (готовність до надійного постачання електричною енергією належної якості) такого об'єкту залежить від надійності кожного елемента, узгодженості їхніх параметрів та структурних зв'язків між ними [1]. Визначальним тут є наявність джерел електроенергії та їхні технічні характеристики. Згідно з сучасними тенденціями розвитку електричних систем збільшується частка децентралізованого генерування енергії, а розподільні електричні системи у сукупності з РДЕ розглядаються як локальні електричні системи. [2]

Зі збільшенням кількості РДЕ збільшується частка нестабільних джерел енергії, відповідно точність методів, та кількість параметрів які мають контролюватися під час дослідження надійності електричної мережі збільшується.

Головною функцією енергосистеми є – безперервна передача якісної електроенергії споживачам. Здатність системи надавати достатній запас електричної енергії, як правило, називають надійністю. Поняття надійності електричної системи дуже широке і охоплює всі аспекти здатності системи задовольнити вимоги замовника. [3]

*Метою роботи* дослідження наявних методів аналізу надійності розподільних ЕМ та розроблення комбінованого методу для оцінювання функціональної надійності розподільних мереж з РДЕ з використанням геоінформаційних систем.

## **Існуючі методи аналізу надійності електричних систем та їх недоліки**

Існує багато методів дослідження надійності електричної мережі, серед них: метод блок-схем, метод Маркова, сегментний метод, метод дослідження надійності відносно добового графіка навантаження.

Але більшість методів розроблялося для дослідження надійності систем з централізованим електропостачанням, тому постає питання вдосконалення методів дослідження надійності для джерел з розосередженим генеруванням.

Розглянемо метод блок-схем для аналізу надійності [4], так як цей метод дозволяє ефективно проаналізувати надійність ЛЕП. Для прикладу візьмемо схему 10 кВ зображену на рисунку 1.

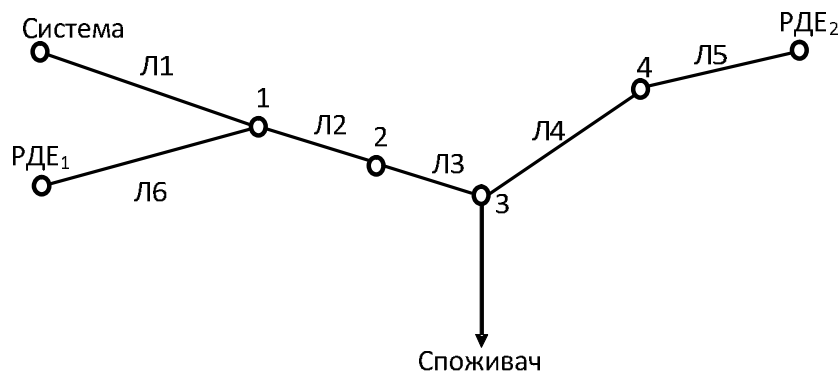


Рисунок 1. Приклад електричної мережі 10 кВ

За даним методом кожна ділянка ЛЕП замінюється своїм блоком надійності з відповідними параметрами:

- $\omega; T_v \rightarrow \kappa_v$  (коефіцієнт вимушеного простою);
- $\mu; T_n \rightarrow \kappa_n$  (коефіцієнт планового ремонту).

На рисунку 2 показано заступну схему заміщення для наведеної мережі 10 кВ.

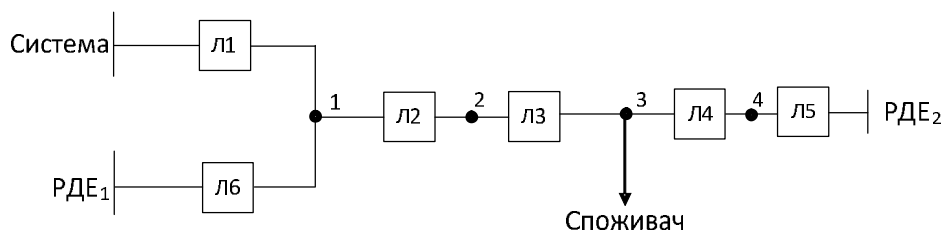


Рисунок 2. Заступна схема електричної мережі 10 кВ

Спрощення схеми здійснюються на основі формул наведених нижче [7]. Для  $n$  – послідовних включень блоків:

$$\begin{cases} \omega = \sum_{i=1}^n \omega_i \\ T_v = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^n T_{vi} \omega_i \end{cases} \Rightarrow \kappa_v \frac{T_v \omega}{8760} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \mu = \sum_{i=1}^n \mu_i \\ T_n = \frac{1}{\mu} \sum_{i=1}^n T_{ni} \mu_i \end{cases} \Rightarrow \kappa_n \frac{T_n \mu}{8760} \quad (2)$$

Даний метод надійності не враховує добові зміни навантаження, що робить його непридатним для аналізу функціональної надійності електричних мереж з РДЕ.

Для аналізу надійності з урахуванням добового графіка навантаження використовується метод, що побудований на аналізі різниці між генеруванням та навантаженням електроенергії в мережі [1].

Цикл навантаження за період  $\epsilon$  випадковою послідовністю рівнів навантаження, де  $N$   $\epsilon$  фіксоване число. Типовий добовий графік навантаження представлений на рисунку 3.



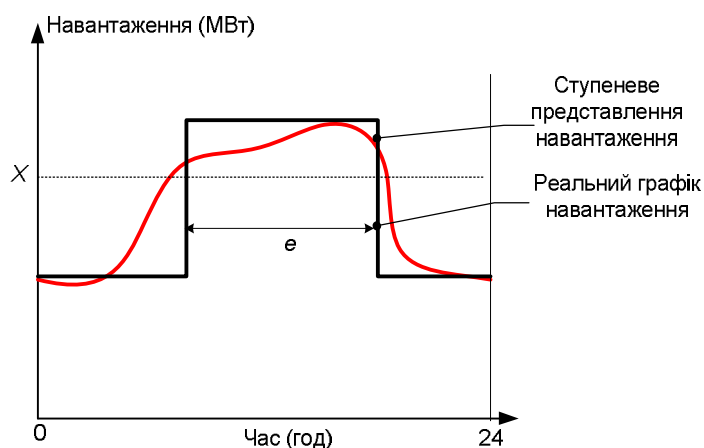


Рисунок 3. Типовий добовий графік навантаження

Необхідні параметри для визначення моделі навантаження:

- кількість піків навантаження –  $N$ ;
- піки навантаження –  $L_i, i=1 \dots N$ , при цьому  $L_1 > L_2 > \dots > L_n$ ;
- мінімальне навантаження –  $L_0$ ;
- кількість переходів на пікове навантаження –  $n(L_i), i=1 \dots N$ ;

Період визначається за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^N n(L_i) \quad (3)$$

В таблиці 1 наведено формули для визначення параметрів типового добового графіка навантаження:

Таблиця 1 – Параметри типового графіка навантаження

	Пікове навантаження $L_i$	Мінімальне навантаження $L_0$
Середня тривалість	$E$	$e-1$
Імовірність виникнення	$p(L_i) = \frac{n(L_i)}{D} \cdot e$	$p(L_0) = 1 - e$
Швидкість зростання навантаження	$\lambda_+(L_i) = 0$	$\lambda_+(L_0) = \frac{1}{1-e}$
Швидкість зниження навантаження	$\lambda_-(L_i) = \frac{1}{e}$	$\lambda_-(L_i) = 0$
Частота зміни навантаження	$f(L_i) = \frac{n(L_i)}{D}$	$f(L_i) = 1$

Поєднання дискретних рівнів наявних потужностей і дискретних рівнів попиту системи або навантаження створює набір резерву електроенергії  $m_k$ . Резерв визначається як різниця між доступною потужністю і навантаженням системи. Негативне значення показує стан, в якому навантаження системи перевищує генерування, вважається що це стан відмови системи. Задовільним вважається стан коли різниця між генерованою потужністю і навантаженням є додатною. Резерв  $m_k$  представляє собою різницю навантаження  $L_i$  і нарощування навантаження  $C_n$ , запас по потужності.

$$m_k = C_n - L_i \quad (4)$$

Швидкості переходу, пов'язана з резервом, визначається за формулами:

$$\lambda_{+m} = \lambda_{+C} + \lambda_{-L} \quad (5)$$

$$\lambda_{-m} = \lambda_{-C} + \lambda_{+L} \quad (6)$$

Ймовірність стану границі є результатом генерування та навантаження в мережі, визначається за формуло:

$$p_k = p_n \cdot p_i \quad (6)$$

Частота зіткнення графіка  $m_k$  з границею потужності залежить від стану границі:

$$f_k = p_k (\lambda_{+k} + \lambda_{-k}) \quad (7)$$

Отримавши індивідуальні ймовірності та частоти переходів станів, сукупні значення можуть бути отримані шляхом об'єднання ситуацій, які мають однакові границі потужності  $m_k$ :

$$p_k = \sum_{i=1}^s p_i \quad (8)$$

$$f_k = \sum_{i=1}^s f_i \quad (9)$$

$$\lambda_{\pm k} = \frac{\sum_{i=1}^s p_i \cdot \lambda_{\pm j}}{p_k} \quad (10)$$

Недоліком такого підходу є те, що тут не враховано фактор зміни конфігурації мережі. Наприклад, не можна оцінити надійність функціонування мережі після від'єднання ділянки мережі з РДЕ на період часу коли добовий графік навантаження досягає свого мінімального, або максимального значення.

#### **Вдосконалення методу аналізу функціональної надійності розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії**

Зі збільшенням кількості розосереджених джерел енергії (РДЕ) збільшується частка нестабільних джерел енергії, відповідно точність методів, та кількість параметрів які мають контролюватися під час дослідження надійності збільшується. Постає питання вдосконалення методів визначення параметрів електричної мережі. Існує багато методів для уточнення параметрів ЛЕП, але основний фактор який впливає на точність є довжина ЛЕП. На сьогоднішній день більшість ЕМ мають застарілі схеми розподільних мереж 10 кВ. Які уточнюються шляхом обходів майстрів бригад відповідних дільниць. При обходах використовують методи 40 річної давності. Що суттєво впливає на точність отриманих даних. Більш точні дані можна отримати за допомогою використання ГІС-технологій з прив'язкою до місцевості. Використовуючи прилади для фіксування GPS-координат з подальшим перенесенням їх на карту. На основі GPS-координат отримують адекватні дані які є точнішими по відношенню до даних отриманих шляхом збирання даних з паспортів ЛЕП.

Для дослідження надійності електричних систем з РДЕ скомбінуємо метод блок-схем та метод дослідження надійності на основі добового графіка надійності. Для уточнення даних про схему ЕМ в період доби який досліджується будемо використовувати ГІС. Алгоритм визначення надійності електросистем з РДЕ подано на рисунку 4.

1. Виконується збір даних на основі попередньої доби;
2. Використовуючи добові графіки споживання електроенергії визначається необхідна кількість електроенергії для кожного споживача;
2. Використовуючи добові графіки генерування сонячними та гідроелектростанціями визначається частка покриття споживання електроенергії;
4. Використовуючи інформацію, одержану в пунктах 2 та 3 уточнюється схема електричної мережі. В результаті чого визначаються схеми постачання електроенергії для кожного періоду доби. Для уточнення параметрів ліній електропередач використовується геоінформаційна система;

5. Використовуючи уточнену схему електропостачання для кожного періоду доби визначається коефіцієнт надійності відносно добового графіка навантаження;

6. Використовуючи уточнені схеми електропостачання для кожного періоду доби визначається коефіцієнт надійності за методом блок-схем;

7. На основі методу Байеса [4] виконаємо комбінування коефіцієнтів надійності та отримаємо сумарний показник надійності;

Наведений алгоритм дозволяє більш точно визначити коефіцієнт надійності за рахунок уточнення вхідних параметрів та комбінування двох методів визначення надійності.

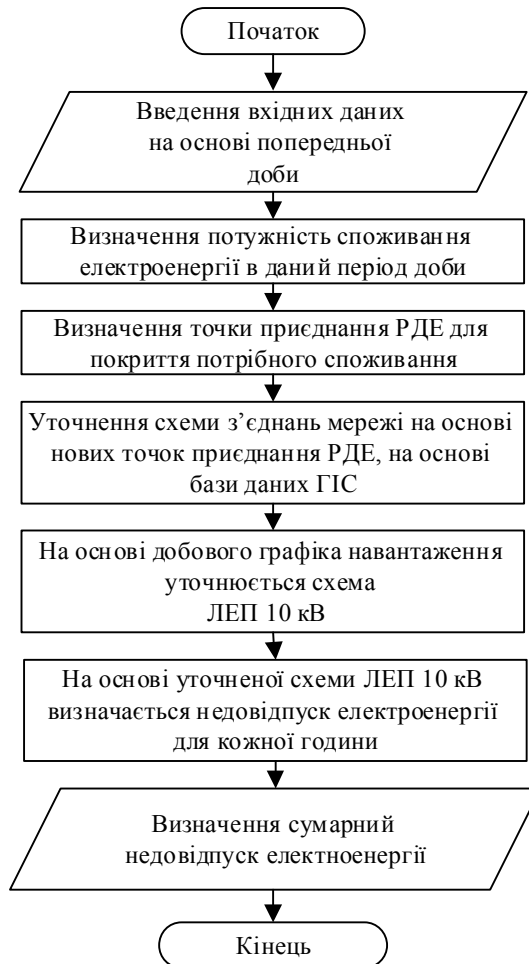


Рисунок 4. Варіанти зміни електричної мережі 10 кВ, в залежності від часу

Використовуючи запропонований алгоритм було розраховано погодинний графік недовідпуску електроенергії для електричних мереж з централізованим та комбінованим електропостачанням. Як видно з рисунку 5, наявність джерел розосередженого генерування крім забезпечення надходжень від реалізації електроенергії дозволяє підвищувати функціональну надійність електричних мереж.

Практичні розрахунки показали, що сумісна експлуатація а електричних мережах відновлюваних джерел енергії (у даному випадку СЕС та ГЕС, потужність яких співмірна з місцевим електричним споживанням) дозволяє зменшити збитки від недовідпуску електроенергії споживачам майже на 100 тис. грн. на рік. для одного фідера з середнім навантаженням близько 300 кВт.

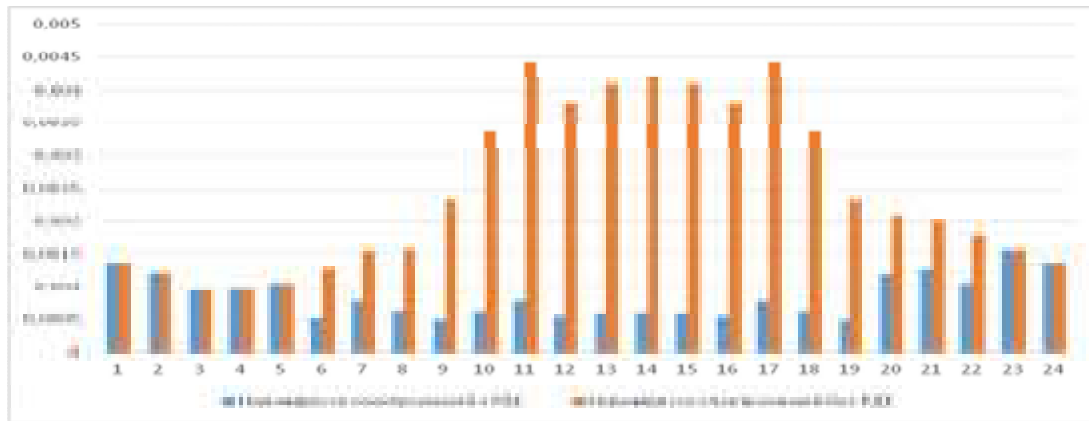


Рисунок 5. Погодинний графік недовідпуску електроенергії

### Висновки

Відповідно до сучасних тенденцій розвитку електричних систем збільшується частка децентралізованого генерування енергії. Розподільні ЕМ у сукупності з розосередженими джерелами енергії (РДЕ) набувають ознак локальних електричних систем (ЛЕС). Виходячи з цього, висувуються нові вимоги щодо методів оцінювання функціональної надійності, а також складу та періодичності оновлення параметрів електричних мереж для її адекватного дослідження.

Проаналізувавши сучасні методи аналізу надійності було виявлено ряд недоліків і запропоновано комбінований метод який, на відміну від відомих, враховує добовий графік навантаження та зміну схеми транспортування електричної енергії в залежності від режиму роботи РДЕ.

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє підвищити адекватність оцінювання функціональної надійності за допомогою комбінування методів визначення надійності та уточнення вхідних даних за допомогою геоінформаційної системи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Надійність електричних мереж / П.П. Рожков, С.Е. Рожкова// Харків – ХНАМГ – 2007
2. 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.
3. Надежность электроснабжения как инструмент регулирования отношений между поставщиками и потребителями энергии [Электронный ресурс] / В.В.Воротницкий // "Энергия и Менеджмент" журнал для энергетиков 3(48), 2009 – Режим доступа до ресурсу: [http://web-energo.by/page.php?form\\_id=569](http://web-energo.by/page.php?form_id=569).
4. Сачанюк-Кавецька Н.В., Педорченко Л.І., Дубова Н.Б. Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики. Частина 1. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2008. -108 с.
5. 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.
6. 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.
7. Гук Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике: [Учебное пособие для вузов] / Ю. Б. Гук– Л.: Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние, 1990 – 208 с.

**Кириченко Василь Федорович** — аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kirichenkovf@inbox.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.** — Post-graduate student of the Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia, email : kirichenkovf@inbox.ru;

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

## ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ, ЗУМОВЛЕНИХ ФУНКЦІОНУВАННЯМ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет;

**Анотація:** В роботі розглядається питання використання розосереджених джерел енергії (РДЕ) в електричних системах, та їх вплив на режими роботи розподільних електромереж. А також складові втрати електроенергії, викликані використанням РДЕ в енергетичних системах

**Ключові слова:** розподільчі джерела електроенергії, вплив РДЕ на режими роботи ЕМ, втрати зумовлені використанням РДЕ.

**Abstract:** Using the work examines the dispersed energy sources (IDR) in electrical systems and their impact on modes of distributive grid. Also parts of Electricity losses supported use IDR in power systems

**Keywords:** distributive source of electricity IDR, Impact on modes of EM, losses caused by using IDR.

### Вступ

Питання використання розосереджених джерел енергії (РДЕ) в електричних системах з метою підвищення надійності та якості електропостачання споживачів на сьогодні є практично не дослідженими. Важливим тут є дослідження впливу РДЕ на режими роботи розподільних електромереж (ЕМ), а також складової втрати електроенергії, що зумовлені роботою РДЕ.

### Результати дослідження

З [1] відомо, що частка втрат потужності в позовжній частині електричних мереж, зумовлена передачею потужності розосередженого джерела енергії (РДЕ), коли остання задається у вигляді транзитного струму  $\dot{J}_{\text{тр}}$ , залежить не тільки від його складових, але і від значень інших струмів, що протікають вітками електричної мережі (ЕМ). Міру залежності транзитної складової втрат від параметрів поточного режиму ЕМ можна охарактеризувати коефіцієнтами взаємовпливу [1]:

$$\mu'_i = 1 + 2 \frac{I'_i}{J'_{\text{тр}}}; \quad \mu''_i = 1 + 2 \frac{I''_i}{J''_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

де  $J'_{\text{тр}}$ ,  $J''_{\text{тр}}$ ,  $I'_i$ ,  $I''_i$  – активна та реактивна складові струму, яким задається транзит потужності, та інших часткових струмів, зумовлених власними навантаженнями ЕМ.

Ці коефіцієнти можуть приймати довільні значення залежно від значення та напрямку струмів, що протікають  $i$ -ою віткою. Нульові значення відповідають відсутності у даній вітці часткових струмів крім  $\dot{J}_{\text{тр}}$ .

З урахуванням (1) вираз для визначення втрат потужності в ЕМ від передачі потужності РДЕ може бути переписаний так:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 3 \sum_{i \in M1} \left[ J_{\text{тр}}'^2 \mu'_i + J_{\text{тр}}''^2 \mu''_i \right] \cdot R_i, \quad (2)$$

де  $M1$  – множина віток електромережі, якими транспортується потужність РДЕ.

У випадку передачі потужності розосередженого джерела електроенергії споживачеві, приєднаному до однієї розподільної електромережі з РДЕ (наприклад, окремих фідер 10 кВ, фрагмент ме-

режі 110 кВ з вираженим джерелом централізованого електропостачання тощо), крім втрат активної потужності, що зумовлені адресною передачею електроенергії електричною мережею від РДЕ до споживача, слід враховувати складову втрат, яка зумовлена передачею електроенергії від центру живлення до зазначеного споживача. Ця складова враховує передачу енергії на покриття небалансу між договірним та реальним електропостачанням, а також втрат від адресного перетоку.

Таким чином, сумарні втрати активної потужності, що мають бути покриті за рахунок власників РДЕ у випадку передачі потужності електричною мережею до заданого споживача, визначаються так:

$$\Delta P_{\Sigma \text{тр}} = 3 \sum_i \sum_{M1} \left[ J_{\text{тр}}'^2 \mu_i' + J_{\text{тр}}''^2 \mu_i'' \right] \cdot R_i + 3 \sum_{j \in M} \left[ \Delta J_{\text{тр}}'^2 \mu_{\Delta j}' + \Delta J_{\text{тр}}''^2 \mu_{\Delta j}'' \right] \cdot R_j, \quad (3)$$

де  $j$  – номер вітки електричної мережі;

$M2$  – множина віток схеми ЕМ на шляху між основним центром живлення та вузлом призначення адресного перетоку потужності РДЕ.

Коефіцієнти взаємовпливу  $\mu_{\Delta j}'$  та  $\mu_{\Delta j}''$  мають фізичний зміст, аналогічний коефіцієнтам і визначаються так:

$$\mu_{\Delta j}' = 1 + 2 \frac{I_j'}{\Delta J_{\text{тр}}'}; \quad \mu_{\Delta j}'' = 1 + 2 \frac{I_j''}{\Delta J_{\text{тр}}''}. \quad (4)$$

де  $\Delta J_{\text{тр}}'$ ,  $\Delta J_{\text{тр}}''$  – складові додаткового струму, що протікає від джерела централізованого електропостачання для покриття зазначеного вище небалансу потужності на шинах споживача:

$$\Delta j_{\text{тр}} = j_{\text{тр}} - j_{\text{тр}}^{\text{СП}} \quad (5)$$

де  $j_{\text{тр}}^{\text{СП}} = \frac{\hat{S}_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \hat{U}_{\text{СП}}}$  – струм, зумовлений передачею потужності  $\hat{S}_{\text{тр}}$  та приведений до шин споживача.

Слід зауважити, що якщо згідно умов угоди щодо постачання електроенергії регламентується передача лише активної потужності, то для визначення  $j_{\text{тр}}^{\text{СП}}$  слід використовувати лише активну складову транзитної потужності  $P_{\text{тр}}$ :

$$j_{\text{тр}}^{\text{СП}} = \frac{P_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \hat{U}_{\text{СП}}}, \quad (6)$$

де  $\hat{U}_{\text{СП}}$  – комплексно-спряжена напруга на шинах споживача.

Відповідний транзитній потужності струм залежить від типу електричної станції, типу її генераторів, наявності засобів компенсації реактивної потужності та пристроїв керування ними. Якщо за технологічним процесом генерування активної потужності на РДЕ пов'язане з генеруванням або споживанням реактивної потужності (наприклад використовуються синхронні генератори на ГЕС або вітрових станціях), то

$$j_{\text{тр}} = \frac{\hat{S}_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \hat{U}_{\text{РДЕ}}}, \quad (7)$$

Для випадку, коли реактивна потужність цілком компенсується в межах балансової належності РДЕ (наприклад, застосування асинхронних генераторів на ГЕС з керованими засобами компенсації реактивної потужності) то струм, який описує транзитний потік потужності від нього визначається

$$j_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \hat{U}_{\text{РДЕ}}}. \quad (8)$$

## Висновки

Виходячи з цього, у випадку повної компенсації реактивної потужності засобами РДЕ його вплив на режими роботи електромереж є меншим, через що значення втрат від адресного перетоку потужності у більшості випадків також є меншими, порівняно з транспортуванням активної та реактивної потужності. Однак в окремих випадках – якщо розосереджені джерела видають потужність у електрично віддалені частини ЕМ – додаткове генерування реактивної потужності РДЕ може бути корисним з огляду на підвищення якості електроенергії в ЕМ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П.Д. Определение и анализ потерь мощности от транзитных перетоков в электрических сетях энергосистем методом линеаризации / П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, А.Б. Бурькин // Электрические сети и системы. – 2006. – №1. – С. 28-32.
2. Lezhnyuk P.D. Electroenergy Systems Interference Analysis / P.D. Lezhnyuk, V.V. Kulyk, O.B. Burykin : Proceedings of the XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering [“ISTET’05”], (Lviv, June 2 – 5, 2005). – Lviv.: Lviv Polytechnic National University, 2005. – P. 215-218.
3. 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.

**Власова Олеся Василівна** — студентка групи 1Е-13Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lesya\_vlasova2011@mail.ru;

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — доктор. техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Olesya V. Vlasova** — student of 1E-13B, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lesya\_vlasova2011@mail.ru;

Supervisor: **Lezhniuk D. Peter** — Dr. Sc. , Professor, Head of Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

## ОСОБЛИВОСТІ ПОСТАНОВКИ ТА ВИРІШЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ

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

### *Анотація*

*Розроблено алгоритм аналізу нескалярної цілочислової математичної моделі симетрування електричних режимів, який може використовуватись для вирішення задач оперативного керування.*

**Ключові слова:** несиметрія режиму, нескалярна оптимізація, оптимальне керування.

### *Abstract*

*The algorithm of analysis of unscalar integer of mathematical model of symmetrization of the electric modes is developed, which can be utilized for the decision of tasks of operative management.*

**Keywords:** unsymmetry of the mode, unscalar optimization, optimum management.

### Вступ

Розв'язування всіх оптимізаційних задач у класичній математиці пов'язане із знаходженням екстремуму цільової функції  $f(\mathbf{X})$  або цільового функціонала  $J(\tilde{\mathbf{O}}) = \int_a^b \tilde{\mathbf{O}}(t) dt$ , де  $f(\mathbf{X})$  та  $\mathbf{X}(t)$  деякі функції, визначені на відрізку  $[a, b]$ . Залежності  $f(\mathbf{X})$  та  $J(\mathbf{X})$  є скалярними функціями дійсного змінного, тобто набувають значення, що виражаються дійсним числом і можуть бути подані точкою на числовій осі. Екстремум функції  $f(\mathbf{X})$  – це найбільше або найменше значення функції на деякому відрізку.

Якщо значення змінних повинні належати деякій області допустимих значень, то оптимізаційна задача вирішується методами дослідження операцій. При цьому під оптимумом розуміється найбільше або найменше значення функції, знайдене з області допустимих значень змінних. Розв'язок задачі дослідження операцій згідно з класичними алгоритмами можливий тільки тоді, коли математичні моделі містять скалярні функції дійсних змінних.

Якщо оптимізаційна задача полягає в знаходженні максимуму або мінімуму цільового функціонала  $J(\mathbf{X})$ , то застосовуються методи варіаційного числення або оптимального керування. При цьому функціонал визначається деяким набором скалярних функцій дійсного змінного та являє собою дійсне число, що залежить від обраної функції.

Зробивши узагальнення, звернемо увагу на ту обставину, що в усіх випадках розв'язування задач оптимізації класичними методами доводиться мати справу лише із скалярними функціями дійсного змінного. Проте ряд задач оптимізації режиму електричних мереж може описуватись в комплексному вигляді. До числа таких задач відносяться задачі оптимізації несиметричних режимів, критеріями оптимальності яких є параметри режиму  $\dot{I}_2, \dot{U}_2, \tilde{N}$  – величини векторні, де  $\dot{I}_2, \dot{U}_2$  – вектор струму і напруги зворотної послідовності;  $\tilde{N}$  – комплекс пульсуючої потужності. Цільові функції цих задач в загальному вигляді можна записати таким чином:

$$\dot{F}(\tilde{\mathbf{O}}) = f(\tilde{\mathbf{O}}) + j\phi(\tilde{\mathbf{O}}), \quad (1)$$

де  $\mathbf{X}$  – вектор змінних, кожний компонент якого – дійсне число;  $f, \phi$  – скалярні функції;  $j$  – уявна одиниця.



Залежність (2.11) є нескаллярною функцією дійсного змінного, де кожному значенню  $\mathbf{X}$  відповідає певне значення функції  $\tilde{F}(\tilde{\mathbf{O}})$ , що виражається комплексним числом і подається точкою на комплексній площині. Для таких задач відсутні класичні математичні методи пошуку оптимуму. Більш того, не дано означення самого поняття оптимуму.

### Результати дослідження

Термін «оптимум» в економіко-математичних методах використовується в значенні: найкращий варіант із можливих станів системи. В цьому значенні оптимумом слід вважати стан електричної мережі, який описується мінімальними за модулем векторами (комплексами)  $I_2, U_2, \tilde{N}$ . Задача оптимізації з цільовою функцією (1) відноситься до задач нескаллярної оптимізації. Під нескаллярною оптимізацією будемо розуміти знаходження розв'язку, що мінімізує модуль вибраного критеріального показника [1].

Природньо для вирішення оптимізаційних задач, що містять цільову функцію виду (1), прагнення спростити її або виконати такі перетворення, щоб отримати можливість використати один із класичних методів аналізу.

Прикладами такого шляху знаходження оптимуму можуть бути такі [2].

1. Нехтування  $f(\tilde{\mathbf{O}})$  або  $\phi(\tilde{\mathbf{O}})$  в цільовій функції виразу (1). Наприклад, саме так діють в задачах регулювання напруги в мережах 0,4 – 10 кВ, коли нехтують поперечною складовою вектора спаду напруги. Ця складова завжди залишається набагато меншою за повздовжню складову. Але співвідношення між  $f(\tilde{\mathbf{O}})$  та  $\phi(\tilde{\mathbf{O}})$  в задачах симетрування електричних режимів такі, що знехтувати будь-якою із них неможливо.

2. При побудові математичної моделі керування можна зробити перехід до модулів векторів режимних параметрів, які є скалярами, тобто  $F(\tilde{\mathbf{O}}) = \sqrt{f(\mathbf{X})^2 + j\phi(\mathbf{X})^2}$ . Як показали дослідження, такі моделі симетрування режиму електромережі відносяться до класу нелінійних моделей, а іноді зображаються моделями квадратичного програмування. Після такого переходу для знаходження розв'язку оптимізаційної задачі можуть використовуватись уже відомі обчислювальні алгоритми, а самі розв'язки знаходяться в неперервних змінних.

Для керування, зокрема, несиметричним режимом, в реальному часі необхідні розв'язки, знайдені в цілочислових змінних, оскільки за ними стоять, наприклад, параметри СП, які мають дискретні значення або відповідне фазування несиметричних навантажень.

Розв'язування задач квадратичного програмування в цілочислових змінних пов'язане з рядом труднощів. Такі задачі керування можуть вирішуватись в неперервних змінних (без урахування цілочисловості), і якщо отриманий розв'язок задовольняє обмеження цілочисловості, то він є оптимальним для початкової цілочислової задачі. В протилежному випадку потрібно перейти до округлення компонент оптимального плану звичайної моделі квадратичного програмування до цілих чисел, але при цьому можливі розв'язки, що недопустимі за умовою задачі або не є оптимальними.

При постановці задачі симетрування режиму у вигляді задачі нескаллярної оптимізації є можливість використати для її розв'язування, наприклад, алгоритм, оснований на ідеях симплекс-методу лінійного програмування, оскільки перший та другий доданки виразу (1) є лінійною функцією змінних вектора керування [3]. Така постановка задачі дає змогу:

- в два рази понизити порядок цільової функції та використати для розв'язування задачі алгоритми, що мають більш просту обчислювальну процедуру;
- знаходити розв'язки в цілочислових змінних, оскільки для цілочислових задач лінійного програмування добре розроблені обчислювальні процедури.

Таким чином, на етапі математичної постановки слід забезпечити адекватність моделі із об'єктом керування, врахувавши особливості процесів, що моделюються, та можливості реалізації керування з однієї сторони, а з іншої – слід виконати вимоги тих або інших математичних методів, за якими буде знаходитись розв'язок задачі. Для вирішення задачі можна піти на допущення, довівши, що вони суттєво не позначаються на отриманих результатах, а якщо цього зробити не можна, то доводиться, обгрунтувавши необхідними дослідженнями, адаптувати відомі математичні методи аналізу чи розробити нові. Саме для аналізу математичних моделей нескаларної оптимізації, які розглядаються далі, адаптовано класичний симплекс-метод лінійного програмування.

Наприклад, аналіз нескаларної моделі внутрішнього симетрування однофазних навантажень можна провести, використавши основні ідеї симплекс-методу лінійного програмування, згідно з алгоритмом (рис. 1). Працездатність алгоритму підтверджена розрахунками та експериментальними дослідженнями як на фізичній моделі системи електропостачання з однофазними електроприймачами, та і на діючих підприємствах.

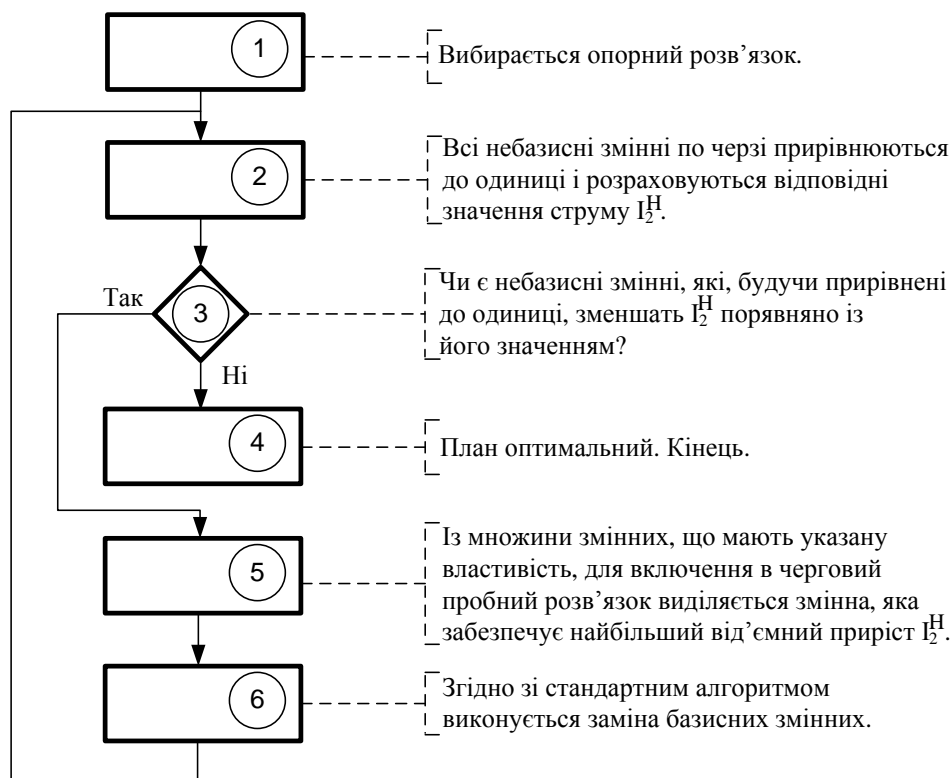


Рисунок 1 – Логічна схема розв'язування задачі внутрішнього симетрування (задачі нескаларної оптимізації)

На рис 1  $I_2^I$  – струм зворотної послідовності в лінії, що живить групу однофазних приймачів.

### Висновок

Вирішувати цілочислові задачі симетрування електричних режимів можна методами нескаларної оптимізації за розробленим алгоритмом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аввакумов В. Г. Методы нескаларной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К. : Вища шк., 1990. – 188 с. – ISBN 5-11-001321-7/
2. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 136 с.
3. Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики : Навчальний посібник / В.О. Милосердов, Л.Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 123 с.

**Леонід Борисович Терешкевич** – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

**Олександр Олексійович Хоменко** – аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

**Leonid Boris Tereshkevich** – Cand. Sc. (Eng), associate professor, professor of department of the electrical engineering systems of electro-consumption and power management, Vinnitca national technical university.

**Aleksander Alex Khomenko** is a graduate student of department of the electrical engineering systems of electro-consumption and power management, Vinnitca national technical university.

## ЗАДАЧІ ВНУТРІШНЬОГО СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО МАЮТЬ МІСЦЕ У ВУЗЛІ ЇХ ПІД'ЄДНАННЯ, ТА МЕТОД ДЛЯ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розроблено метод, який дозволяє вирішувати ряд задач внутрішнього симетрування. Отримані розв'язки відповідають глобальним екстремумам цільових функцій.*

**Ключові слова:** несиметрія режиму, симетрування електричного режиму, оптимальне керування.

### **Abstract**

*The algorithm of analysis of unscalar цілочислової of mathematical model of симетрування of the electric modes is developed, which can be utilized for the decision of tasks of operative management.*

**Keywords:** unsymmetry of the mode, unscalar optimization, optimum management.

### **Вступ**

Одним із технічних заходів, який дозволяє зменшити несиметрію режиму в електричних мережах без суттєвих додаткових капітальних вкладень, є внутрішнє симетрування однофазних електроприймачів (ОЕ) [1]. За своєю природою будь-яка задача внутрішнього симетрування є оптимізаційною оскільки існує багато варіантів її реалізації, кожний з яких забезпечує той або інший результуючий ефект. Наприклад, кількість варіантів під'єднання групи ОЕ до мережі становить  $3^N$ , де  $N$  – загальна кількість ОЕ в групі.

Застосування класичних оптимізаційних методів для вирішення таких задач супроводжується рядом труднощів [2, 3, 4], серед яких:

- необхідність знаходження розв'язків в цілочислових змінних;
- критерії ефективності описуються нескаларною функцією дійсного змінного;
- розв'язки, знайдені існуючими методами вирішення таких задач, можуть відповідати локальним екстремумам цільових функцій, якими описані критерії ефективності.

Метою роботи є розробка методу, який забезпечить знаходження розв'язків, яким відповідає глобальний екстремум цільових функцій, а ідеї якого є спільними для вирішення таких задач внутрішнього симетрування:

- оптимального під'єднання ОЕ з незмінними параметрами до трифазної трипровідної мережі (далі задача 1);
- те саме, ОЕ, параметри яких змінюються в часі (далі задача 2);
- визначення оптимального зсуву графіків навантажень ОЕ з метою зниження несиметрії режиму (далі задача 3);
- те саме, та їх оптимального під'єднання до електричної мережі (далі задача 4).

### **Результати дослідження**

Для задач 2-4 можна скористатись цільовою функцією, яка описує величину, пропорційну додатковим втратам енергії:

$$\sum_{k=1}^K I_{II_k}^2(\mathbf{X}), \quad (1)$$

де  $I_{II}$  – струм зворотної послідовності в лінії, яка живить вузол, до якого під'єднані ОЕ;  
 $\mathbf{X}$  – вектор рішень із внутрішнього симетрування.

У випадку задачі 1 цільовою функцією може бути така, яка описує величину, пропорційну додатковим втратам потужності в лінії живлення

$$I_{II}(\mathbf{X}) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для знаходження оптимальних розв'язків усіх зазначених задач попередньо розраховується матриця  $\mathbf{F}$  – матриця можливих значень струмів  $I_{II}$ ,

$$\mathbf{F} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{X}, \quad (3)$$

де  $\mathbf{I}$  - матриця можливих впливів кожного окремо взятого ОЕ на режим в електричній мережі.

Вимірність матриць  $\mathbf{I}$  та  $\mathbf{X}$  і, як наслідок, матриці  $\mathbf{F}$  залежить від змісту задачі внутрішнього симетрування. Для задач 3 та 4 кількість матриць  $\mathbf{I}$  та  $\mathbf{F}$  дорівнює кількості варіантів зсуву графіків навантажень ОЕ.

У випадках всіх задач, що зазначені, елементи матриць  $\mathbf{F}$  обробляються за відповідним алгоритмом і на підставі цього визначається оптимальне рішення.

Працездатність та переваги розробленого методу вирішення задачі 1, де визначалось оптимальне під'єднання п'яти ОЕ, в порівнянні з іншими методами видно з результатів, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вирішення задачі 1 різними методами

	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4
	№2; №3	№4	№4	№1; №5
Під'єднати до $U_{BC}$	№1; №5	№1; №3	№1; №5	№2; №3
Під'єднати до $U_{CA}$	№4	№2; №5	№2; №3	№4
Струм $I_{II}, A$	5,87	4,78	3,22	3,22

В таблиці 1:

- метод 1 – модифікований симплекс-метод [1];
- метод 2 – метод динамічного програмування для вирішення задачі нескаларної оптимізації [2];
- метод 3 – метод Монте-Карло [6] при закладеній кількості випробовувань – 1000;
- метод 4 – розроблений метод.

Ефективність розробленого методу в порівнянні з методом, який базується на аналізі М-моделі внутрішнього симетрування [7] – метод 5, видно з таблиці 2, в якій наведено розв'язки для двох прикладів.

Таблиця 2 – Результати вирішення задачі 2 різними методами

	Приклад 1		Приклад 2	
	Метод 4	Метод 5	Метод 4	Метод 5
Під'єднати до $U_{AB}$	№1; №4	№2	№3; №4	№4
Під'єднати до $U_{BC}$	№2	№1; №4	№1	№2;
Під'єднати до $U_{CA}$	№3	№3	№2	№3; №1
$\sum_{k=1}^K I_{IIk}^2, A^2$	256,9	256,9	418,5	729,11

З таблиці 2 видно, що рішення розраховані за методом 5 не завжди можуть бути оптимальними.

### Висновки

1. За розробленим методом можуть вирішуватись такі задачі внутрішнього симетрування ОЕ:
  - оптимального під'єднання групи ОЕ до вузла трифазної трипровідної мережі;
  - те саме, електроприймачів, параметри яких змінюються в часі;
  - визначення оптимального зсуву графіків навантажень ОЕ з метою зниження несиметрії режиму;
  - те саме, та їх оптимального під'єднання до електричної мережі.

2. Розв'язки отримані за розробленим методом, забезпечують глобальний екстремум цільової функції.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк. – К.: Наукова думка, 1992. – 240 с.
2. Аввакумов В. Г. Методы нескаллярной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К.: Вища школа, 1990. – 188 с. – ISBN 5-11-001321-7.
3. Милосердов В. О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики [Текст] : Навч. посіб. для студ. енерг. спец. / В. О. Милосердов, Л. Б. Терешкевич ; Вінницький національний технічний ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2004. - 120 с.
4. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні / Л. Б. Терешкевич – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 136 с.
5. Терешкевич Л. Б. Врахування зміни параметрів електричного режиму під час симетрування навантажень / Л. Б. Терешкевич, О. О. Хоменко // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2016 – №1. Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/463/461>
6. Аввакумов В. Г. Экономико-математические методы : идеи, алгоритмы, программы / В. Г. Аввакумов – Омск : 2009. – 194 с.
7. Терешкевич Л. Б. Принятие решений по симметрированию режима системы электроснабжения на основе статической информации / Л. Б. Терешкевич // Изв. Вузов СССР «Энергетика» – 1989, №6, с. 40-43.

**Леонід Борисович Терешкевич** – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

**Олександр Олексійович Хоменко** – аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

**Leonid Boris Tereshkevich** – Cand. Sc. (Eng), associate professor, professor of department of the electrical engineering systems of electro-consumption and power management, Vinnitca national technical university.

**Alexander Alex Khomenko** is a graduate student of department of the electrical engineering systems of electro-consumption and power management, Vinnitca national technical university.

# АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТИЛЬНИКІВ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ КРИВОЇ РОЗПОДІЛУ ОСВІТЛЕНOSTІ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Здійснено порівняльний аналіз освітленості світильників вуличного освітлення шляхом побудови кривої розподілу освітленості, який дозволив визначити пріоритетність вибору світильників по їх енергоефективності.

**Ключові слова:** світильник, світлодіод, натрієва лампа, ефективність освітлення.

## Abstract

The comparative analysis of illumination lamps for street lighting by illumination distribution curve, which allowed to prioritize the selection of fixtures on their energy efficiency.

**Keywords:** lamp, LED, sodium lamp, lighting efficiency.

## Вступ

Вибір світильника для системи освітлення об'єкта, що проектується, є однією з ключових задач. Відомо, що найбільш перспективним для сьогодення є світлодіодне освітлення, оскільки характеризується високою світловіддачею (відношення світлового потоку до спожитої потужності з електричної мережі), постійністю кольору і колірної температури, значним корисним терміном служби світлодіодів [1, 2]. Головний з показників, який повинен забезпечуватись – достатній рівень освітленості у визначених точках простору, що не нижчий за нормований [3].

Метою роботи є розроблення способу визначення найбільш енергоефективного світильника для конкретного світлотехнічного проєкта, який би забезпечував вимогам зручності та наочності.

## Результати дослідження

В роботі наведені дослідження систем вуличного освітлення. Під час проектування здійснюється збір даних про значення сили світла світильників, їх потужності та деякі інші показники. В результаті отримання інформації про значення сили світла, можна розрахувати значення освітленості в конкретних точках простору. Це можна зробити з використанням виразу

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{l^2} \quad (1)$$

де  $I_{\alpha}$  – сила світла при певному куті  $\alpha$ , кд;  $l$  – відстань від світильника до розрахункової точки.

Пропонується дослідити три світильники вуличного освітлення: перший – ЖКУ-11У-70 з натрієвою лампою, потужністю 70 Вт, другий – ЖКУ-13-125 з двома світлодіодами сумарною потужністю 60 Вт і третій – ЖКУ-13-125 з одним світлодіодом потужністю 45 Вт. В результаті розрахунку за формулою (1) побудовано залежності  $E = f(d)$ , де  $d$  – відстань від опори лінії освітлення до точки, що розглядається. На рис. 1а наведено вказані залежності для поздовжньої вісі світильників, а на рис. 1б – для поперечної вісі світильників, що порівнюються. Середня горизонтальна освітленість повинна бути не нижча 6 лк.

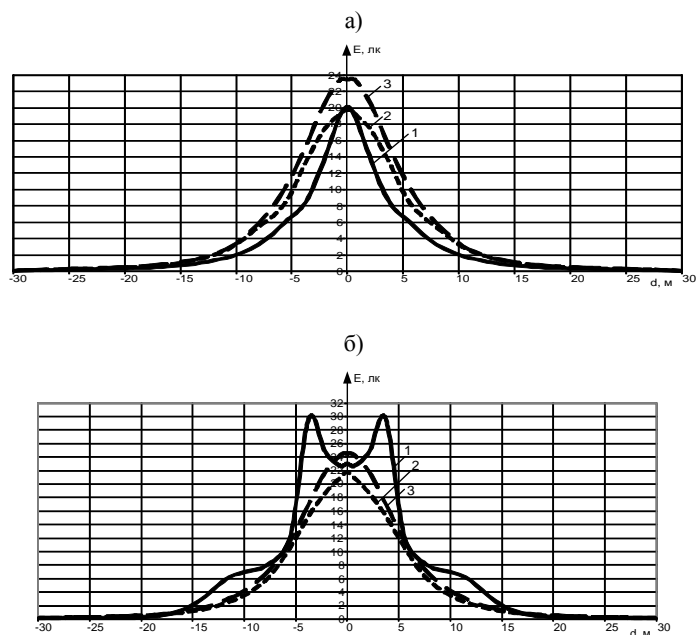


Рис. 1. Залежності освітленості, що створюються світильниками: 1 – ЖКУ-11У-70 (70 Вт), 2 – ЖКУ-13-125 (60 Вт), 3 – ЖКУ-13-125 (45 Вт) в поздовжній (а) та поперечній прощинах (б) світильника.

Як видно з рис. 1а, для поздовжньої площини, яка розташована поперек дороги і, як правило, не перевищує 5 м., усі ці світильники задовольняють вимоги стандарту. Між опорами освітлювальної лінії для вказаного типу доріг відстань складає 30 м. Враховуючи, що освітленість із сусідніх опор накладається, то в точках між опорами необхідно враховувати подвоєну освітленість, взяту з рис. 1б. З огляду на останнє, майже по усьому прольоту освітленість між опорами буде більша 6 лк. Хоча в світильників із світлодіодами освітленість дещо нижча, ніж у світильника з натрієвою лампою, однак, вони більш енергоєфективні (споживають менше електроенергії).

### Висновки

Побудовано поздовжню та поперечну криві розподілу освітленості в просторі від світильників із світлодіодами та з натрієвою лампою. Вони дозволяють зручно і наочно показати варіант світильника, який необхідно вибрати для проектування. Показано, що для проектування доцільно вибрати світильник із світлодіодом, потужністю 45 Вт. Він майже в 1,5 рази економніший за світильник з натрієвою лампою і до того ж термін служби світлодіоду в 1,5 раза більший.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко О. В. Енергетичний аудит. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 71 с.
2. Переваги та недоліки світлодіодного освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://altaris.kh.ua/ua/publications\\_3/](http://altaris.kh.ua/ua/publications_3/) (дата звернення 05.03.2017). — Назва з екрана.
3. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2006. – К. : Мінрегіон України, 2012. – 34 с.

**Олексій Вікторович Бабенко** – канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: oleksij\_babenko@ukr.net;

**В'ячеслав Павлович Станіславов** – студент групи ЕСЕ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Oleksii V. Babenko** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksij\_babenko@ukr.net;

**Viacheslav P. Stanislavov** – Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



# ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ХЛІБОПЕКАРНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Розглянуто питання підвищення енергоефективності та енергозбереження в хлібопекарній промисловості. Показано основні причини низької ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та шляхи економії енергоресурсів.*

**Ключові слова:** енергоефективність, енергозбереження, енергозберігаючі технології, інновації, хлібопекарна промисловість.

## **Abstract**

*The problems of improve energy efficiency and energy saving in the bakery industry. The basic reasons for the low efficiency of energy resources and ways to save energy.*

**Keywords:** energy efficiency, energy saving, energy saving technology, innovations, baking industry.

## **Вступ**

Хлібопекарна промисловість – одна з найбільших галузей харчової промисловості, підприємства якої виробляють різні види хлібопекарних виробів. Це тисячі хлібозаводів, що оснащені різнотипним обладнанням. В роботі підприємства хлібопекарської галузі можуть мати недоліки, які в кінцевому результаті призводять до наднормативних втрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР).

## **Результати дослідження**

Енергоресурси, які витрачають на вироблення хліба та хлібобулочних виробів складається з таких трьох видів: паливо, тепла та електрична енергія.

При використанні хлібопекарських печей, що працюють на паливі (природний газ, рідке моторне паливо, вугілля і т. ін.) визначальними статтями енергозатрат, а отже і основними складовими можливої економії енергії, є тепла енергія і паливо. При цьому слід зазначити, що суттєвий вплив на споживання енергетичних ресурсів мають індивідуальні особливості підприємства, що в кінцевому результаті обумовлює коливання питомих витрат енергетичних ресурсів на вироблення хліба та хлібобулочних виробів в широкому діапазоні. Так, наприклад, питомі витрати палива на роботу хлібопекарських печей, залежать від марки та режиму експлуатації печі, виду палива, асортименту продукції тощо. Великий вплив на витрату палива має тривалість гарячих простоїв печей, яка обумовлена режимом роботи підприємства [1].

Споживання електроенергії є визначальним при використанні електропечей. Крім того, суттєве споживання електроенергії має місце за статтею «силові потреби» (споживання електроенергії електродвигунами). Коливання питомих витрат електроенергії на вироблення хліба та хлібобулочних виробів обумовлене, у т. ч., й інфраструктурними особливостями підприємств. Наприклад, ряд хлібозаводів (у великих містах) водопостачання забезпечують з міського водопроводу. Затрат електричної енергії за цією статтею немає. Ті ж підприємства, що мають свою власну систему водопостачання, мають і відповідні витрати електричної енергії. Аналогічна ситуація і з відкачуванням стічних вод [1].

З техніко-технологічної точки зору головними причинами низької ефективності використання ПЕР є [1]:

- наявність на підприємствах фізично і морально застарілого обладнання;
- експлуатація енергетичного і технологічного обладнання не в оптимальних режимах;
- недостатня укомплектованість теплоенергетичного і технологічного обладнання контрольно-вимірними приладами, що не дозволяє здійснювати належний оперативний контроль за його роботою;

- відсутність або незадовільна робота локальних систем автоматизації;
- відсутність належного обліку паливно-енергетичних ресурсів (як комерційного так і внутрішньозаводського), витрат холодної та гарячої води, конденсату;
- незадовільний стан теплової ізоляції енергетичного і технологічного обладнання, високі тепловтрати будівель в опалювальний період;
- недостатній рівень утилізації вторинних енергетичних ресурсів;
- Відсутність необхідної нормативно-технічної документації.

З соціально-психологічної точки зору наявність вищезазначених недоліків обумовлена, головним чином, двома факторами: відсутністю матеріальної зацікавленості працівників в економії енергетичних ресурсів та їх недостатньою професійною підготовкою [1].

Активізація процесів щодо залучення у господарський обіг вторинної сировини сприятиме утворенню вагомого сировинного резерву й економії значного обсягу первинних матеріальних ресурсів. Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) являють собою енергетичний потенціал продукції, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках) і втрачаються в самому агрегаті, але їх можуть частково або цілком використати для енергопостачання інші споживачі. Раціональне використання ВЕР є одним з найбільших резервів економії палива, що сприяють зниженню паливо- та енергоємності продукції [2].

У хлібопекарному виробництві особливої актуальності набувають інноваційні проекти з використанням ВЕР у вигляді викидних газів з пекарських печей після спалювання природного газу, або гарячої повітряної суміші з електронагрівального технологічного обладнання. Для практичного використання таких ВЕР встановлюють додаткове рекуперативне обладнання (теплообмінники та циркуляційні насоси), що дає змогу забезпечувати виробничі та побутові приміщення підприємств потрібним теплом для гарячого водопостачання та, в холодний період року, для систем опалення цих приміщень. Це дає змогу зекономити від 50% до 100% енергоресурсів підприємства на виробничо-побутові потреби та значно знижувати собівартість продукції [2].

### **Висновки**

Отже, до факторів, які впливають на ефективність енергозбереження в хлібопекарній промисловості, можна віднести підвищення технічного рівня виробництва (впровадження нової енергозберігаючої техніки, удосконалення діючої техніки, поліпшення якості енергоресурсів), удосконалення організації використання енергоресурсів (оптимізація структури споживаних енергоресурсів, оптимальний розподіл енергетичних навантажень, використання вторинних енергетичних ресурсів, удосконалення нормування, обліку й контролю за витратами енергії).

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES**

1. Баранов В. І. Технологічне забезпечення енергоефективності у хлібопекарській галузі / В. І. Баранов // Проект «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України». – Київ, 2015. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C\\_8.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_8.pdf)
2. Бевз В. В. Енергозбереження – ефективний шлях до зниження витрат виробництва / В. В. Бевз // Харчова промисловість. – 2010. – № 9. – С. 190-194.

*Дмитро Богданович Солоненко* – студент групи ЕМ-16м, 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, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Dmytro B. Solonenko* – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [bboyswecko@mail.ru](mailto:bboyswecko@mail.ru).

Supervisor: *Iuliia A. Shullie* – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ОПТИМАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВ ТА ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ.

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Розглянуто питання оптимального використання сучасних систем захисту в електричних мережах підприємств та житлових будинків.*

**Ключові слова:** автоматичні вимикачі, пристрій захисного відключення, запобіжники.

## *Abstract*

*Where was considered the problems of the optimal use of modern security systems in electrical networks of enterprises and residential buildings.*

**Keywords:** Circuit breakers, residual-current device, fuses.

## Вступ

Проблема захисту різноманітного електрообладнання від неякісної напруги живлення існує практично на кожному підприємстві, особливо там, де встановлено дороге обладнання. Основні несправності в електромережі: повне зникнення напруги, тривалі і короткочасні просадки і сплески напруги, високовольтні імпульсні завади, високочастотні гармоніки (шум), коливання частоти.

## Результат дослідження

ПЗВ виявляється корисним за пошкодження ізоляції проводів у електроприладах, необережному поведженні з електропроводкою або електроприладами. Короткі замикання можуть виникати як між фазним і нульовим проводом, так і між фазним проводом і заземленими частинами обладнання. ПЗВ контролює струм, що проходить між фазним проводом (проводами) і заземленими частинами обладнання (в обхід нульового проводу) і вимикає електроустановку, коли такий струм перевищить встановлені межі, захищаючи її таким чином від можливого загоряння. З моменту виникнення витoku струму, автоматичне відключення всіх фаз аварійної ділянки електричного кола відбувається протягом 0,03-0,3 с (в залежності від струму витoku та типу ПЗВ).

Робота ПЗВ ґрунтується на роботі диференційного трансформатора струму. Сумарний магнітний потік в осерді пропорційний різниці струмів в провідниках, що є первинними обмотками трансформатора струму. Під дією ЕРС в колі вторинної обмотки протікає струм, пропорційний різниці первинних струмів. Цей струм і приводить у дію пусковий механізм.

Захисні пристрої типу ПЗВ встановлюються в розподільній шафі квартири (можна використовувати і вже наявні шафи). Існує декілька варіантів монтажу: Одне ПЗВ на все житло (повинно бути із струмом витoku 30 мА). До плюсів такого рішення слід віднести невисоку ціну пристрою, а також те, що ПЗВ не займатиме багато місця. До недоліків даного пристрою відноситься те, що у цьому випадку важко визначити, на якій з існуючих ліній відбувся витік, а також те, що під час спрацьовування пристрою, вся квартира залишається без електроенергії.

Апарати захисту призначені для запобігання пожежонебезпечним наслідкам ненормальних режимів роботи, а саме:

- розплавленню і загорянню ізоляційних матеріалів;
- розплавленню металу провідників і розлітанню крапель, нагрітих до високої температури;
- тривалому горінню електричної дуги, температура якої може сягати +4000 °С;
- обриву ділянок електропроводки в результаті динамічного впливу струмів КЗ;
- передчасному старінню ізоляції.

## Висновок

В роботі було розглянуто питання оптимального використання сучасних систем захисту в електричних мережах підприємств та житлових будинків. Застосування надійного і ефективного захисту від аварійних режимів роботи значно скоротить кількість аварійних ситуацій і продовжить термін експлуатації електрообладнання, витрату електроенергії і експлуатаційні витрати. Витрати на встановлення ПЗВ значно менші можливих збитків — загибелі і травм людей, від ураження електричним струмом, пожеж і їх наслідків, що сталися через несправності електропроводки і електрообладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Электрические системы и сети / Н. В. Буслова, В. Н. Винославский, Г. И. Денисенко, В. С. Перхач. – К.: Вища школа, 1986. – 584с.
2. Петренко Л. И. Электрические сети и системы: учеб. пособие для вузов / Л. И. Петренко. – К.: Вища школа, 1981. – 320 с.
3. Волков В. Б. Понятный самоучитель Excel 2010 / В. Б. Волков. – СПб.: Питер, 2010. – 256 с.
4. Клименко Б. В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. — Х. : «Точка», 2012. — 340 с. — ISBN 978-617-669-015-3.

**Юрій Вікторович Ніколюк** — студент групи ЕСЕ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yuranikoliuk@gmail.com;

Науковий керівник: **Олексій Вікторович Бабенко**— канд. техн. наук, доцент електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Yurii V. Nikoliuk** — Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: yuranikoliuk@gmail.com;

Supervisor: **Oleksiy V. Babenko** — Cand. Sc. (Eng), docent of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проведено аналіз умов економічно доцільного використання таких джерел світла: лампи розжарення, люмінесцентні лампи, компакт-лампи та світлодіодні лампи. По отриманим результатам даються практичні висновки.

**Ключові слова:** джерело світла, економічна доцільність, річні приведені витрати.

### Abstract

Analyzed conditions economically viable using these light sources: incandescent lamps; fluorescent lamps; CD lighting; and LED lamps. According to obtained results given practical conclusions.

**Keywords:** light, economic feasibility, annual costs are presented.

### Вступ

Як в процесі проектування системи електроосвітлення, так і в процесі її експлуатації (наприклад, при реконструкції) доводиться приймати рішення з вибору джерела світла. Найбільше поширення в системах внутрішнього освітлення набули такі джерела світла: лампи розжарення, люмінесцентні лампи, компакт-лампи, а останнім часом почали вокористовуватись і світлодіодні лампи. Джерела світла мають різну світловіддачу, ціну, термін служби, різною буде і вартість освітлювальних приладів, що при цьому використовуються. Тому при виборі крім технічних потрібно брати до уваги також і економічні характеристики джерел світла, серед яких річні експлуатаційні витрати. За своєю структурою вони складаються з таких доданків: амортизаційні відрахування з вартості освітлювальної установки (без врахування вартості ламп) -  $Z_{a,y}$ ; амортизаційних відрахувань на джерела світла -  $Z_{a,d}$ ; вартості спожитої електроенергії протягом року -  $V_e$ .

### Результати дослідження

Дослідження річних експлуатаційних витрат проводилось при нехтуванні витрат на експлуатацію, маючи на увазі порівняно незначну їх величину, а також вартістю монтажу освітлювальної установки, вважаючи її однаковою по всіх варіантах, що порівнювалися. Річні експлуатаційні витрати розраховувались за формулою:

$$Z_{p,e} = Z_{a,y} + Z_{a,d} = k \cdot m \cdot \alpha + \frac{B}{T_H} \cdot n \cdot T + C \cdot P \cdot n \cdot k_{ГРА} \cdot T,$$

де  $k$  - вартість світильника відповідного варіанта, грн;  $m$  - кількість світильників;  $\alpha$  - норма амортизаційних відрахувань,  $\alpha = 0,15$ ;  $B$  - вартість лампи, грн;  $T_H$  - номінальний термін служби лампи, год;  $n$  - кількість ламп;  $T$  - число годин використання освітлювальної установки на протязі року, год;  $C$  - вартість 1 кВт·год електроенергії, грн;  $P$  - потужність джерела світла, кВт;  $k_{ГРА}$  - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пуско-регулювальній апаратурі.

Висновки щодо економічної доцільності використання джерел світла, що розглядались, зроблені за результатами розрахунку числового прикладу. Порівняння варіантів виконано за таких умов.

1. Світловий потік всіх джерел світла, що порівнюються, приблизно однаковий, що забезпечує однаковий рівень освітлюваності.
2. Для всіх випадків використовуються світильники, що мають однакові характеристики захисту від навколишнього середовища, наприклад, не герметичні.
3. Все обладнання вітчизняного виробництва і тому в його вартості відсутній митний збір.
4. Характеристики розподілу світлового потоку для всіх світильників однакові.

Отримані результати зображені у вигляді графіків в одній координатній площині, рис.

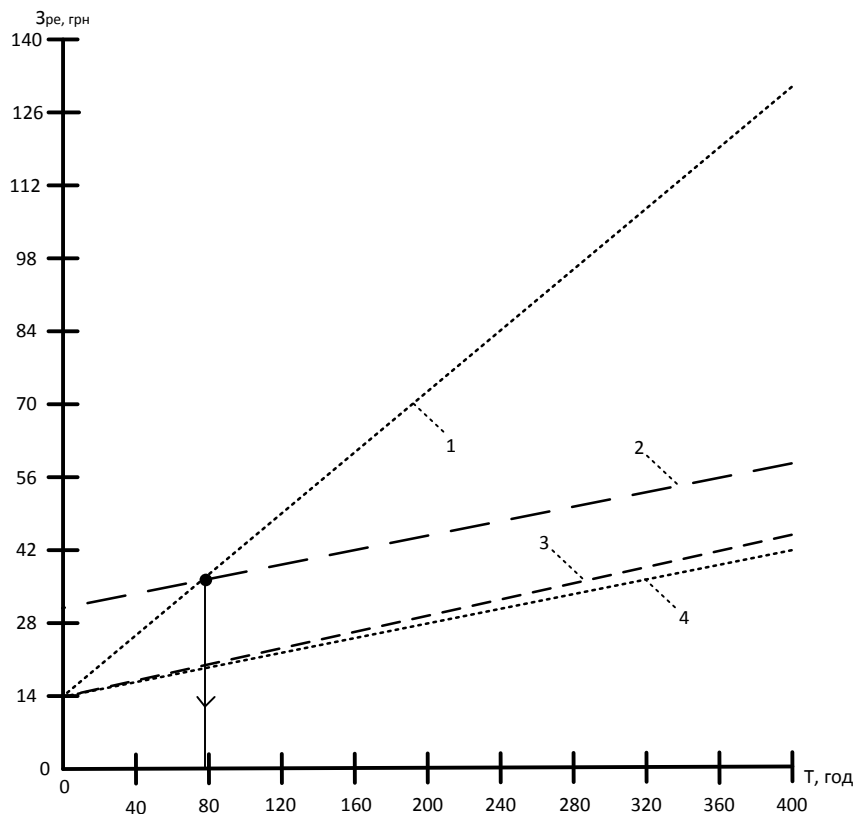


Рис. 1. Залежності річних експлуатаційних витрат для освітлювальної установки від тривалості її використання:

- 1- залежність  $Z_{pe}(T)$ , що відповідає варіанту з лампи розжарення;
- 2- те ж, для варіанту з люмінесцентними лампами;
- 3- те ж, для компакт-лампи;
- 4- те ж, для світлодіодної лампи

### Висновки

1. При будь-якій тривалості використання освітлювального навантаження найбільш економічно-ефективними є світлодіодні джерела світла.
2. При незначній кількості годин використання освітлювального навантаження ефективною є система освітлення лампами розжарення в порівнянні з люмінесцентним освітленням.
3. Використання компакт-ламп є ефективним при будь-якій тривалості використання освітлювального навантаження в порівнянні з лампами розжарення.
4. При інших співвідношеннях вартісних параметрів можуть бути отримані і більші значення  $T$ , при яких доцільне використання ламп розжарення в порівнянні з люмінесцентними лампами.

**Ступін Володимир Федорович** — студент групи 4Е-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vovastupin@gmail.com

Науковий керівник: **Терешкевич Леонід Борисович** — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

**Stupin Volodymyr F.** — Department of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : vovastupin@gmail.com.

Supervisor: **Tereshkevuch Leonid B.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant, Professor of Electrical Systems of Power and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Розглянуто енергоефективні технології та енергозбереження на підприємствах харчової промисловості. Показано, що впровадження новітніх технологій енергозбереження в харчовій промисловості зменшить загальне використання енергоресурсів та дасть змогу підприємствам досягти високої конкурентоздатності.*

**Ключові слова:** енергозбереження, енергоефективність, енергоємність виробництва, енергозберігаючі технології, харчова промисловість.

## *Abstract*

*Considered energy efficiency technologies and energy saving in the food industry. Shown that the introduction of new energy-saving technologies in the food industry to reduce overall energy usage and will enable enterprises to achieve high competitiveness.*

**Keywords:** energy saving, energy efficiency, energy intensity production, energy saving technology, food industry.

## **Вступ**

Харчова промисловість займає одне із провідних місць у структурі промислового виробництва України. На її долю припадає майже п'ята частина його загального обсягу. Потреби підприємств харчової промисловості в паливі та енергії постійно зростають. Значні капіталовкладення в галузі з урахуванням світової кризи просто неможливі. І тому підприємствам потрібно раціональніше використовувати паливно-енергетичні ресурси.

## **Результати дослідження**

Основними шляхами та конкретними пропозиціями, спрямованими на подальшу економію енергетичних ресурсів у харчовій промисловості, є [1-3]:

- впровадження нових, досконаліших способів виробництва; укрупнення виробництва і зменшення у такий спосіб питомих енергозатрат; його районування відповідно до сировини та кліматичних умов;
- створення і впровадження нових вискоефективних енергозберігаючих технологій та апаратури для виробництва харчових продуктів;
- удосконалення технологічних процесів і обладнання з метою зниження питомого споживання енергії та матеріалів;
- заміна малопродуктивного застарілого обладнання високопродуктивним із низькими питомими витратами енергії;
- визначення оптимальної (енерготехнологічної) організації виробництва – відходи попередньої стадії – сировина для наступної;
- розробка і впровадження комбінацій різнотипних генераторів енергії, що працюють на різній сировині, зокрема на біологічній, а також широке застосування систем когенерації та акумуляції енергії;
- модернізація і удосконалення (заміна) автоматики котлоагрегатів та теплофікаційних котлів; впровадження малих та середніх водогрійних котлів; заміна горілок у котлах на більш ефективні;
- удосконалення систем стисненого повітря;
- технології реконструкції та реставрації електродвигунів;
- удосконалення системи промислового опалення: радіатори-нагрівачі, інфрачервоні випромінювачі;
- використання новітніх теплоізоляційних матеріалів і технологій теплоізоляції трубопроводів та огорожувальних конструкцій будівель;
- модернізація систем освітлення, встановлення системи автоматики до них, фотосенсорів;
- встановлення лічильників витрат води, газу, повітря, тепла, електроенергії;
- використання пускорегулювального обладнання для води, пари, газу (вентилі, клапани, регулятори тиску, уловлювачі вологи тощо);

- удосконалення теплоенергетичних схем підприємств харчової промисловості з урахуванням використання відпрацьованої теплоти за допомогою теплових насосів;
- розробка і впровадження маловідходних технологій харчових продуктів з використанням високоєфективних способів очищення стічних вод за допомогою мікроорганізмів в анаеробних і аеробних умовах;
- впровадження в харчову промисловість сушильних технологій;
- застосування в харчовій промисловості технологій, що ґрунтуються на використанні дискретно-імпульсного підведення енергії в гетерогенних середовищах;
- впровадження технології утилізації теплоти відпрацьованих димових газів парових котлів, топок сушарок та інших об'єктів;
- застосування сучасних технологій спалювання палива в циркулюючому киплячому шарі;
- використання теплоти продуктів згорання в парових котлах і топках підприємств харчової промисловості для нагрівання в регенераторах повітря, що подається на пальники;
- застосування в харчовій і переробній промисловості енергозберігаючої технології, що ґрунтується на електроплазмолізі сировини;
- одержання енергії з біомаси та впровадження біогазових установок;
- впровадження на спиртових заводах, що переробляють на спирт мелясу, енергозберігаючих технологій біохімічного очищення барди і одержання біогазу;
- впровадження на підприємствах агропромислового комплексу схеми установки для використання відпрацьованих газів котелень у системі опалення теплиць;
- використання геотермальної і сонячної енергії для підігрівання води і повітря як ресурсів низькопотенційної теплоти з подальшим підключенням абсорбційних і компресорних насосів для теплохолодопостачання підприємств спиртової промисловості;
- застосування теплогенеруючих роторно-дисккових установок для прямого перетворення енергії вітру на теплову;
- впровадження енергозберігаючих установок та оптимальних технологічних режимів сушіння сировини рослинного походження і вироблених з неї харчових продуктів;
- впровадження енергозберігаючої технології і техніки сушіння зерна, які дозволяють досягати високих техніко-економічних показників зерносушарок за рахунок утилізації теплоти відпрацьованого сушильного агента, удосконалення способів і режимів сушіння зерна, технологічних схем сушильних установок, їх конструктивних агрегатів та конструктивних елементів;
- використання пристроїв для утилізації теплоти відпрацьованих гарячих газів різних типів печей.

### Висновки

Потенціал харчової промисловості в галузі енергозбереження досить високий. Для реалізації потенціалу енергозбереження на підприємствах галузі потрібна структурно-технологічна перебудова підприємств, технологічних процесів за рахунок впровадження інноваційних та інвестиційних проектів з новітніх енергоефективних технологій, обладнання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Довідник спеціаліста харчових виробництв. Книга 2. Енергозбереження / А. І. Соколенко, А. І. Українець та інш. За ред. А. І. Соколенко – К.: АртЕк, 2003. – 432 с.
2. Стабников В. Н. Использование вторичного тепла в пищевой промышленности / В. Н. Стабников, Н. Г. Бойченко. – М. : Изд-во «Наука», 1972. – 542 с.
3. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрям державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 2001. – 506 с.

*Сергій Русланович Гавришук* – студент групи 4Е-126, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: garbuZz0o@mail.ru.

Науковий керівник: *Юлія Андріївна Шулле* – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Sergiy R. Gavrischuk* – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e-mail: garbuZz0o@mail.ru.

Supervisor: *Iuliia A. Shullie* – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У роботі висвітлено актуальність проблеми енергетичної ефективності підприємств та значущість оцінки економічної ефективності використання енергоресурсів. Представлено перелік основних показників енергоефективності.*

**Ключові слова:** енергозбереження, енергетична ефективність, промислове підприємство.

### *Abstract*

*In this work was explained the problem of energy efficiency of enterprise and the significance of assessing the economic efficiency of using energy resources. Presented the list of main indicators of energy efficiency.*

**Keywords:** energy saving, energy efficiency, industrial enterprise.

### Вступ

Головним завданням будь-якого підприємства, особливо в сучасних надскладних економічних умовах, виступає максимізація прибутку за мінімізації використання ресурсів. Вітчизняні підприємства потребують в першу чергу суттєвого зменшення використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), зменшення екологічного навантаження на довкілля. Дослідження економічних процесів, що відбуваються в промисловому підприємстві, має визначальне значення для його розвитку. Отже, питання енергетичної безпеки та стану енергоспоживання є досить актуальними як на рівні держави, так і на рівні промислових підприємств [1].

### Результати дослідження

Під економічною ефективністю використання енергії та паливно-енергетичних витрат розуміється здатність системи енергопостачання (СЕР) у процесі функціонування створювати економічний ефект (потенційна ефективність) і реальне створення такого ефекту (фактична ефективність). Кількісна характеристика СЕР з погляду зіставлення витрат і результатів функціонування, дозволяє оцінити ефективність однієї системи в різних умовах, порівнювати ефективність різних систем між собою, визначити економічний ефект за визначений період [2, 3]. Здійснення оцінки економічної ефективності використання енергоресурсів потребує розрахунку коефіцієнту енергоефективності, який обчислюється за формулою:

$$K_{ен} = R/C,$$

де  $R$  – результат або ефект від здійснення енергозберігаючих заходів, грн.;  $C$  – витрати капіталу або обсяг інвестиції для реалізації енергоефективного проекту, грн.

Розраховуючи цей показник підприємство ставить перед собою три оптимізаційні завдання [2, 4]:

1. Досягнення оптимального співвідношення між витратами і результатами виробництва (або оцінка співвідношення між витратами  $C$  і результатами  $R$ ) при заздалегідь нефіксованих витратах і результатах.

2. Мінімізація витрат при заданих результатах (або оцінка витрат при заданих результатах), тобто min.

3. Максимізація результатів при заданих витратах (або оцінка результатів при заданих витратах), тобто max.

Показники енергоефективності можуть бути прямі, тобто такі, які безпосередньо визначають ефективність використання ПЕР, і непрямі, в яких ефективність використання ПЕР прямо не відображається, але значною мірою залежить від рівня та структури використання ПЕР.

До прямих показників відносяться [2]:

1. Енергоємність випуску продукції, кг у.п.:  $e_{в.пр.} = P/V_г$ , де  $P$  – обсяг споживання ПЕР на енергетичні цілі, кг у. п.;  $V_г$  – обсяг випуску продукції на підприємстві, грн.

2. Енергоємність валової доданої вартості (ВДВ), кг у.п./грн.:  $e_{\text{вдв}} = P/V_{\text{вдв}}$ , де  $V_{\text{вдв}}$  – обсяг ВДВ на підприємстві.

3. Паливоємність  $B_{\text{в(ВДВ,ВВП)}}$ , електроенергоємність  $W_{\text{в(ВДВ,ВВП)}}$ , теплоенергоємність  $Q_{\text{в(ВДВ,ВВП)}}$  випуску продукції:  $B_{\text{в(ВДВ,ВВП)}} = \sum B_i/V_{\text{в(ВДВ,ВВП)}}$ ,  $W_{\text{в(ВДВ,ВВП)}} = \sum W_i/V_{\text{в(ВДВ,ВВП)}}$ ,  $Q_{\text{в(ВДВ,ВВП)}} = \sum Q_i/V_{\text{в(ВДВ,ВВП)}}$ , де  $B$  – обсяг споживання органічного палива, кг у.п./грн.,  $W$  – обсяг споживання електроенергії кВт год;  $Q$  – обсяг споживання теплової енергії, Гкал.

4. Коефіцієнт корисного використання енергії:  $K_{\text{кв}} = E_{\text{к}}/E_{\text{з}}$ , де  $E_{\text{з}}$  – загальна кількість електроенергії;  $E_{\text{к}}$  – кількість використаної електроенергії.

5. Питомі витрати палива, кг у.п./од. продукції, робіт, послуг (ПРП); питомі витрати електроенергії, кВт год/од.ПРП; питомі витрати теплової енергії, Гкал/од.ПРП:  $d = \sum B_i/\Pi$ ,  $w = W_i/\Pi$ ,  $q = Q_i/\Pi$ , де  $\Pi$  – обсяг ПРП за певний проміжок часу, натуральних одиниць.

До непрямих показників відносяться [2]:

1. Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн/т у. п.
2. Енергоємність основних виробничих фондів, т у. п./грн.
3. Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн.
4. Частка витрат на ПЕР в обсязі проміжного споживання (випуску), %.
5. Частка витрат ПЕР у собівартості продукції, робіт, послуг, %.
6. Коефіцієнт енергоозброєності праці.

Основне призначення системи показників енергоефективності – оптимальне використання ПЕР під час виробництва товарів та послуг, тобто використання їх в економіці підприємства.

## Висновки

Система розглянутих показників дає можливість підрахувати результати реалізації енергоефективного проекту на промисловому підприємстві [5]: динаміку енергоємності виробництва одиниці продукції (виконаних робіт, наданих послуг); динаміку втрат паливно-енергетичних ресурсів при виробленні одиниці продукції (виконаних робіт, наданих послуг); забезпечення економії коштів (за умови дотримання відповідних вимог щодо охорони праці, санітарних норм та правил тощо) на утримання підприємства, за рахунок запровадження відповідних енергозберігаючих заходів та проектів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Єпіфанова І. Ю. Оцінювання ефективності споживання енергетичних ресурсів промислових підприємств / І. Ю. Єпіфанова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://epifanova.vk.vntu.edu.ua/file/monograph/f623f63a5e11d8f14a6b954a82871827.pdf>.
2. Маслікевич М. Р. Сутність оцінки енергоефективності підприємства / Маслікевич М. Р., Сердюк Б. М. // Актуальні проблеми економіки та управління: збірник наукових праць молодих вчених. – 2011. – Вип. 5. – С. 110–114.
3. Лір В. Е. Економічний механізм реалізації політики енергоефективності в Україні / В. Е. Лір, У. Є. Письменна; НАН України; Ін-т екон. та прогнозув. – К.: Ін-т екон. та прогнозув, 2010. – 208 с.
4. Холмський Д. В. Методи обоснования параметров систем электроснабжения / Д. В. Холмський – К.: Наукова думка, 1993. – 157 с.
5. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України // Відп. ред. А.К. Шидловський / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.

*Андрій Олександрович Воробей* – студент групи 3Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: valanir.vin@gmail.com.

Науковий керівник: *Юлія Андріївна Шулле* – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Andriy. O. Vorobey* – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: valanir.vin@gmail.com.

Supervisor: *Iuliia A. Shullie* – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБУ «ПОШУК РІШЕННЯ» ЕЛЕКТРОННОГО ПРОЦЕСОРА EXCEL

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Розглянуто питання автоматизації прийняття оптимальних проектних рішень за допомогою засобу «Пошук рішення» електронного процесора Excel.*

**Ключові слова:** автоматизація прийняття рішення, оптимальне проектне рішення, таблиці Excel, пошук рішення.

## *Abstract*

*Where was considered the problems of of optimal design automation solutions by using the «Solver» electronic processor Excel.*

**Keywords:** automation deciding, optimum design solution, Excel table, Solver.

## Вступ

Створення комп'ютерних моделей прийняття оптимальних проектних рішень проекту системи електропостачання із нескінченної множини доступних рішень в середовищі електронного процесора Excel дає змогу вирішити безліч задач. Автоматизувати розв'язок задач оптимального проектування з нескінченною множиною доступних рішень можна за допомогою засобу «Пошук рішення» електронного процесора Excel.

## Результат дослідження

Для вирішення складних завдань, що вимагають застосування лінійного та нелінійного програмування, а також методів дослідження операцій застосовується надбудова «Пошук рішення». Щоб використовувати надбудову «Пошук рішення» не обов'язково знати методи програмування і дослідження операцій, але необхідно визначати, які завдання можна вирішувати цими методами. Користувач повинен вміти за допомогою діалогових вікон надбудови «Пошук рішення» вірно сформулювати умови завдання, і якщо рішення існує, то «Пошук рішення» відшукає його.

Засіб «Пошук рішення» призначений для пошуку таких значень аргументів функції, за яких ця функція приймає мінімальне, максимальне або наперед задане значення. При цьому на значення аргументів функції можуть бути накладені обмеження у вигляді нерівностей або рівностей. Якщо в якості функції використати показник ефективності рішення (ПЕР), а в якості її аргументів керовані змінні, то за допомогою засобу «Пошук рішення» можна розв'язувати задачі оптимального прийняття рішень [1-3].

Алгоритм застосування засобу «Пошук рішення» може бути таким [2, 3]:

1. Скласти табличну форму для розрахунку ПЕР за відомими значеннями вихідних даних та керованих змінних. В цій табличній формі потрібно передбачити: комірки для вихідних даних; комірки для керованих змінних; комірку для ПЕР.

2. Задати довільне початкове значення керованих змінних, так щоб вони задовольняли всім обмеженням.

3. Задати формули робочого листа Excel, які розраховують значення ПЕР у відведеній комірці.

4. Викликати засіб «Пошук рішення» і у однойменному вікні задати:

- в полі «Встановити цільову комірку» задати комірку, в якій розраховується значення ПЕР;

- за допомогою групи перемикачів задати критерій оптимальності;

- в полі «Змінюючи комірки» задати комірки, в яких утримуються керовані змінні;

- в списку «Обмеження» задати обмеження на керовані змінні використовуючи кнопки «Додати»,

«Змінити», «Видалити».

5. Натиснути кнопку «Параметри» і у вікні «Параметри пошуку рішень» вибрати методи та параметри розв'язку задачі. Закрити вікно натиснувши кнопку «Ок» чи «Відміна».

6. У вікні «Пошук рішення» натиснути кнопку «Знайти рішення». В комірках для керованих змінних буде записано їх оптимальне значення.

В якості прикладу було розраховано потужності конденсаторних установок, які доцільно встановити на промисловому підприємстві (рис. 1).

	A	B	C	D	E	F	G	
1	<b>Компенсація реактивної потужності</b>							
2								
3	Вихідні дані:							
4	Вхідна реактивна потужність Q <sub>вх</sub> =				225			
5								
6	Питомі акт. опори ліній	Довжини ліній	Реактивні навантаж.	Опори ТР	Потужності КУ Q <sub>к</sub>	Повні акт. опори	ПЕР h(Q <sub>к</sub> )	
7	0,62	8	198	2,142	94,74931706	4,96	75712,32	
8	0,62	8	198	2,142	94,7493134	4,96	75712,32	
9	0,62	77	80	6,72	66,53532733	47,74	9873,457	
10	0,62	229	97	3,688	91,96604221	141,98	3691,334	
11	Сума Q <sub>л</sub> =		573	Сума Q <sub>к</sub> =		348,00	Сума ПЕР=	164989,4
12								
13	Перевірка: Сума Q <sub>л</sub> - Сума Q <sub>к</sub> =				225,00			

Рис. 1. Результат розрахунків потужності конденсаторних установок

### Висновок

В роботі було розглянуто питання автоматизації прийняття оптимальних проектних рішень за допомогою засобу «Пошук рішення» електронного процесора Excel. Автоматизація прийняття оптимальних проектних рішень за допомогою засобу «Пошук рішення» дозволяє значно полегшити працю та знизити трудомісткість окремих операції, зменшити кількість помилок, швидко отримувати необхідну інформацію та приймати рішення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Агафонов М. В. Автоматизація вибору даних із електронних таблиць за допомогою стандартних функцій робочого листа / М. В. Агафонов // Матеріали XLV науково-технічної конференції факультету електроенергетики та електромеханіки, м. Вінниця, 02-11 березня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/711>.

2. Шитов В. Н. Excel. Единый справочник / В. Н. Шитов. – М.: ГроссМедия, 2005. – 512 с.

3. Волков В. Б. Понятный самоучитель Excel 2010 / В. Б. Волков. – СПб.: Питер, 2010. – 256 с.

*Михайло Володимирович Агафонов* – студент групи ЕСЕ-16сп, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mishaagafonov@i.ua](mailto:mishaagafonov@i.ua);

Науковий керівник: *Юлія Андріївна Шулле* – кандидат технічних наук, доцент 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, e-mail: [mishaagafonov@i.ua](mailto:mishaagafonov@i.ua);

Supervisor: *Iuliia A. Shullie* – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА КАР'ЄРАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Проведено аналіз досягнень у розвитку енергоефективних технологій та енергозбереження на кар'єрах. Показано теоретичні та практичні можливості зниження енерговитрат у двох найбільш енергоємних процесах: внутрішньокар'єрному руйнуванні гірських порід і вивезенні гірничої маси з кар'єру.*

**Ключові слова:** енергоефективні технології, енергозбереження, енерговитрати, буріння свердловин, буровибухові роботи, кар'єрний транспорт.

### *Abstract*

*The analysis of achievements in the development of energy efficient technologies and energy saving in quarries. It was shown the theoretical and practical possibilities of reducing energy consumption in the two most energy consuming processes: inside quarries the destruction of rocks and removal of rock mass from the quarry.*

**Keywords:** energy efficient technologies, energy saving, energy consumption, drilling, blasting, mining transport.

### Вступ

Кар'єри в своєму виробництві використовують електроенергію. Частка електроенергії в собівартості продукції кар'єрів досягає 41%. Через це, управління енергоресурсами стає актуальною проблемою, оскільки від нього в значній мірі залежить собівартість кінцевої продукції і її конкурентоспроможність на ринку. Якщо врахувати, що в міру зростання глибини кар'єрів частка витрат на кар'єрний транспорт доходить до 55-60% в загальній собівартості видобутку корисних копалин, то цілком очевидним представляється теза про те, що питання розвитку та вдосконалення кар'єрного транспорту є одними з основних для відкритих гірських розробок.

### Результати дослідження

Значущість енергозбереження обумовлюється загальним ростом потреби енергії, відносною обмеженістю і подорожчанням первинних енергоресурсів, жорсткістю економічних вимог до промисловості в цілому.

Можна виділити наступні напрямки економії електричної енергії на виробництві:

- економія електроенергії зменшенням її втрат;
- енергозбереження засобами електроприводу;
- економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності;
- економія електроенергії при експлуатації електрообладнання [1].

Режим енергозбереження на кар'єрах є особливо актуальним для механізмів, які частину часу працюють з зниженим навантаженням – конвеєри, насоси, вентилятори і т. п. Існує чимало пристроїв, які дозволяють досягти зменшення втрат при роботі електрообладнання, основними з яких є конденсаторні установки і частотно-регульовані електроприводи. Частотно-регульовані електроприводи з вбудованими функціями оптимізації енергоспоживання гнучко змінюють частоти обертання залежно від реального навантаження, що дозволяє заощадити до 30-50% споживаної електроенергії [2].

Інноваційний потенціал енергозбереження промислових підприємств доцільно розглядати як гіпотетичний і фактичний [3].

До економічних критеріїв вибору інноваційних проектів енергозбереження на промисловому підприємстві можна віднести: прибуток, простий термін окупності, дисконтований термін окупності, приведені витрати [4].

Основні вимоги до побудови систем мотивації трудової діяльності з позицій енергозбереження на сучасних гірничих підприємствах наведено на рис. 1 [5].

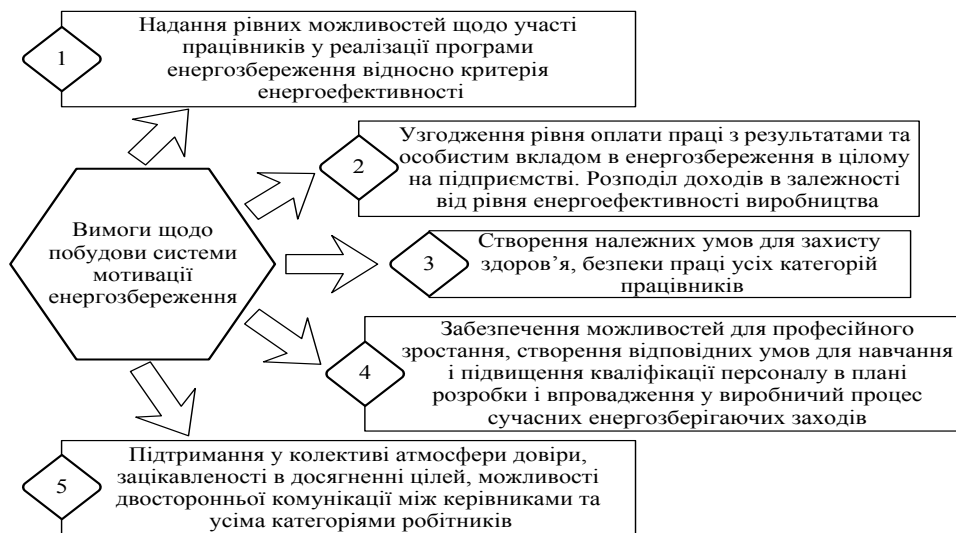


Рис. 1. Основні сучасні вимоги до побудови системи мотивації трудової діяльності з позицій енергозбереження на гірничих підприємствах

### Висновки

Використання енергоефективних технологій, особливо цілеспрямована робота щодо енергозбереження – значно знижує видаткову частину бюджету на кар'єрах та підприємствах в цілому щодо оплати спожитих ресурсів. Крім того, під час оптимізації енергоспоживання замінюється застаріле обладнання більш новим і економним. Ефективність роботи сучасного обладнання дуже висока – це підвищує загальну продуктивність підприємства, знижує собівартість продукції та покращує її якість.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Маліванчук І. М. Аналіз ефективності енерговикористання на філії «Вінницький спецкар'єр» державного підприємства «Західдорвухпром»: бакалаврська робота / І. М. Маліванчук. – Вінниця: ВНТУ, 2016 – 94 с.
2. Аністратов Ю. І. Розрахунково-теоретичні передумови енергозбереження на рудних кар'єрах / Ю. І. Аністратов, С. А. Гончаров // Гірський журнал. – 2009. – № 11. – С. 21-23.
3. Маліванчук І. М. Інновації в енергетиці та їх економічне обґрунтування / І. М. Маліванчук // Матеріали XLIV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, м. Вінниця, 11-13 березня 2015 р. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineem/txt/malivanchuk-shulle.pdf>.
4. Маліванчук І. М. Економічне обґрунтування інновацій енергозбереження на промисловому підприємстві / І. М. Маліванчук // Матеріали XLV науково-технічної конференції факультету електроенергетики та електромеханіки, м. Вінниця, 02-11 березня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/707/385>.
5. Турило А. М. Організація матеріального стимулювання персоналу на промислових підприємствах: монографія / А. М. Турило, М. В. Адаменко. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2006. – 136 с.

**Іван Миколайович Маліванчук** – студент групи ЕМ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: malivanchuk18@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Ivan M. Malivanchuk** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: malivanchuk18@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розкрито сутність та зміст основних теоретико-методичних засад розвитку енергозбереження на підприємствах. Обґрунтовано основні положення щодо підвищення ефективності енергозбереження на підприємствах.*

**Ключові слова:** енергозбереження, енергоємність, енергоефективність, потенціал енергозбереження, підприємства.

### *Abstract*

*The essence and content of the main theoretical and methodological principles of energy saving in the enterprises. The basic provisions for improving energy saving in the enterprises.*

**Keywords:** energy saving, energy intensity, energy efficiency, energy saving potential, enterprises.

### Вступ

Актуальність проблеми енергоспоживання та енергозбереження обумовлюється значною залежністю України від імпорту енергоносіїв, а також високою енергоємністю економіки. Функціонування підприємств в сучасних умовах вимагає застосування нових підходів до управління енергозбереженням, які повинні враховувати реалії сьогодення. Енергозбереження сприяє прискоренню темпів зростання виробництва, зниження цін на продукцію, досягненню високих кінцевих результатів [1, 2].

### Результати дослідження

Функціонування підприємств в сучасних умовах вимагає застосування нових принципів управління енергозбереженням, зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на одиницю кінцевого корисного ефекту при їх використанні з одночасним скороченням негативного впливу на навколишнє середовище.

Енергозбереження – це реалізація виробничих, наукових, технічних, організаційних, економічних і правових заходів, що спрямовані на досягнення економічно обґрунтованого значення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів і на застосування нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії. Поняття «енергоефективність» є дещо ширшим та містить не лише напрями безпосереднього енергозбереження, а й заходи, що призводять до зниження споживання ПЕР. Енергоефективність та енергозбереження є взаємопов'язаними, оскільки в більшості випадків енергозбереження є головним чинником підвищення рівня ефективності використання ПЕР [1-4].

Процес енергозбереження має складну структуру, до якої належить сукупність заходів, що забезпечують максимально ефективне використання ПЕР: державне регулювання, організаційно-економічні заходи, техніко-технологічні заходи та використання нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії.

Ефективність використання ПЕР визначається багатьма факторами, що зумовлює існування та застосування відносно великої кількості показників, які враховують енерговитрати на всіх етапах виробництва продукції. Важливими показниками, які характеризують продукцію і виробничі процеси за рівнем використання ПЕР, є енергоємність продукції і енергоємність виробництва. Зменшення енергоємності продукції можливо:

- за рахунок зменшення витрат паливних ресурсів на одиницю продукції – це шлях енергозбереження;
- за рахунок росту споживчої вартості продукції, що виробляється, як завдяки її вдосконаленню, так і переходу на випуск більш технологічної, наукоємної продукції – це шлях до зменшення енергоємності за рахунок інновацій [1-4].

Існує теоретично обґрунтований рівень споживання енергії – це межа, до якої можуть бути знижені енерговитрати на підприємстві при ідеальній організації виробництва. Виконуючи наукові, організаційно-технічні заходи, можливо поступово досягти теоретичного значення

рівня енергоспоживання.

Система управління енергозбереженням підприємства покликана забезпечити економне споживання енергетичних ресурсів під час виробничих процесів за допомогою комплексу організаційних, технічних та програмно-методичних засобів. Реалізація системи управління енергозбереженням підприємства відбувається за допомогою діяльності відповідного структурного підрозділу чи групи осіб відповідальних за енергозбереження. Основою для організації ефективної системи управління енергозбереженням промислових підприємств є визначення їх потенціалу у цій сфері. Проведення такої оцінки передбачає збір та аналіз інформації щодо енергоємності виробничих процесів, обсягів витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю готової продукції та реалізованих раніше проєктів з енергозбереження. Вирішення проблеми використання потенціалу енергозбереження полягає в створенні новітніх ресурсо- та енергоощадних технологій виробництва та їх активному впровадженні в промисловість.

Для визначення економічної ефективності й обґрунтування рішень по впровадженню енергозберігаючих інновацій використовують наявний потенціал енергозбереження, як сукупність всіх потенційних резервів енергозбереження і здатність існуючої системи управління підприємства раціонально використовувати ПЕР. Критерієм ефективного використання ПЕР та прийнятих проєктних рішень є прибуток за умови неодмінного дотримання технічних, технологічних, організаційних, соціальних і екологічних обмежень. Загальна величина потенціалу енергозбереження підприємства виявляється у здатності до одержання синергетичного ефекту від раціонального використання наявних можливостей щодо енергозбереження[1-4].

### Висновки

Управління енергозбереженням являє собою цілеспрямований процес. Його складовими є контроль за використанням паливно-енергетичних ресурсів, знаходження резервів, їх економічне обґрунтування та створення умов для їх реалізації. Управління енергозбереженням – це одна із форм проведення політики підприємства у сфері енергозбереження, яка включає в себе технічне, технологічне, організаційне інспектування виробництва з поглядом енергоспоживання з метою визначення можливої економії енергії та впровадження механізму енергетичної ефективності. Критерієм ефективності впровадження заходів із енергозбереження є приріст прибутку, що залишається в розпорядженні підприємства [1-5].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бевз В. В. Енергоефективність підприємств харчової промисловості – сучасний стан і стратегія розвитку / В. В. Бевз // Наук. праці Нац. ун-ту харч. технологій. – К. : НУХТ, – 2010. – № 35 – С. 15-18.
2. Бевз В. В. Енергозбереження – ефективний шлях до зниження витрат виробництва / В. В. Бевз // Харчова промисловість. – К. : НУХТ, – 2010. – № 9 – С. 186-190.
3. Бевз В. В. Енергозбереження – потенціал розвитку економіки України / В. В. Бевз // Харчова промисловість. – К. : НУХТ, – 2010. – № 9 – С. 190-194.
4. Бевз В. В. Енергозбереження – складова ефективності діяльності підприємства / В. В. Бевз // Наук. часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова, Серія 18 Економіка і право К. : Вид-во НПУ ім. М.П. Драгоманова, – 2012. – № 19 – С. 90-97.
5. Долінський А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 24–32.

**Максим Вікторович Панасюк** – студент групи ЗЕ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: panass666@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент 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, e-mail: panass666@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Україна, яка споживає у загальному балансі більше 60–70% імпортованих енергоресурсів, є однією з енергозалежних країн Європи. І цьому сприяє не тільки їх відсутність, а й неефективне інформаційне забезпечення енергозбереження, що загрожує національним інтересам та національній безпеці країни. Тому вирішення питань інформаційного забезпечення енергозбереження є одним з першочергових в умовах енергетичної кризи в країні.*

**Ключові слова:** енергозбереження, інформаційне забезпечення, раціональне використання енергії.

### **Abstract**

*Ukraine, which consumes in the overall balance more than 60-70% of imported energy is one of the volatile countries of Europe. And this contributes not only their absence but also inefficient information support of energy saving, which threatens the national interests and national security of the country. Therefore, the decision of questions of information support of energy saving is a priority in terms of the energy crisis in the country.*

**Keywords:** energy saving, information support, rational use of energy.

### **Вступ**

Інформаційне забезпечення заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності має здійснюватися регулярно за допомогою: створення державної інформаційної системи у сфері енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності; опублікування органами державної влади, органами місцевого самоврядування в засобах масової інформації регіональних, муніципальних програм в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності; організації органами державної влади, органами місцевого самоврядування поширення в засобах масової інформації тематичних теле- і радіопередач, інформаційно-просвітницьких програм про заходи і способи енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, про видатні досягнення в області енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності та іншої актуальної інформації в даній області; інформування споживачів про енергетичну ефективність побутових пристроїв, а також будівель, споруд та інших об'єктів, пов'язаних з процесами використання енергетичних ресурсів; поширення інформації про потенціал енергозбереження щодо систем комунальної інфраструктури та заходи щодо підвищення їх енергетичної ефективності; організації виставок об'єктів і технологій, що мають високу енергетичну ефективність; виконання інших дій відповідно до законодавства про енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності [1, 2].

### **Результати дослідження**

З метою дотримання інтересів держави і досягнення суспільно корисних цілей в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, а також здійснення інформаційного забезпечення заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності органи державної влади, органи місцевого самоврядування зобов'язані забезпечити регулярне поширення:

- інформації про встановлені права та обов'язки фізичних осіб, вимоги, що висуваються до власників житлових будинків, власників приміщень в багатоквартирних будинках, осіб, відповідальних за утримання багатоквартирних будинків;

- соціальної реклами в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності в порядку, встановленому законодавством;

- організації, які здійснюють постачання енергетичних ресурсів, регулярно зобов'язані інформувати своїх споживачів про способи економії енергетичних ресурсів і підвищення енергетичної ефективності їх використання, в тому числі розмішувати інформацію в мережі Інтернет, на паперових носіях та іншими доступними способами;

- освітні програми можуть включати в себе навчальні курси з основ енергозбереження та

підвищення енергетичної ефективності;

- дані про сукупні витрати на оплату використаних протягом календарного року енергетичних ресурсів підлягають включенню в пояснювальну записку до річної бухгалтерської звітності.

Інформаційне забезпечення заходів з енергозбереження не можливе без технічного забезпечення – комплексу технічних засобів, необхідних для збирання, реєстрації, передачі, зберігання, обробки та використання інформації. Використання ГІС, АСКОЕ, SCADA та баз даних з енергозбереження дозволить в повній мірі вирішувати завдання енергоаудиту та енергоменеджменту (рис.1). Для продуктивної і ефективної роботи всі ці підсистеми повинні бути тісно пов'язані між собою [3].



Рис. 1. Програмно-технічне забезпечення енергозберігаючих заходів [3]

Інформаційна база з електрозбереження дозволяє: раціонально зберігати інформацію по електрозбереженню будь-якого споживача; оперативно формувати заходи по економії електроенергії; нарощувати інформацію по електрозбереженню, не змінюючи структури бази; виконувати обробку та аналіз інформації з енергетичних обстежень, що міститься в базах даних; виявляти випадки нерационального використання електроенергії, а також створити інформаційну базу для вирішення задач прогнозування обсягів споживання електроенергії і коштів на її оплату на наступний період [4].

### Висновки

Одним із пріоритетних завдань держави є підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів і створення необхідних умов для переходу економіки України на енергозберігаючий напрямок розвитку. Раціональне використання енергетичних ресурсів неможливо без інформаційного забезпечення заходів з енергозбереження.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Діак І. В. Енергозбереження: стан, проблеми і перспективи / І. В. Діак // Экотехнологии и ресурсосбережение. Сборник трудов Восьмой научно-технической международной конференции "Энергетическая безопасность Европы XXI столетия. Евразийские энергетические коридоры", 2005. – С. 44-47.
2. Діак І. В. Енергозбереження: реалії сьогодення / І. В. Діак // Дзеркало тижня. – № 21 (700). – 2008. – с. 9.
3. Шулле Ю. А. Програмно-технічне забезпечення енергозберігаючих заходів [Електронний ресурс] / Юлія Шулле // Матеріали XIII міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016)", м. Вінниця, 3-6 жовтня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/13142>.
4. 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.

**Микола Юрійович Свіргун** – студент групи 3Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e13b.svirgun@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Nikolay Y. Swerhun** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e13b.svirgun@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЯК ЧИННИКИ СТАЛОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Актуальність досліджуваної теми базується на тому, що в Україні мало розвинутий енергоменеджмент, як чинник сталого розвитку промислового підприємства. В роботі розглянуто шляхи впровадження контролю за споживанням енергоресурсів та засоби для впровадження системи енергетичного менеджменту.*

**Ключові слова:** енергетичний менеджмент, енергетичний розвиток, промислове підприємство, система енергетичного менеджменту.

## *Abstract*

*The relevance of the subject based on the fact that Ukraine had developed energy management as a factor of sustainable development of industrial enterprises. We consider ways of implementing control over energy consumption and tools for implementing energy management system.*

**Keywords:** energy management, energy development, industrial enterprise, energy management system.

## **Вступ**

Енергозбереження є важливим питанням для промислових підприємств. Пов'язано це з тим, що підприємство, яке утворило і налагодило систему енергетичного менеджменту (СЕМ), поліпшує свою енергоефективність, може впроваджувати новітні засоби з енергозбереження, покращує виробничий цикл. Інтенсивність і прибутковість виробництва напряму залежить від енергетичних складових.

## **Результати дослідження**

Під енергоменеджментом розуміють системний підхід щодо досягнення цілей покращення енергетичної діяльності на основі енергетичної політики, процесів і процедур; це постійно діюча система організації, управління та керівництва енергоспоживанням підприємства.

Підвищення енергоефективності на підприємстві підвищує прибутки підприємства і водночас приносить такі результати:

- заощадження коштів, що забезпечує зростання конкурентоспроможності підприємства, особливо при зростанні цін на енергоносії;
- збільшення продуктивності через удосконалення виробничих процесів, що пов'язані із способом використання енергії;
- встановлення квот на викиди, що дозволяє знизити залежність від цін на енергоносії, зменшити ризики компанії, що, в свою чергу, підвищує вартість підприємства;
- скорочення викидів у навколишнє середовище, від чого покращується екологічний стан, а з ним і імідж підприємства [1-3].

План дій сталого енергетичного розвитку (ПДСЕР) – це комплекс стратегічних проєктів щодо вдосконалення всіх сфер і галузей міста з урахуванням можливих джерел та механізмів їх фінансування, а також їх впливу на зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Таким чином, ПДСЕР є головним стратегічним документом, що передбачає якісні стратегічні зміни міста, його ефективне енергоспоживання та зменшення викидів парникових газів всіма залученими господарюючими суб'єктами міста, впливаючи цим на глобальне потепління в світі.

Ціль розробки ПДСЕР – продовження системного підходу до управління енергетичними ресурсами міста націленого на сталий енергетичний розвиток за рахунок створення ефективних енергетичних проєктів з метою підвищення енергоефективності, залучення інвесторів та механізмів державно-приватного партнерства по реалізації проєктів ПДСЕР.

Основою ПДСЕР є заходи, спрямовані на зменшення викидів CO<sub>2</sub> та енергоспоживання кінцевими споживачами. Споживання електричної енергії має тенденцію до збільшення, що пов'язано зі зростанням оснащення електроприладами серед підприємств.

За відсутності сучасного управління системою енергетичного менеджменту на підприємстві та дієвого контролю за споживанням енергетичних ресурсів необхідно:

- запровадити облік та аналіз споживання енергоресурсів;
- провести енергоаудити (обстеження) та розробити енергоефективні заходи;
- впровадити планування нових норм споживання енергоресурсів;
- улаштування енергоефективної світлодіодної системи внутрішнього освітлення цехів;
- впровадження альтернативних джерел енергії для підігріву води на потреби цехів;
- модернізація теплових ввідів та системи опалення з використанням енергозберігаючих технологій;
- улаштування енергоефективних систем внутрішнього та зовнішнього освітлення будівель [1-3].

Перша і основна складова СЕМ – це персонал служби енергоменеджменту. Друга складова – система обліку енергоресурсів та факторів, які впливають на енерго- та ресурсоспоживання. Недосконалість наявних систем обліку не може бути виправданням у не запровадженій системі енергоменеджменту. Для підвищення оперативності аналізу енергоспоживання та відповідних дій службам енергетичного менеджменту потрібні автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКОЕ) [4]. Третя складова – алгоритм прийняття управлінських рішень та дій, для чого створюється пакет документів, що регламентує діяльність енергоменеджменту, та вносяться доповнення в інші чинні установчі документи. Потрібно гармонійно вписати систему енергетичного менеджменту в наявні управлінські структури.

### Висновки

Системний підхід дозволяє оцінити з точки зору ефективності використання енергії у будь-якій виробничій діяльності. Максимальна ефективність може бути досягнута шляхом розгляду підприємства в цілому, а також його взаємопов'язаних процесів або систем. Метою енергетичного менеджменту є мінімізація витрат енергетичної складової собівартості продукції та забезпечення конкурентоспроможності продукції за енергетичними та економічними показниками на внутрішніх та зовнішніх ринках. При цьому застосувавши системний підхід можна отримати максимальний результат в поставлених цілях енергетичного менеджменту, тобто вдосконалити продуктивну якість роботи підприємства, знайти можливості економічної роботи, що суттєво впливає на енергетичний розвиток підприємства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Хохлявин С. А. Стандарт ISO 50001: системный подход к энергоменеджменту / С. А. Хохлявин // ЭнергоАудит. – 2009. – № 3 (11). – С. 39.
2. Денисюк С. П. ISO 50001: цілі стандарту та перспективи його впровадження в Україні / С. П. Денисюк [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C\\_3\\_ISO\\_50001.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_3_ISO_50001.pdf)
3. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник / Ю. І. Бакалін. – Харків: БУРУН і К, 2006. – 320 с.
4. Шулле Ю. А. АСКОЕ як інструмент ефективного енергоменеджменту на підприємствах АПК / Ю. А. Шулле // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 165. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – С. 25-27.

**Ірина Володимирівна Валькова** – студент групи 4Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [rentalsira@gmail.com](mailto:rentalsira@gmail.com).

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Irina V. Val'kova** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rentalsira@gmail.com](mailto:rentalsira@gmail.com).

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМИ ІНВЕРТОРАМИ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З MPPT (MAXIMUM POWER POINT TRACKING)

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*За останні роки використання відновлюваних джерел електроенергії значно зросло, зокрема все більшу популярність здобувають сонячні електростанції. Головною проблемою сонячних електростанцій є зниження ККД при погіршенні погодних умов. Для формування вихідної змінної напруги у функції узгоджувальних пристроїв значну популярність здобули багаторівневі мережеві інвертори напруги, що виготовляються серійно. Така система потребує адаптації до вимог, більш актуальних для споживача, а це підтримання необхідних графіків напруги та частоти, тобто параметрів якості електроенергії.*

**Ключові слова:** сонячні електростанції, мережеві інвертори, MPPT, PWM.

## **Abstract**

*In recent years the use of renewable energy sources increased significantly, in particular, are becoming increasingly popular solar power. The main problem of solar power plants is the reduction of efficiency at severe weather conditions. For the formation of the AC output voltage in function of the matching devices a significant popularity of multi-level inverters voltage produced commercially. Such a system needs to be adapted to the requirements more relevant to the consumer, and is maintaining the required schedules the voltage and frequency, i.e. the quality parameters of electricity.*

**Keywords:** solar power, network inverters, MPPT, PWM.

## **Вступ**

В Україні найбільш перспективними сьогодні є такі напрями використання сонячної енергії як: безпосереднє її перетворення в низькопотенційну теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячної радіації (для гарячого водопостачання об'єктів, комунально-побутового та технологічного теплопостачання, потреб сільського господарства) з коефіцієнтом корисної дії (ККД) 45-60%, а в разі застосування концентраторів -80-85%; безпосереднє її перетворення в електричну енергію постійного струму за допомогою фотоперетворювачів (фотомодулів) в середньому з ККД 10-15%, хоча існують перспективні розробки з ККД близько 30%.

Оптимально підібране устаткування зменшує річне використання енергії для підігріву води на 50-60% і енергії з мережі на 50-70%. У період з квітня по вересень правильно встановлена система покриває 95% витрат тепла та енергії.

На сьогодні в Україні зростає необхідність енергонезалежності це призводить до збільшення генерування електричної енергії в тому числі і до збільшення числа відновлювальних джерел. Також набуває розповсюдження створення власних сонячних електростанцій для будинків [1].

## **Результати дослідження**

Для зменшення втрат електричної енергії при заряджанні акумуляторних батарей і при погіршенні погодних умов використовують інвертори з MPPT (відслідковування точки максимальної потужності)[2].

Типовий MPPT контролер постійно відстежує струм і напругу на сонячній батареї, помножує їх значення і визначає пару струм-напруга, при яких потужність акумуляторних батарей буде максимальною. Вбудований процесор також стежить, на якій стадії заряду знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього визначає, який струм повинен

подаватися в акумулятори. Одночасно процесор може давати команди на індикацію параметрів на табло (при наявності), зберігання даних, і т. і.

Точка максимальної потужності може обчислюватися наступними формулами:

$$I = I_L - I_{OS} \left[ e^{\frac{q}{Ak_B T} (V + IR)} - 1 \right]; \quad (1)$$

$$I_{OS} = I_{OR} \left( \frac{T}{T_R} \right) e^{\left( \frac{qE_G}{Ak_B} \left( \frac{1}{T_R} - \frac{1}{R} \right) \right)}; \quad (2)$$

$$I_L = \frac{G}{1000} (I_{SC} + K_{T,I} (T - T_R)); \quad (3)$$

$$V = \frac{Ak_B T}{q} \ln \left( \frac{I_L - I}{I_{OS}} + 1 \right) - IR. \quad (4)$$

де  $T_R = 298$  (базова температура),  $I_{OR} = 2,2510^{-6}$  (зворотній струм насичення при  $T=T_R$ ),  $I_{SC} = 3,2$  (струм короткого замикання),  $E_G = 1,810^{-9}$  (розрив кремнію),  $A=1,6$  (ідеалізуючий фактор),  $k_B = 1,3810^{-23}$  (стала Больцмана),  $q=1,610^{-19}$  (заряд електрона),  $R=0,1$  (опір),  $K_{T,I}=0,8$  (коефіцієнт температури короткого замикання).

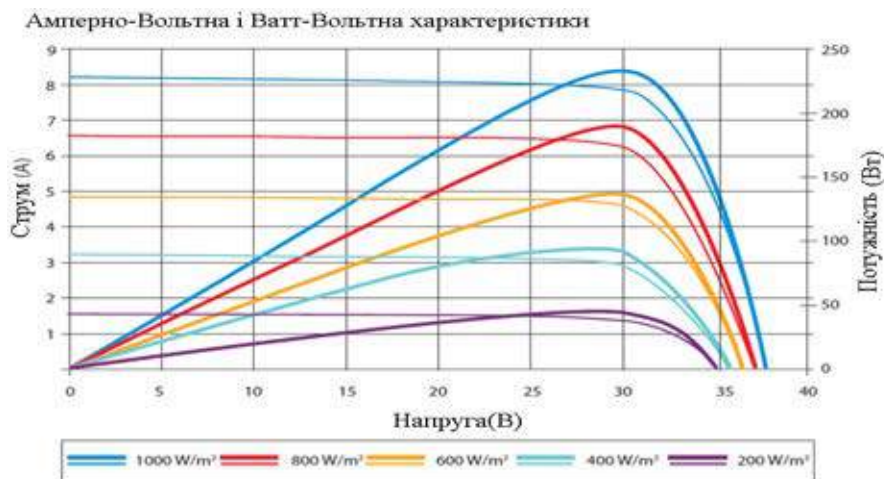


Рис.1 Характеристики потужності без використання MPPT (товста лінія) і з MPPT (тонка лінія)

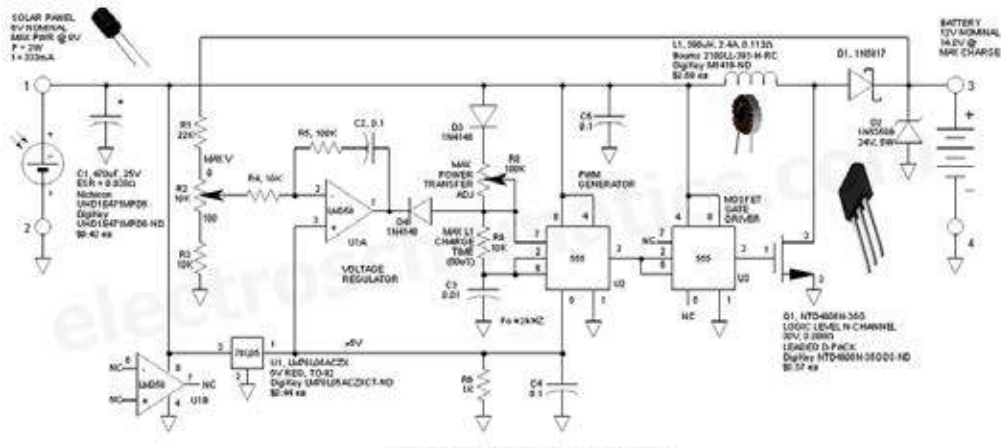


Рис.2 Схема MPPT інвертора

Більшість сучасних MPPT інверторів мають ККД 93-97% ефективності перетворення. Зазвичай отримуємо від 20% до 45% збільшення потужності взимку і 10%-15% влітку. Фактичний коефіцієнт

підсилення може широко варіювати в залежності від погоди, температури, рівня заряду акумулятора, та інших факторів [3].

Обчислення максимальної точки ефективності заряду від сонячних панелей, дозволяє підвищити ККД використання сонячної енергії до 20-30% в порівнянні із звичайними PWM (ШИМ) сонячними контролерами. Однак MPPT сонячні інвертори дорожче звичайних PWM (ШИМ). Тому, недолік ефективності систем з звичайним сонячним контролером в малопотужних системах (якщо встановлено сонячних панелей менше 300 – 400 Вт), можна компенсувати, придбавши на різницю в ціні між контролерами, зайву сонячну панель. У разі ж якщо встановлені сонячні панелі від 400 Вт і більше, необхідний тільки сонячний контролер з технологією MPPT.

Основні переваги інверторів MPPT порівняно з PWM (ШИМ) контролерами:

- високий ККД/ефективність;
- оптимальна робота при затіненні частини площі сонячних панелей;
- підвищена віддача при слабкій освітленості і при хмарній погоді;
- підвищена віддача при підвищенні температури сонячного модуля (що веде до зниження його потужності), і при негативних температурах повітря (що, відповідно, веде до збільшення потужності);

### Висновки

Використання MPPT інверторів дає можливість більш повно використовувати потенціал сонячних батарей і як наслідок знімати на 15-45 % більше електроенергії порівняно з іншими контролерами.

MPPT інвертори є найбільш ефективним при наступних умовах:

Зима, або хмарні, туманні дні - коли додаткова потужність необхідна найбільше. MPPT може змінюватися постійно для отримання максимальної потужності заряду батареї.

Холодна погода - сонячні батареї працюють краще при низьких температурах, але без MPPT ви втрачаєте велику частину цього переваги, коли світлові години мінімальні.

Низький заряд батареї - чим нижчий стан заряду батареї, тим більше контролер MPPT вкладає в них.

При порівнянні MPPT інверторів з PWM контролерами кращу ефективність мають MPPT інвертори але вони значно дорожчі, тому для малопотужних станцій краще купити ще сонячних панелей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Сонячна енергетика України / [Електронний ресурс] / Режим доступу// [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячна\\_енергетика\\_України#.D0.A0.D0.BE.D0.B7.D0.B2.D0.B8.D1.82.D0.BE.D0.BA](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячна_енергетика_України#.D0.A0.D0.BE.D0.B7.D0.B2.D0.B8.D1.82.D0.BE.D0.BA).
2. Відслідковування точки максимальної потужності / [Електронний ресурс] / Режим доступу// [https://ru.wikipedia.org/wiki/Отслеживание\\_точки\\_максимальной\\_мощности](https://ru.wikipedia.org/wiki/Отслеживание_точки_максимальной_мощности).
3. Що таке MPPT контролери / [Електронний ресурс] / Режим доступу// <http://ust.su/solar/media/section-inner100/8258/>.

**Ігор Вікторович Сапун** – студент групи ЗЕ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [sapuman@ukr.net](mailto:sapuman@ukr.net).

Науковий керівник: **Сергій Михайлович Левицький** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Igor V. Sapun** – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [sapuman@ukr.net](mailto:sapuman@ukr.net).

Supervisor: **Sergey M. Levitsky** – Cand. Sc. (Eng), associate Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розкрито сутність та зміст основних теоретико-методичних засад розвитку енергозбереження на підприємствах. Обґрунтовано основні положення щодо підвищення ефективності енергозбереження на підприємствах.*

**Ключові слова:** енергозбереження, енергоємність, енергоефективність, потенціал енергозбереження, підприємства.

### *Abstract*

*The essence and content of the main theoretical and methodological principles of energy saving in the enterprises. The basic provisions for improving energy saving in the enterprises.*

**Keywords:** energy saving, energy intensity, energy efficiency, energy saving potential, enterprises.

### Вступ

Актуальність проблеми енергоспоживання та енергозбереження обумовлюється значною залежністю України від імпорту енергоносіїв, а також високою енергоємністю економіки. Функціонування підприємств в сучасних умовах вимагає застосування нових підходів до управління енергозбереженням, які повинні враховувати реалії сьогодення. Енергозбереження сприяє прискоренню темпів зростання виробництва, зниження цін на продукцію, досягненню високих кінцевих результатів [1, 2].

### Результати дослідження

Функціонування підприємств в сучасних умовах вимагає застосування нових принципів управління енергозбереженням, зниження рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на одиницю кінцевого корисного ефекту при їх використанні з одночасним скороченням негативного впливу на навколишнє середовище.

Енергозбереження – це реалізація виробничих, наукових, технічних, організаційних, економічних і правових заходів, що спрямовані на досягнення економічно обґрунтованого значення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів і на застосування нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії. Поняття «енергоефективність» є дещо ширшим та містить не лише напрями безпосереднього енергозбереження, а й заходи, що призводять до зниження споживання ПЕР. Енергоефективність та енергозбереження є взаємопов'язаними, оскільки в більшості випадків енергозбереження є головним чинником підвищення рівня ефективності використання ПЕР [1-4].

Процес енергозбереження має складну структуру, до якої належить сукупність заходів, що забезпечують максимально ефективне використання ПЕР: державне регулювання, організаційно-економічні заходи, техніко-технологічні заходи та використання нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії.

Ефективність використання ПЕР визначається багатьма факторами, що зумовлює існування та застосування відносно великої кількості показників, які враховують енерговитрати на всіх етапах виробництва продукції. Важливими показниками, які характеризують продукцію і виробничі процеси за рівнем використання ПЕР, є енергоємність продукції і енергоємність виробництва. Зменшення енергоємності продукції можливо:

- за рахунок зменшення витрат паливних ресурсів на одиницю продукції – це шлях енергозбереження;
- за рахунок росту споживчої вартості продукції, що виробляється, як завдяки її вдосконаленню, так і переходу на випуск більш технологічної, наукоємної продукції – це шлях до зменшення енергоємності за рахунок інновацій [1-4].

Існує теоретично обґрунтований рівень споживання енергії – це межа, до якої можуть бути знижені енерговитрати на підприємстві при ідеальній організації виробництва. Виконуючи наукові, організаційно-технічні заходи, можливо поступово досягти теоретичного значення



рівня енергоспоживання.

Система управління енергозбереженням підприємства покликана забезпечити економне споживання енергетичних ресурсів під час виробничих процесів за допомогою комплексу організаційних, технічних та програмно-методичних засобів. Реалізація системи управління енергозбереженням підприємства відбувається за допомогою діяльності відповідного структурного підрозділу чи групи осіб відповідальних за енергозбереження. Основою для організації ефективної системи управління енергозбереженням промислових підприємств є визначення їх потенціалу у цій сфері. Проведення такої оцінки передбачає збір та аналіз інформації щодо енергоємності виробничих процесів, обсягів витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю готової продукції та реалізованих раніше проектів з енергозбереження. Вирішення проблеми використання потенціалу енергозбереження полягає в створенні новітніх ресурсо- та енергоощадних технологій виробництва та їх активному впровадженні в промисловість.

Для визначення економічної ефективності й обґрунтування рішень по впровадженню енергозберігаючих інновацій використовують наявний потенціал енергозбереження, як сукупність всіх потенційних резервів енергозбереження і здатність існуючої системи управління підприємства раціонально використовувати ПЕР. Критерієм ефективного використання ПЕР та прийнятих проектних рішень є прибуток за умови неодмінного дотримання технічних, технологічних, організаційних, соціальних і екологічних обмежень. Загальна величина потенціалу енергозбереження підприємства виявляється у здатності до одержання синергетичного ефекту від раціонального використання наявних можливостей щодо енергозбереження[1-4].

### Висновки

Управління енергозбереженням являє собою цілеспрямований процес. Його складовими є контроль за використанням паливно-енергетичних ресурсів, знаходження резервів, їх економічне обґрунтування та створення умов для їх реалізації. Управління енергозбереженням – це одна із форм проведення політики підприємства у сфері енергозбереження, яка включає в себе технічне, технологічне, організаційне інспектування виробництва з погляду енергоспоживання з метою визначення можливої економії енергії та впровадження механізму енергетичної ефективності. Критерієм ефективності впровадження заходів із енергозбереження є приріст прибутку, що залишається в розпорядженні підприємства [1-5].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бевз В. В. Енергоефективність підприємств харчової промисловості – сучасний стан і стратегія розвитку / В. В. Бевз // Наук. праці Нац. ун-ту харч. технологій. – К. : НУХТ, – 2010. – № 35 – С. 15-18.
2. Бевз В. В. Енергозбереження – ефективний шлях до зниження витрат виробництва / В. В. Бевз // Харчова промисловість. – К. : НУХТ, – 2010. – № 9 – С. 186-190.
3. Бевз В. В. Енергозбереження – потенціал розвитку економіки України / В. В. Бевз // Харчова промисловість. – К. : НУХТ, – 2010. – № 9 – С. 190-194.
4. Бевз В. В. Енергозбереження – складова ефективності діяльності підприємства / В. В. Бевз // Наук. часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова, Серія 18 Економіка і право К. : Вид-во НПУ ім. М.П. Драгоманова, – 2012. – № 19 – С. 90-97.
5. Долінський А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 24–32.

**Максим Вікторович Панасюк** – студент групи ЗЕ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: panass666@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент 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, e-mail: panass666@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛАНОК УПРАВЛІННЯ СПО- ЖИВАЧАМИ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Здійснено техніко-економічний аналіз впровадження автоматизації ланок управління споживачами електроенергії на прикладі системи освітлення промислового підприємства.*

**Ключові слова:** світильник, лампа розжарення, світлодіод, датчик руху.

### *Abstract*

*The technical and economic analysis of introduction of automation of control links by electric power consumers is carried out on the example of a lighting system of an industrial enterprise.*

**Keywords:** lamp, incandescent lamp, LED, motion sensor.

### **Вступ**

Промислові світлодіодні лампи і світильники економлять від 30% до 65% електроенергії на відміну від класичного освітлення. Також, перевагами світлодіодних виробничих світильників, ламп, прожекторів і ліхтарів є відсутність витрат на утилізацію, знижені витрати на обслуговування. До того ж до більшості класичних ламп для роботи потрібен баласт, що так само впливає на вартість обладнання і збільшує споживання енергії на 10%.

Завдяки сучасним технологіям інтелектуального управління освітленням можна домогтися економії на 80-90% в порівнянні з існуючими системами освітлення [1]. Для кращої економії, необхідно застосовувати інтелектуальні системи керування освітленням. Якщо є місця, де співробітники працюють не повний робочий день, приходять або йдуть протягом дня, то в таких приміщеннях необхідно використовувати автоматичну або ручну систему управління освітленням [2]. В першу чергу світло буде працювати в залежності від природного освітлення, підлаштовуючись до нього. У другу чергу система буде відключати частину світильників по таймеру або по датчикам руху.

Метою роботи є обґрунтування енергоефективності електроспоживачів системи освітлення підприємств шляхом автоматизації ланок управління останніми.

### **Результати дослідження**

В роботі для прикладу проведено аналіз ефективності заміни світильників з лампами розжарювання на світлодіодні світильники потужністю 15 Вт і датчиками руху в кількості 10шт. Встановлення світильників у виробничому приміщенні – по 1 шт на 5 м<sup>2</sup>.

Характеристики світильників:

- кожен світильник оснащений датчиком руху з дальністю спрацювання 20м;
- кут виявлення руху – 180°;
- світловіддача світлодіодів – 100лм/вт;
- світловий потік – 1500 лм;
- час світіння встановлюється від 10 секунд до 10 хвилин;
- регулюється рівень освітленості при якому вмикається освітлення;
- ступінь захисту IP44.

Дані щодо економічної ефективності впровадження енергоефективних світлодіодних світильників наведені у табл. 1.

Розрахунок виконано для виробничого приміщення, де замінено 10 ламп розжарювання. Припускається, що час роботи світильника за рахунок встановлення датчику руху скорочується на 50%.

Таблиця 1 – Результати техніко-економічного аналізу використання автоматизації керування світильниками

Параметр / тип лампи	Лампа розжарювання 150 Вт	LED-15W Прожектор 15 Вт (без датчика руху)	LED-15W Прожектор 15 Вт (з датчиком руху)
Кількість світильників	10	10	10
Споживана потужність 1 світильником, Вт	150	15	15
Споживана потужність 1 датчику руху, Вт	-	-	3
Загальна споживана потужність 10 світильниками, Вт	1500	150	180
Обсяг спожитої електроенергії за добу (середньорічна добова норма – 10 годин), кВт·год.	15,0	1,5	0,9 (зменшення часу роботи на 50%)
Вартість електроенергії на добу, за тарифу (2,4 грн./ кВт·год.)	36 грн	3,6 грн	2,16 грн
Економія в день, грн	-	32,4 грн	33,84 грн
Вартість електроенергії за рік (250 днів), грн	9000	900	540
Економія за рік	-	8100 грн (90 %)	8460 грн (94 %)

Середня ціна LED прожектора, потужністю 15 Вт становить 230 грн., датчика руху – 330 грн. Загальні капіталовкладення в модернізацію системи освітлення (без урахування вартості монтажу): з урахуванням датчика руху – 5600 грн., без урахування датчика руху – 2300 грн. Термін окупності: з урахуванням датчика руху – близько 0,7 року, без урахування датчика руху – близько 0,3 року.

### Висновки

Здійснено техніко-економічний аналіз впровадження автоматизації керування промисловими світильниками шляхом застосування датчиків руху. Встановлено, що термін окупності використання енергоефективних світлодіодних світильників із датчиками руху порівняно із використанням світильників з лампами розжарювання не перевищує 0,7 року.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Переваги та недоліки світлодіодного освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://altaris.kh.ua/ua/publications\\_3/](http://altaris.kh.ua/ua/publications_3/) / (дата звернення 05.03.2017). — Назва з екрана.
2. Бабенко О. В. Енергетичний аудит. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 71 с.

**Олексій Вікторович Бабенко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: oleksij\_babenko@ukr.net;

**Анатолій Вікторович Ольшевський** — студент групи 4Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки.

**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;

**Ol'shevs'kyu Anatoliy V.** — Department of Electric Power Engineering and Electromechanics.

## Розрахунок компенсації реактивної потужності з врахуванням впливу форми графіків навантажень 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, методи та засоби компенсації реактивної потужності з врахуванням впливу форми графіків навантаження.

**Об'єкт дослідження:** Методи та засоби компенсації реактивної потужності з врахуванням впливу форми графіків навантажень.

**Предмет дослідження.** Компенсація реактивної потужності і вимоги до щодо її показників.

**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 перемикавання 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 потужність 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.

## 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 багатofакторність 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 ЕСЕ-16М, факультет електроенергетики. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yua1995@bk.ru.

Науковий керівник: Бабенко Олексій Вікторович доцент технічних наук, Вінницький національний технічний університет

Yankovetsky Yaraslav Anatolievich. - student group ESE-16M, Department of Electricity. Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yua1995@bk.ru.

Supervisor: Alexey Viktorovich Babenko. Docent of Technical Sciences, Vinnytsia National Technical University



## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК НА ГНІВАНСЬКОМУ ЗАВОДІ «СПЕЦЗАЛІЗОБЕТОНУ»

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

На основі декомпозиції мережі запропоновані моделі управління потужностями компенсуючих установок, які дозволяють зменшити затрати на створення відповідних систем управління на Гніванському заводі «Спецзалізобетон».

**Ключові слова:** управління компенсуючими установками, декомпозиція мережі.

### Abstract

Based on the decomposition of the network management model proposed capacity compensating installations that reduce the cost of creating the appropriate control systems Hnivanskomu plant «Spetszalizobeton».

**Keywords:** compensating control units, network decomposition.

### Вступ

Одним з шляхів економії електроенергії на Гніванському заводі є компенсація реактивної потужності в його розподільних електричних мережах. Енергопостачальна компанія для забезпечення нормальних режимів своїх мереж задає заводу вхідну реактивну потужність (ВРП) [1]. Забезпечення заданої ВРП здійснюється шляхом автоматичного управління потужностями компенсуючих установок (КУ). Така задача потребує значної кількості інформації. Ця кількість може бути зменшена при декомпозиції мережі [2]. Існуючі способи автоматичного управління потужностями КУ не враховують такої можливості.

Метою роботи є підвищення ефективності компенсуючих установок шляхом зменшення інформації необхідної для управління цими КУ на основі декомпозиції мережі.

### Результати дослідження

Коротка характеристика існуючих математичних моделей управління потужностями КУ представлена в таблиці 1.

Проведемо аналіз цих моделей. Сумарні втрати при управлінні КУ можна записати як:

$$\delta P_{\Sigma} = \delta P_{\text{відгал.}} + \delta P_{\text{жм}} + \delta P_{\text{спільн.}} \quad (1)$$

де  $\delta P_{\text{відгал.}}$  – зниження втрат у відгалуженнях від основної лінії живлення;  $\delta P_{\text{жм}}$  – зниження втрат у живлячій лінії;  $\delta P_{\text{спільн.}}$  – зниження втрат на спільних ділянках магістральних мереж.

В радіальних мережах управління секціями КУ ведеться по мінімуму втрат (модель 1)  $\delta P_{\text{відгал.}} \rightarrow \min$ , для радіальних мереж зі спільним опором (модель 2)  $\delta P_{\text{відгал.}} + \delta P_{\text{жм}} \rightarrow \min$ .

При ввімкненні секцій КУ в різних вузлах друга складова залежить  $\delta P_{\text{жм}}$  тільки від потужності секцій, але не залежить від вузла, де ми вмикаємо КУ, тобто управління можна проводити по мінімуму першої складової. В заводських магістральних мережах (модель 3) спільні ділянки мають

Таблиця 1 – Моделі управління потужностями конденсаторних установок

№ п/п	Коротка характеристика методу	Аналітична модель керування
1	Забезпечення ВРП по прогнозованому максимуму зниження втрат для радіальних мереж	$\frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_i}{U^2} \rightarrow \max$
2	Забезпечення ВРП по максимуму зниження втрат в радіальних мережах та живлячій лінії	$\frac{2Q_{ci} R \sum_{i=1}^m Q_i - Q_{ci}^2 R}{U^2} + \frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_i}{U^2} \rightarrow \max$
3	Забезпечення ВРП по максимуму зниження втрат в магістральних мережах	$\frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_{ii}}{U^2} + \frac{1}{U^2} \cdot 2Q_{ci} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Q_j R_{ji} \rightarrow \max$

де  $Q_i$  – реактивне навантаження  $i$ -ого вузла;  $Q_{ci}$  – потужність секції КУ, встановленої в  $i$ -ому вузлі;  $R_i$  – активний опір лінії, що живить  $i$ -ий вузол;  $R$  – активний опір живлячої лінії;  $m$  – кількість вузлів в мережі.

малу протяжність і відповідно невелику величину втрат  $\delta P_{\text{спільн.}}$ , якими можна знехтувати. і управління проводити аналогічно до попередніх випадків.

Проведені розрахунки відповідно моделей 1–3 на Гніванському заводі «Спеціаліобетону» показали, що управління потужностями КУ можна проводити, використовуючи інформацію тільки радіальних відгалужень.

### Висновки

Таким чином, управління компенсуючими установками всієї мережі на основі її декомпозиції, можна проводити використовуючи лише дані лише про її частину. Це дасть змогу зменшити інформацію необхідну для управління КУ і відповідно підвищити їх ефективність шляхом зменшення затрат на створення цієї системи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоиздат, 1985. – 200с.
2. Демов, О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсуючих установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 98 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.

**Ситник Марія Юрїївна** — студент групи ЕМ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: 123.88.123@mail.ru.

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

**Sytnyk Masha** — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 123.88.123@mail.ru.

ПОЕТАПНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК В ЕЛЕКТРИЧНІ  
МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація**

Розроблено метод поетапного впровадження КУ, який дозволяє визначати місце установлення і потужність КУ на кожному етапі впровадження, забезпечуючи при цьому максимальне значення економічної ефективності.

**Ключові слова:** компенсуючі установки, впровадження компенсуючих установок

**Abstract**

It is shown that economical efficacy of condenser battery's inculcation can be largely changed at the expense of changing its powers and places of installing. It's proposed consistent method of inculcation of condenser instalation in electrical networks of industrial plants which guarantees maximum economical efficacy on every inculcation steps.

**Keywords:** compensating installation, reactive power.

**Вступ**

Відповідно існуючих методів [1-3] задачу компенсації реактивної потужності в заводських мережах розв'язують, виходячи з оцінки початкового стану заводської мережі (відсутності компенсуючих установок, КУ) та кінцевого (наявності КУ в усіх вузлах навантаження). При цьому не розраховується яким шляхом можна дійти з початкового стану в кінцевий.

Таким чином виникає необхідність в розробці методу поетапного впровадження КУ в мережах промислових підприємств, який забезпечував би впровадження КУ, як на кожному з вказаних кроків, так і в цілому за весь процес впровадження з максимальними значеннями економічної ефективності.

**Результати дослідження**

Математична модель оптимізації впровадження КУ буде мати такий вигляд

$$p_{kmc} = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ki}}{m} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_{kij} < Q_{cj}, \quad (2)$$

де  $p_{kmc}$  – середнє значення ефективності установлення КУ потужністю  $Q_{km\Sigma} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} Q_{kij}$  на  $m$ -ому етапі;  $p_{ki}$  – ефективність установлення КУ потужністю  $Q_{kij}$  на  $i$ -ому етапі;  $Q_{cj}$  – середнє реактивне навантаження  $j$ -го вузла;  $m \in i$ ;  $n_i \in j$ ;  $n_i$  – кількість вузлів навантаження в яких установлені КУ на  $i$ -ому етапі;  $m$  – кількість етапів впровадження КУ.

Очевидно максимальнє значення  $p_{kmc}$  буде в тому випадку, якщо забезпечити максимальнє значення  $p_{ki}$  на кожному етапі

$$p_{kmc}^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ki}^{\max}}{m}, \quad (3)$$

де  $p_{kmc}^{\max}$  – максимальнє значення  $p_{kmc}$ ,  $p_{ki}^{\max}$  – максимальнє значення  $p_{ki}$ . Величина  $p_{ki}^{\max}$  на кожному етапі знаходяться як

$$p_{ki}^{\max} = \max\{p_{ki1}, p_{ki2}, \dots, p_{kin}\}; \quad (4)$$

Результати розрахунків по приведеним формулам дозволяють побудувати залежність  $p_{kmc}^{\max}(Q_{km\Sigma})$ . Ця залежність відображає максимальну ефективність вкладення коштів величиною в КУ на кожному етапові. Наявність цієї залежності дозволяє знайти економічно доцільну величину потужності КУ  $Q_{kme}$ , яка відповідає заданій економічній ефективності вкладання коштів в комерційні та виробничі операції для даного підприємства  $p_{к.в.з.}$ .

$$Q_{kme} = p_{квз.}^{-1}(Q_{km\Sigma}), \quad (5)$$

де  $p_{квз.}^{-1}(Q_{km\Sigma})$  значення функції оберненої  $p_{квз.}(Q_{km\Sigma})$  при  $p_k = p_{к.в.з.}$

Величина  $p_{к.в.з.}$  визначається економічними умовами, в яких знаходиться підприємство. Тобто метод дозволяє знайти доцільну величину КУ, яка економічно влаштовує підприємство [4].

Знайдена потужність КУ розподіляється по вузлах мережі промислового підприємства відповідно розрахунків проведених на попередніх етапах.

### Висновки

1. Розрахунок впровадження КУ доцільно проводити поетапно, що дає можливість визначити максимальну ефективність цього впровадження на кожному з етапів.
2. Величина потужності КУ, яку доцільно установити в мережах підприємства, визначається економічними можливостями підприємства в виробничій та комерційній діяльності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей / И. Н. Ковалев. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної енергії між енергопостачальною організацією та споживачами. - Київ: Міністерство енергетики України, 1997.
3. Железко Ю. С. Окупаемость конденсаторных установок / Ю. С. Железко // Электрические станции. - 1977, № 2.
4. Демов О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсуючих установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. - Вінниця : ВНТУ, 2016. - 98 с.

**Марина Вікторівна Огороднік** – студентка групи ЕМ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ogorodnik.marina94@mail.ru.

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця.

**Marina V. Ogorodnik** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ogorodnik.marina94@mail.ru.

Supervisor: **Alexander D. Demov** – Ph.D., assistant professor of electrical systems of power and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

## РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID ЧЕРЕЗ ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розкрито потенціал використання ГІС-технологій в електроенергетиці. Розглянуто можливість реалізації концепції Smart Grid на основі геоінформаційних систем, які здатні до інтелектуального аналізу даних та можуть налагодити ефективний двосторонній зв'язок між споживачами і енергосистемою.*

**Ключові слова:** географічні інформаційні системи, ГІС, Smart Grid, енергозбереження, електроенергетика.

### *Abstract*

*Reveal the potential of the GIS-technology usage in power generation industry. It was considered opportunity of Smart Grid based with geoinformation system concept realization, which are able to analyze data and could to establish effective double-sided communications between consumers and energy system.*

**Keywords:** geographic information systems, GIS, Smart Grid, energy saving, power generation industry.

### **Вступ**

Для управління підприємствами енергетичної галузі необхідна детальна інформація щодо локалізації та стану їх об'єктів. Для досягнення цієї мети необхідно регулярно здійснювати інспекцію та збирати точні просторові дані про об'єкти. Тому необхідна інформаційна система, що буде спроможна допомогти менеджерам компанії у прийнятті рішень на всіх етапах управління підприємством. Сьогодні досягнення в області дистанційного зондування та ГІС надають різноманітні інструменти для підтримки прийняття рішень у сфері управління електроенергетикою. Розкриття потенціалу використання ГІС-технологій в електроенергетиці, в тому числі, з огляду на зміни, що відбуваються в світовій енергетиці з впровадженням ініціативи Smart Grid, є важливим практичним завданням в контексті модернізації національної енергосистеми [1].

### **Результати дослідження**

Енергетика є найважливішою складовою економіки, ключовим фактором забезпечення життєдіяльності держави. Управління в сфері електроенергетики потребує використання інноваційних інформаційних технологій, що повинні забезпечити його високу ефективність. В світовій практиці ГІС зарекомендували себе як потужний інструмент для інтелектуального аналізу енергосистем та бізнес аналітики [1].

На сьогоднішній день географічні інформаційні системи (ГІС) не просто оцифровані карти. Сьогодні ГІС – це засіб управління, комунікації, аналізу, інтеграції даних та підтримки рішень. Геоінформаційні системи в електроенергетиці давно набули поширення і отримали статус інфраструктурної технології. Це пов'язано з тим, що майже вся інформація, яка використовується на електроенергетичних підприємствах, має просторову прив'язку у зв'язку з географічно розподіленою природою електричних мереж та інфраструктури. В загальному ГІС електроенергетики – інформаційний ресурс, що об'єднує різноманітні картографічні матеріали, космічні знімки, векторні шари, бази даних, має широкі функціональні можливості (збір, зберігання, об'єднання, обробка, складні обчислення, візуалізація та аналіз географічно кодованої інформації) і доступна по локальній мережі або через мережу Інтернет. ГІС, як службова підсистема, має спеціальні картографічні матеріали (лінії електропередач, кабельні лінії, підстанції і їх бази даних, кадастрові ділянки, інші об'єкти електроенергетики), що дозволяє приймати ефективні управлінські рішення і здійснювати контроль їх виконання засобами GPS та відеомоніторингу [2].

ГІС можуть використовуватися майже в усіх службах, відділах та департаментах енергетичної компанії. Більшість компаній функціонують за єдиним алгоритмом (життєвим циклом), який включає наступні процеси: планування, управління активами, проектування нових об'єктів та реконструкція старих, будівництво ЛЕП [1].

Геоінформаційна система в електроенергетиці може і повинна використовуватись як інструмент реалізації концепції Smart Grid і становлення інноваційної енергетики. Термін «Smart Grid» і сама

технологія народилася та набула найбільшого поширення в США. Однак, сьогодні цей термін став загальноприйнятим і його використовують у всьому світі. Smart Grid (інтелектуальні мережі) – це назва глобальної технології розвитку електроенергетичної системи всіх рівнів, або концепція організації «розумної» енергетичної системи. Smart Grid передбачає об'єднання енергетичної мережі, споживачів і постачальників електроенергії в єдину автоматизовану систему, яка в реальному часі дозволяє відстежувати і контролювати режими роботи кожного з компонентів мережі: від лічильника електроенергії в будинку до електростанцій. Причому в даній системі повинен бути налагоджений ефективний двосторонній зв'язок між споживачами і енергосистемою. У зв'язку з цим з'являється можливість поєднання геоінформаційної системи з концепцією Smart Grid та отримання енергозберігаючого ефекту. Загалом, переваги від використання Smart Grid такі:

- високий рівень безпеки та більш ефективна передача електроенергії;
- швидке відновлення, після відключення електрики;
- зниження пікового попиту, що сприятиме зниженню тарифів на електроенергію;
- найкраща інтеграція споживачів і підприємств у систему виробництва електроенергії, в тому числі, відновлюваних джерел енергії;
- можливість обробки різноманітних джерел електроенергії (енергії вітру, сонця);
- підвищення надійності систем перетворення, передачі і розподілу електричної енергії;
- вирішення проблеми з модернізації або заміни старої енергетичної інфраструктури.

Переваги використання геоінформаційної системи як концепції Smart Grid наступні:

- переведення всієї паперової картографічної, схематичної і креслярської документації на електронні носії інформації;
- автоматизація технічного обліку, створення різних типів звітів, скорочення обсягів ручної праці, створення єдиного сховища даних;
- збір даних, їх обробка, обчислення та аналіз, формування звітів, а також забезпеченість інформацією для прийняття обґрунтованих рішень;
- автоматизація планування процесів розвитку, будівництва, ремонту, профілактики, а також прискорення процесів надання послуг;
- енергозбереження за рахунок зменшення кількості аварійних ситуацій, зменшення тривалості ремонтних робіт, підвищення якості обслуговування мереж, підвищення ефективності управління мережами, оптимізація використання виробничих ресурсів [2].

## Висновки

Сьогодні збільшується значимість 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. ГІС в енергетиці сьогодні це основа для систем підтримки прийняття рішень, моніторингу стану та управління в галузі електроенергетики. Вони використовуються на всіх етапах життєвого циклу функціонування енергетичних підприємств – планування, проектування, будівництво, експлуатація. Потужна, працездатна корпоративна ГІС – це міцний фундамент для повноцінного впровадження «розумних мереж» і отримання максимальної віддачі від наданих ними переваг. Впровадження ГІС у вітчизняну енергетику є одним з важливих етапів її модернізації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткачук С. М. ГІС як системи підтримки прийняття рішень в електроенергетиці / С. М. Ткачук // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. Збірник наукових праць. – Харків, 2014. – Випуск 19. – С. 102-105.
2. 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.

*Юлія Андріївна Шулле* – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: j\_shulle@ukr.net.

*Iuliia A. Shullie* – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: j\_shulle@ukr.net.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Україна, яка споживає у загальному балансі більше 60–70% імпортованих енергоресурсів, є однією з енергозалежних країн Європи. І цьому сприяє не тільки їх відсутність, а й неефективне інформаційне забезпечення енергозбереження, що загрожує національним інтересам та національній безпеці країни. Тому вирішення питань інформаційного забезпечення енергозбереження є одним з першочергових в умовах енергетичної кризи в країні.*

**Ключові слова:** енергозбереження, інформаційне забезпечення, раціональне використання енергії.

### *Abstract*

*Ukraine, which consumes in the overall balance more than 60-70% of imported energy is one of the volatile countries of Europe. And this contributes not only their absence but also inefficient information support of energy saving, which threatens the national interests and national security of the country. Therefore, the decision of questions of information support of energy saving is a priority in terms of the energy crisis in the country.*

**Keywords:** energy saving, information support, rational use of energy.

### **Вступ**

Інформаційне забезпечення заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності має здійснюватися регулярно за допомогою: створення державної інформаційної системи у сфері енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності; опублікування органами державної влади, органами місцевого самоврядування в засобах масової інформації регіональних, муніципальних програм в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності; організації органами державної влади, органами місцевого самоврядування поширення в засобах масової інформації тематичних теле- і радіопередач, інформаційно-просвітницьких програм про заходи і способи енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, про видатні досягнення в області енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності та іншої актуальної інформації в даній області; інформування споживачів про енергетичну ефективність побутових пристроїв, а також будівель, споруд та інших об'єктів, пов'язаних з процесами використання енергетичних ресурсів; поширення інформації про потенціал енергозбереження щодо систем комунальної інфраструктури та заходи щодо підвищення їх енергетичної ефективності; організації виставок об'єктів і технологій, що мають високу енергетичну ефективність; виконання інших дій відповідно до законодавства про енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності [1, 2].

### **Результати дослідження**

З метою дотримання інтересів держави і досягнення суспільно корисних цілей в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, а також здійснення інформаційного забезпечення заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності органи державної влади, органи місцевого самоврядування зобов'язані забезпечити регулярне поширення:

- інформації про встановлені права та обов'язки фізичних осіб, вимоги, що висуваються до власників житлових будинків, власників приміщень в багатоквартирних будинках, осіб, відповідальних за утримання багатоквартирних будинків;

- соціальної реклами в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності в порядку, встановленому законодавством;

- організації, які здійснюють постачання енергетичних ресурсів, регулярно зобов'язані інформувати своїх споживачів про способи економії енергетичних ресурсів і підвищення енергетичної ефективності їх використання, в тому числі розмішувати інформацію в мережі Інтернет, на паперових носіях та іншими доступними способами;

- освітні програми можуть включати в себе навчальні курси з основ енергозбереження та

підвищення енергетичної ефективності;

- дані про сукупні витрати на оплату використаних протягом календарного року енергетичних ресурсів підлягають включенню в пояснювальну записку до річної бухгалтерської звітності.

Інформаційне забезпечення заходів з енергозбереження не можливе без технічного забезпечення – комплексу технічних засобів, необхідних для збирання, реєстрації, передачі, зберігання, обробки та використання інформації. Використання ГІС, АСКОЕ, SCADA та баз даних з енергозбереження дозволить в повній мірі вирішувати завдання енергоаудиту та енергоменеджменту (рис.1). Для продуктивної і ефективної роботи всі ці підсистеми повинні бути тісно пов'язані між собою [3].



Рис. 1. Програмно-технічне забезпечення енергозберігаючих заходів [3]

Інформаційна база з електрозбереження дозволяє: раціонально зберігати інформацію по електрозбереженню будь-якого споживача; оперативно формувати заходи по економії електроенергії; нарощувати інформацію по електрозбереженню, не змінюючи структури бази; виконувати обробку та аналіз інформації з енергетичних обстежень, що міститься в базах даних; виявляти випадки нерационального використання електроенергії, а також створити інформаційну базу для вирішення задач прогнозування обсягів споживання електроенергії і коштів на її оплату на наступний період [4].

### Висновки

Одним із пріоритетних завдань держави є підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів і створення необхідних умов для переходу економіки України на енергозберігаючий напрямок розвитку. Раціональне використання енергетичних ресурсів неможливо без інформаційного забезпечення заходів з енергозбереження.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Діак І. В. Енергозбереження: стан, проблеми і перспективи / І. В. Діак // Эко-технологии и ресурсосбережение. Сборник трудов Восьмой научно-технической международной конференции "Энергетическая безопасность Европы XXI столетия. Евразийские энергетические коридоры", 2005. – С. 44-47.
2. Діак І. В. Енергозбереження: реалії сьогодення / І. В. Діак // Дзеркало тижня. – № 21 (700). – 2008. – с. 9.
3. Шулле Ю. А. Програмно-технічне забезпечення енергозберігаючих заходів [Електронний ресурс] / Юлія Шулле // Матеріали XIII міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016)", м. Вінниця, 3-6 жовтня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/13142>.
4. 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.

**Микола Юрійович Свіргун** – студент групи 3Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e13b.svirgun@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Nikolay Y. Swerhun** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e13b.svirgun@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



# ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЯК ЧИННИКИ СТАЛОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Актуальність досліджуваної теми базується на тому, що в Україні мало розвинутий енергоменеджмент, як чинник сталого розвитку промислового підприємства. В роботі розглянуто шляхи впровадження контролю за споживанням енергоресурсів та засоби для впровадження системи енергетичного менеджменту.*

**Ключові слова:** енергетичний менеджмент, енергетичний розвиток, промислове підприємство, система енергетичного менеджменту.

## **Abstract**

*The relevance of the subject based on the fact that Ukraine had developed energy management as a factor of sustainable development of industrial enterprises. We consider ways of implementing control over energy consumption and tools for implementing energy management system.*

**Keywords:** energy management, energy development, industrial enterprise, energy management system.

## **Вступ**

Енергозбереження є важливим питанням для промислових підприємств. Пов'язано це з тим, що підприємство, яке утворило і налагодило систему енергетичного менеджменту (СЕМ), поліпшує свою енергоефективність, може впроваджувати новітні засоби з енергозбереження, покращує виробничий цикл. Інтенсивність і прибутковість виробництва напряму залежить від енергетичних складових.

## **Результати дослідження**

Під енергоменеджментом розуміють системний підхід щодо досягнення цілей покращення енергетичної діяльності на основі енергетичної політики, процесів і процедур; це постійно діюча система організації, управління та керівництва енергоспоживанням підприємства.

Підвищення енергоефективності на підприємстві підвищує прибутки підприємства і водночас приносить такі результати:

- заощадження коштів, що забезпечує зростання конкурентоспроможності підприємства, особливо при зростанні цін на енергоносії;
- збільшення продуктивності через удосконалення виробничих процесів, що пов'язані із способом використання енергії;
- встановлення квот на викиди, що дозволяє знизити залежність від цін на енергоносії, зменшити ризики компанії, що, в свою чергу, підвищує вартість підприємства;
- скорочення викидів у навколишнє середовище, від чого покращується екологічний стан, а з ним і імідж підприємства [1-3].

План дій сталого енергетичного розвитку (ПДСЕР) – це комплекс стратегічних проєктів щодо вдосконалення всіх сфер і галузей міста з урахуванням можливих джерел та механізмів їх фінансування, а також їх впливу на зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Таким чином, ПДСЕР є головним стратегічним документом, що передбачає якісні стратегічні зміни міста, його ефективне енергоспоживання та зменшення викидів парникових газів всіма залученими господарюючими суб'єктами міста, впливаючи цим на глобальне потепління в світі.

Ціль розробки ПДСЕР – продовження системного підходу до управління енергетичними ресурсами міста націленого на сталий енергетичний розвиток за рахунок створення ефективних енергетичних проєктів з метою підвищення енергоефективності, залучення інвесторів та механізмів державно-приватного партнерства по реалізації проєктів ПДСЕР.

Основою ПДСЕР є заходи, спрямовані на зменшення викидів CO<sub>2</sub> та енергоспоживання кінцевими споживачами. Споживання електричної енергії має тенденцію до збільшення, що пов'язано зі зростанням оснащення електроприладами серед підприємств.

За відсутності сучасного управління системою енергетичного менеджменту на підприємстві та дієвого контролю за споживанням енергетичних ресурсів необхідно:

- запровадити облік та аналіз споживання енергоресурсів;
- провести енергоаудити (обстеження) та розробити енергоефективні заходи;
- впровадити планування нових норм споживання енергоресурсів;
- улаштування енергоефективної світлодіодної системи внутрішнього освітлення цехів;
- впровадження альтернативних джерел енергії для підігріву води на потреби цехів;
- модернізація теплових ввідів та системи опалення з використанням енергозберігаючих технологій;
- улаштування енергоефективних систем внутрішнього та зовнішнього освітлення будівель [1-3].

Перша і основна складова СЕМ – це персонал служби енергоменеджменту. Друга складова – система обліку енергоресурсів та факторів, які впливають на енерго- та ресурсоспоживання. Недосконалість наявних систем обліку не може бути виправданням у не запровадженій системі енергоменеджменту. Для підвищення оперативності аналізу енергоспоживання та відповідних дій службам енергетичного менеджменту потрібні автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКОЕ) [4]. Третя складова – алгоритм прийняття управлінських рішень та дій, для чого створюється пакет документів, що регламентує діяльність енергоменеджменту, та вносяться доповнення в інші чинні установчі документи. Потрібно гармонійно вписати систему енергетичного менеджменту в наявні управлінські структури.

### Висновки

Системний підхід дозволяє оцінити з точки зору ефективності використання енергії у будь-якій виробничій діяльності. Максимальна ефективність може бути досягнута шляхом розгляду підприємства в цілому, а також його взаємопов'язаних процесів або систем. Метою енергетичного менеджменту є мінімізація витрат енергетичної складової собівартості продукції та забезпечення конкурентоспроможності продукції за енергетичними та економічними показниками на внутрішніх та зовнішніх ринках. При цьому застосувавши системний підхід можна отримати максимальний результат в поставлених цілях енергетичного менеджменту, тобто вдосконалити продуктивну якість роботи підприємства, знайти можливості економічної роботи, що суттєво впливає на енергетичний розвиток підприємства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Хохлявин С. А. Стандарт ISO 50001: системный подход к энергоменеджменту / С. А. Хохлявин // ЭнергоАудит. – 2009. – № 3 (11). – С. 39.
2. Денисюк С. П. ISO 50001: цілі стандарту та перспективи його впровадження в Україні / С. П. Денисюк [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C\\_3\\_ISO\\_50001.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_3_ISO_50001.pdf)
3. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник / Ю. І. Бакалін. – Харків: БУРУН і К, 2006. – 320 с.
4. Шулле Ю. А. АСКОЕ як інструмент ефективного енергоменеджменту на підприємствах АПК / Ю. А. Шулле // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 165. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – С. 25-27.

**Ірина Володимирівна Валькова** – студент групи 4Е-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [rentalsira@gmail.com](mailto:rentalsira@gmail.com).

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Irina V. Val'kova** – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rentalsira@gmail.com](mailto:rentalsira@gmail.com).

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

# ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ SCILAB ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Проаналізовано основні особливості додатків для візуального моделювання динамічних систем: Scilab Scicos та Matlab Simulink. Вказано переваги і недоліки кожного з них.*

**Ключові слова:** Scilab, Scicos, Matlab, Simulink, моделювання

## **Abstract**

*The main features of applications for visual simulation of dynamic systems: Scilab Scicos and Matlab Simulink was reviewed. The specified advantages and disadvantages of each.*

**Keywords:** Scilab, Scicos, Matlab, Simulink, modeling

## **Вступ**

Питання вибору програмного середовища для розрахунків і моделювання роботи динамічних систем є одним із основних для електроенергетичних спеціальностей технічних вузів. Особливо актуальним це питання є для дисципліни «Енергозбереження» та «Електрозбереження в промисловості» напряму «Електротехніка та електротехнології», оскільки важко назвати велику кількість типових стендів для проведення лабораторних робіт. Характерними для цих дисциплін є оцінка енергоефективності регулювання електроспоживання різних типів електроприводів, дослідження процесу споживання реактивної потужності вентилями перетворювачами і т.п. Беручи до уваги розвинуту базу обчислювальної техніки та програмного забезпечення очевидно, що моделювання можна виконати у різних програмах. Водночас перед вітчизняними дослідниками – зокрема, перед студентами і викладачами – гостро постає питання використання ліцензійного продукту, що зводиться до високої вартості останнього. Тому актуальним є пошук і аналіз альтернативних ліцензованих програмних продуктів, що перебувають у вільному доступі.

Метою роботи є аналіз ППП Scilab та ППП Matlab для використання у навчальному процесі під час візуального моделювання динамічних систем.

## **Результати дослідження**

Для перерахованих основних задач у навчальному у навчальному процесі як інструмент моделювання динамічних систем використовується програма Simulink – додаток до пакету Matlab, що є продуктом компанії MathWorks.

При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, у відповідності з яким, користувач на екрані із бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою та виконує розрахунки. Бібліотека блоків SimPowerSystems є однією з багатьох додаткових бібліотек Simulink орієнтованих на моделювання конкретних пристроїв. SimPowerSystems містить набір блоків для імітаційного моделювання електротехнічних пристроїв. До складу бібліотеки входять моделі пасивних і активних електротехнічних елементів, джерел енергії, електродвигунів,

трансформаторів, ліній електропередачі і т.п. обладнання. Є також розділ, що містить блоки для моделювання пристроїв силової електроніки, включаючи системи управління для них [1].

Компанія MathWorks представляє широкий спектр ліцензій для індивідуального, академічного та комерційного використання – тому неможливо зазначити точну ціну на продукт.

Розглядаючи пропозиції програмних пакетів для моделювання як альтернативу Matlab Simulink слід сміливо можна протиставити пакет Scilab і його додаток SciCOS.

Пакет Scilab був розроблений у 1994 році у Франції, в Національному дослідному інституті інформатики і автоматизації INRIA і Національній школі ENPC. З 2003 року підтримкою Scilab займається консорціум Scilab Consortium [2].

За своїми можливостями пакет Scilab можна порівняти з відомим математичним пакетом Mathcad, а за інтерфейсом – більше схожий на пакет Matlab [3].

Для використання у якості середовища для візуального моделювання динамічних систем використовується додаток SciCOS – аналог додатку Simulink у ППП Matlab.

Інтерактивне середовище SciCOS (Xcos) дозволяє використовувати бібліотеку блоків для моделювання електросилових, механічних і гідравлічних систем, а також застосовувати модельно-орієнтований підхід при розробці систем управління, засобів цифрового зв'язку і пристроїв реального часу. Додаткові пакети розширення Xcos дозволяють вирішувати весь спектр завдань від розробки концепції моделі до тестування, перевірки, генерації коду і апаратної реалізації [4].

Вільний доступ до використання ППП Scilab надається на умовах Відкритого ліцензійного погодження GNU v2.0.

## Висновки

Розглянуто основні особливості додатків для візуального моделювання динамічних систем пакетів Matlab і Scilab: відповідно SciCOS і Simulink. Обидва додатки представляють перед дослідником широкі та зручні можливості в галузі моделювання. У бібліотеці елементів додатку SciCOS – на відміну від Simulink – відсутні готові моделі двигунів і пристроїв силової перетворювальної техніки. Цей недолік є критичним із точки зору технічних можливостей моделювання. Однак цей додаток представляє потужну базу для рішення багатьох задач, які ставляться перед студентами напряму «Електротехніка та електротехнології». І факт можливості вільного використання ліцензованого продукту у сучасних умовах є одним із вирішальних чинників.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. / И.В Черных – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с., ил
2. Данилов С.Н. SCICOS. Пакет Scilab для моделирования динамических систем. Руководство: учебное пособие для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 210303 – «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» и направления 210400 – «Радиотехника». / С.Н. Данилов – Тамбов: ТГТУ, 2011. – 74 с.
3. 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).
4. Моделирование систем в программной среде Scilab & Xcos 5.5.1. Часть 3 [Электронный ресурс] / Режим доступа до файлу: <https://www.kv.by/content/335330-modelirovanie-sistem-v-programmnoi-srede-scilab-xcos-551-chast-3>

**Лобатиук Юрій Анатолійович** – канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

**Lobatiuk A. Yurii** – candidate of Engineering Sciences, senior lecturer, Department of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУРИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15

### **Анотація.**

*Побудовані математичні моделі надійності систем електропостачання бурильної установки. Визначено вплив технологічних та енергетичних параметрів на надійність і енергоефективність електробурильного обладнання. Обумовлено необхідність розробки організаційних та технічних заходів, спрямованих на покращення функціонування електробурильного обладнання.*

**Ключові слова:** надійність, енергоефективність, електрообладнання, вимірювання, віртуальні прилади, електротехнічний комплекс

### **Abstrakt.**

*The mathematical models of reliability efficiency of power supply systems equipment of drilling The influence of technological and power parameters on reliability and energy efficiency of the electrical drilling equipment has been defined. The requirement of working out of the organizational and technical actions directed on the improvement of the electrical drilling equipment functioning has been caused.*

**Keywords:** reliability, energy efficiency, electric equipment, measurement, virtual devices, electrotechnical complex

### **Вступ**

Проблемою дослідження надійності роботи електробурового обладнання (ЕБО) є відсутність фіксованих вихідних даних про відмови його елементів. Для підвищення ефективності будівництва свердловин на бурових підприємствах Прикарпаття широко використовується електробуріння – прогресивний спосіб спорудження свердловин з використанням забійного електродвигуна унікальної конструкції.

### **Результати досліджень**

Системи електропостачання електротехнічних комплексів нафтогазової промисловості, вже не відповідають значенню встановленої потужності споживачів та неузгоджені за електромагнітною та режимною сумісністю, що обумовлює зростання втрат електроенергії та погіршення її якості. Відсутність систем технічного обліку електроенергії та моніторингу показників її якості часто унеможливує аналіз електроспоживання підрозділами підприємств. Зростання рівня напруги в електромережах понад допустиме значення та неправильний вибір електрообладнання різко знижують ресурс споживачів і підвищують їх енергоспоживання. Регульований електричний привод, яким оснащені бурові установки, обладнаний тиристорними перетворювачами, які спотворюють форму кривої струму у фазних провідниках електромережі. Цей факт збільшує втрати активної електроенергії. Система електропостачання електробура (ЕЛБ) “два проводи-труба” спричинює несиметрію струмів і напруг електродвигуна, внаслідок чого збільшується електроспоживання і зменшується надійність системи в цілому.

Об’єми електробуріння глибоких свердловин найбільші в Долинському районі, який характеризується заляганням твердих порід на глибинах 2...5 км. При цьому спостерігається значна кількість відмов кабельних секцій струмопроводу та наземних підстанцій. Загальний час роботи електробурів на забої монотонно зменшується: Для двигунів електробурів з 4010 до 2730 годин; телеметричних систем з 2930 до 1000 годин; пристроїв контролю ізоляції з 3200 до 22309 годин. Статистичні дані свідчать про зношування електробурового обладнання та збільшення кількості

ремонтів електробурів E240, E164 і кабельних секцій КСТ-1, які є основними елементами струмопроводу.

В результаті аналізу статистичних даних, отриманих на бурових підприємствах Прикарпаття, встановлено, що механізми формування відмов основного електричного обладнання описуються законом Вейбула-Гнеденка, що свідчить про наявність як миттєвих, так і поступових відмов. Під час математичної обробки статистичної інформації її перевіряли на аномальність з використанням критерію Смірнова, далі здійснювалася перевірка на однорідність вибірок за допомогою критеріїв Фішера та Стьюдента, а перевірка гіпотези про закон розподілу здійснювалася за допомогою критеріїв Колмогорова та Пірсона. Щільність розподілу визначається за формулою

$$f_i(t) = \left(\frac{t}{a}\right) \left(\frac{b}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (1)$$

де  $a$  – параметр форми розподілу;  $b$  – параметр масштабу розподілу.

В таблиці 1 приведено параметри закону розподілу.

Як свідчить статистика найбільш пошкоджуваними є такі занурювальні елементи як кабельна секція, пристрій контролю ізоляції, телеметрична система, обмотка статора занурювального двигуна. Середнє напрацювання на відмову кабельних секцій складає близько 150 год., а пристрою контролю ізоляції близько 110 год.

Таблиця 1 – Параметри розподілу Вейбула – Гнеденко і середній час напрацювання на відмову для електробурового обладнання

№	Назва елемента	Параметр $a$	Параметр $b$
1	Знижувальний трансформатор (ТР)	19729.2	1.33
2	Станція керування (СК)	1039.3	1.17
3	Струмоприймач (СПр)	263.5	1.05
4	Пристрій контролю ізоляції (ПКІ)	168.7	1.35
5	Телеметрична система (ТС)	115.0	1.25
6	Електробур (ЕБ)	132.06	1.55
7	Кабельні секції (КС)	151.8	1.72

Як свідчить статистика найбільш пошкоджуваними є такі занурювальні елементи як кабельна секція, пристрій контролю ізоляції, телеметрична система, обмотка статора занурювального двигуна. Середнє напрацювання на відмову кабельних секцій складає близько 150 год., а пристрою контролю ізоляції близько 110 год.

#### **Висновки.**

Для забезпечення більш повного моніторингу енергетичних параметрів системи електроприводу бурового долота, який показав значну нерівномірність навантаження електробура в процесі активного буріння, несиметрію струмів та відсутність вищих гармонік, необхідно здійснити модернізацію розробленої інформаційно-вимірювальної системи енергетичних параметрів електробуріння.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1 Федорів М.Й. Дослідження комплексних показників надійності електрообладнання системи електропостачання електробура / М.Й.Федорів, А.І.Поточний, У.М.Николин, А.В.Чуйко //

Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський науково технічний журнал. № 1(12) – м. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. - 2010. – 80-85 с.

2. Федорів М.Й. Підвищення показників надійності та енергоефективності електрообладнання бурильних установок. [Текст] / Федорів М.Й., Гладь І. В., Галушак І.Д., Бацала Я. В., Михайлів І.М. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2016. - № 3(60). – С 64-70 с.

**Федорів Михайло Йосипович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу, *fedorivm@ukr.net*

**Галушак Іван Дмитрович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу,

**Михайлів Іван Миколайович** – асистент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу,

**Fedoriv Mykhajlo** – Cand. S c. (Eng.), Associate Professor, department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

**Galushchak Ivan** – Cand. S c. (Eng.), Associate Professor, department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

**Mykhajliv Iwan** - assistant department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

# МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РЕГУЛЯТОРІВ СТРУМУ МЕРЕЖЕВИХ ІНВЕРТОРІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Запропоновано вдосконалену модель регулятора поздовжньої складової струму інвертора, яка враховує рівень споживання реактивної потужності з вузла мережі, поточну напругу мережі та напругу сонячного модуля і дозволяє оптимізувати роботу інвертора як зі сторони сонячного модуля, так і з боку мережі за напругою. Запропоновано вдосконалену модель регулятора поперечної складової струму інвертора, яка враховує відношення спожитої активної потужності з вузла мережі до поточної потужності сонячного модуля і дозволяє оптимізувати роботу інвертора за навантаженням та частотою.*

**Ключові слова:** інвертор, управління, сонячний модуль.

## *Abstract*

*Improve the regulator model of longitudinal component of inverter current, which consider the consumption of reactive power from the network node, current network voltage and voltage of the solar module and inverter to optimize work with both sides of the solar module and from the network voltage. Improve the regulator model of transversal component of inverter current, which consider the ratio of active power consumption of network node to the current capacity of solar module and inverter allows to optimize the load and frequency.*

**Keywords:** inverter, control, solar module.

## **Вступ**

Обсяг виробництва тонкоплівкових сонячних модулів значно зріс за останні роки, що в свою чергу обумовлює зростання пропозиції на ринку електроенергії з боку сонячних електростанцій [1]. Для формування вихідної змінної напруги в якості узгоджувальних пристроїв значну популярність здобули багаторівневі мережеві інвертори напруги, що виготовляються серійно [2]. Основною перевагою багаторівневих інверторів перед традиційними однорівневими є покращена форма вихідної напруги, менші втрати в силовій частині, покращена електромагнітна сумісність [3]. Разом з тим недоліками вказаних пристроїв є збільшення кількості силових ключів та відповідного ускладнення системи управління комутацією, а при використанні їх в межах сонячних електростанцій вимагає ще й додаткової адаптації до вимог існуючої електроенергетичної системи.

## **Аналіз попередніх досліджень**

В роботах [3, 4] розглядаються моделі перспективних багаторівневих каскадних інверторів, які застосовуються в якості перетворювальних агрегатів регульованих асинхронних електроприводів. Вказані моделі досліджені для двигунного режиму електроприводу з традиційною для багаторівневих інверторів векторною системою управління, однак в них відсутній аналіз роботи інверторів в генераторному режимі роботи електроприводу, аналіз паралельної роботи на електричну мережу, що підтверджує необхідність проведення досліджень в напрямку синтезу систем управління багаторівневими інверторами, орієнтованими на застосування в сонячних електростанціях.

Запропонований варіант системи управління інвертором в роботі [5] передбачає застосування контролера з високопродуктивним DSP ядром, який комбінує управління вузлом комутації ключів з задачею відслідковування точки максимальної потужності сонячного модуля та струму заряду акумулятора автономної СЕС, однак ефективне управління інвертором сонячної батареї в реальному часі вимагає узгодження ряду незалежних параметрів як з боку сонячного модуля так і з боку електричної мережі (напруга, частота електричної мережі, активна та реактивна потужності). Врахування останніх параметрів в контролері інвертора зручно розв'язує задачу ефективного управління енергетичною системою з точки зору концепції Smart Grid.



## Мета роботи

Розробка моделей регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора сонячної електростанції, який враховує параметри сонячного модуля, мережі та дозволяє оптимізувати роботу силового модуля сонячної електростанції.

## Результати дослідження

Значення напруги на виході фотогальванічних панелей постійно змінюється внаслідок таких факторів як погодні умови, час доби та температура панелей [6]. Стан конденсатора батареї сонячних елементів також змінюється в залежності від того, заряджений він чи розряджений. Важливим фактором з точки зору розробки системи управління інвертором є забезпечення роботи сонячного батареї в районі точки відбору максимальної потужності. Алгоритм пошуку такого режиму роботи повинен передбачати пошук цієї точки в широкому діапазоні напруги для того, щоб уникнути попадання на локальні максимуми, що виникають внаслідок короткочасних змін зовнішнього середовища (наприклад, попадання панелі в тінь невеликої хмари). Особливістю такого інкрементного індукційного алгоритму є те, що пристрій не працюватиме постійно з максимальною продуктивністю, а знаходиться постійно в пошуку такого стану. Зазначений алгоритм в серійних сонячних однорівневих інверторах комбінується з обчисленням похідної потужності сонячного модуля від напруги на вході інвертора, яка прирівнюється до нуля, надаючи в такий спосіб системі керування значення шуканого квазіекстремуму або екстремумів в межах визначеного робочого діапазону напруг.

В сучасних системах векторного керування інверторами, які набули застосування в частотних електроприводах, використовується приведення трифазної системи струмів інвертора до ортогональної  $d$ - $q$ -системи координат. При цьому вихідна напруга на виході інвертора відповідно встановлюється пропорційною до поздовжньої складової струму  $I_d$ , а вихідна потужність забезпечується відповідним значенням поперечної складової  $I_q$ . У випадку узгодження роботи багаторівневого інвертора з мережею для відслідковування точки квазіекстремуму вольт-амперної характеристики (ВАХ) сонячного модуля поздовжня та поперечна складові струму багаторівневого інвертора аналогічно забезпечуватимуть напругу та потужність, яка зі сторони входу інвертора зніматиметься з сонячного модуля, а зі сторони виходу – віддаватиметься в мережу.

Блок обчислення квазіекстремуму БОК в такій системі обчислює координати області точки відбору максимальної потужності та формує сигнали завдання за напругою  $U_r$  та за потужністю  $P_r$  для регуляторів поздовжньої  $I_d$  та відповідно поперечної складової  $I_q$  струму інвертора. Зворотні зв'язки вказаних регуляторів реалізуються шляхом переведення трифазної системи струмів  $I_a$ ,  $I_b$  та  $I_c$  до ортогональної  $I_d$  та  $I_q$ . Перетворення здійснюється відповідно кута електромагнітного навантаження інвертора  $\theta$ , що відповідає куту навантаження електричної машини, яка працює паралельно з мережею.

Автоматичні регулятори напруги (поздовжньої складової струму інвертора  $I_d$ ) та потужності (поздовжньої складової струму інвертора  $I_q$ ) функціонують відповідно до ПІ-закону регулювання.

Контролер скиду КС активується вихідним сигналом  $S_0$  модуля ШІМ з відповідною шпаруватістю у тому випадку, коли сонячний модуль генерує надлишкову потужність, а його слід утримувати в точці відбору максимуму потужності без відхилення вхідної напруги від області допустимих значень. Надлишкова потужність скидається через шунт  $R_{ш}$ , або може використовуватись для підзарядки акумуляторної батареї (за наявності).

Запропонована структура системи управління сонячним інвертором вирішує локальну задачу утримання режиму роботи пари «сонячний модуль – інвертор» в точці квазіекстремуму ВАХ за умови стабілізації вихідних параметрів енергії, яка віддається в мережу – напруги та частоти. На вказані параметри впливає не лише робота сонячного модуля, але й баланс активної та реактивної потужності, яка віддається в мережу та споживається з неї. Тому охоплення запропонованої системи управління відповідними зворотніми зв'язками за відхиленням  $P$  та  $Q$  дозволить збільшити стійкість системи та покращити якість регулювання напруги та частоти електроенергії з СЕС.

Автоматичні регулятори напруги вимагають більшої швидкодії та розробляються за комбінованим принципом, основу якого складає ПД-регулятор з відповідною передавальною функцією [7]. Для системи управління сонячним інвертором можна використати подібний підхід, однак слід враховувати визначене значення оптимальної напруги інвертора  $U_r$ , що відповідає заданій

потужності освітлення в точці квазіекстремуму. Тобто на вимірювальному вході регулятора поздовжньої складової струму інвертора слід сформувати сигнал, що відповідає наступній функції:

$$U_r = \sqrt{\frac{Q_{cn}}{X_{мер}}} - U_{\kappa}, \quad (1)$$

де  $U_{\kappa}$  – напруга, що відповідає заданій потужності освітлення в точці квазіекстремуму. Для збільшення швидкодії в базове рівняння закону регулювання поздовжньої складової струму включено Д-складову [7].

З врахуванням зазначеного система рівнянь регуляторів матиме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} Ird &= k_{pd} \left( k_u \cdot \left( \left( \sqrt{\frac{Q_{cn}}{X_{мер}}} - U_{\kappa} \right) - k_{cu} \cdot U_s \right) - Id \right) + \\ &+ \frac{1}{T_{id}} \int_0^t \left( k_u \cdot \left( \left( \sqrt{\frac{Q_{cn}}{X_{мер}}} - U_{\kappa} \right) - k_{cu} \cdot U_s \right) - Id \right) dt + \\ &+ T_{dd} \cdot d \left( k_u \cdot \left( \left( \sqrt{\frac{Q_{cn}}{X_{мер}}} - U_{\kappa} \right) - k_{cu} \cdot U_s \right) - Id \right) / dt \\ Irg &= k_{pq} \left( k_{pi} \cdot \frac{P_{ocv}}{P_{cn}} - Iq \right) + \frac{1}{T_{iq}} \int_0^t \left( k_{pi} \cdot \frac{P_{ocv}}{P_{cn}} - Iq \right) dt \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $k_{pd}$  та  $k_{pq}$  – коефіцієнти підсилення регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора відповідно;  $T_{id}$  та  $T_{iq}$  – постійні часу інтегрування регуляторів;  $k_u$  – коефіцієнт з розмірністю провідності для приведення напруги в каналі завдання регулятора до відповідного значення струму на вході вимірювального органу регулятора;  $k_{cu}$  – коефіцієнт корекції завдання за напругою на виході інвертора (забезпечує компенсацію відхилення вихідної напруги за рахунок спаду напруги в силовому колі інвертора при зміні навантаження);  $U_{\kappa}$  та  $P_r$  – задані значення напруги та потужності інвертора відповідно, що визначаються, виходячи з утримання режиму сонячного модуля в області квазіекстремуму;  $Ird$  та  $Irg$  – вихідні сигнали регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора,  $T_{dd}$  – стала часу диференціювання каналу регулювання  $Id$ .

Функціональна схема вимірювальних каналів регуляторів матиме вигляд (рис. 1).

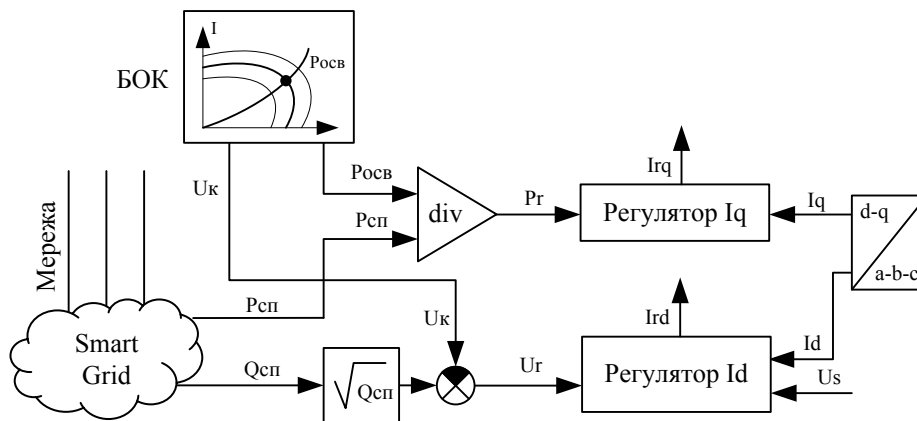


Рисунок 1 – Функціональна схема вимірювальних каналів регуляторів складових струму  $I_d$  та  $I_q$

Як було зазначено, для реалізації системи управління інвертором, що включає в себе задачі комутації силових ключів, проведення обчислень пошуку точки квазіекстремуму, проведення прямих та зворотних.

## Висновки

Запропоновано закон управління багаторівневим сонячним інвертором та розроблено структуру для його реалізації, що поєднує задачі утримання режиму роботи сонячного модуля в точці відбору максимальної потужності та стабілізації напруги і частоти на виході інвертора, що дозволяє збільшити продуктивність сонячного модуля, привести у відповідність баланс згенерованої сонячним модулем та спожитої електричної потужності в режимі реального часу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gaëtan Masson, Sinead Orlandi, Manoël Rekinge. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018. – European Photovoltaic Industry Association. Brussels, Belgium, 2014 – 57 p. – ISBN 9789-0822-2840-3.
2. Corzine K. A. Operation and design of multilevel inverters. – University of Missouri: Rolla, 2005. – 79 p.
3. Волков А. В., Скалько Ю. С. Высоковольтный асинхронный электропривод с трехуровневым автономным инвертором напряжения // А. В. Волков, Ю. С. Скалько -- Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2008 (51). Частина 1. – С. 14-17.
4. Жемеров Г. Г. Моделирование электропривода переменного тока с каскадным многоуровневым инвертором напряжения / Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай, И. Г. Титаренко // Электротехника и Электромеханика. – 2013. – № 2. – С. 40-47.
5. Volodymyr Grabko, Serhiy Levitskiy and other. Mathematical control system of grid-tied multilevel voltage inverter / Przegląd Elektrotechniczny, Poland, R. 92 NR 3/2017 - P.133-140. - ISSN 0033-2097 / SCOPUS
6. Лежнюк П. Д. Оцінювання впливу джерел відновлювальної енергії на забезпечення балансової надійності в електричній мережі / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, Д. С. Собчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 6. – С. 45-47.
7. Овчаренко Н. И. Автоматика энергосистем / Н. И. Овчаренко. – М.: Изд. дом МЭИ. – 2009. – 476 с.

**Сергій Михайлович Левицький** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: levitskiy@vntu.edu.ua.

**Sergey M. Levitsky** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: levitskiy@vntu.edu.ua.

## ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИЧНИХ СИНХРОННИХ КОМПЕНСАТОРІВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглянуто системи керування статичними синхронними компенсаторами СТАТКОМ для компенсації реактивної потужності та симетрування електричних навантажень.*

**Ключові слова:** статичні тиристорні компенсатори, СТАТКОМ, компенсація реактивної потужності, система імпульсно-фазового керування.

### *Abstract*

*The system controls static synchronous compensators STATCOM for reactive power compensation and balancing electrical loads.*

**Keywords:** static thyristor compensation, STATCOM, compensation reactive power, system impulsno-phase control.

### Вступ

Статичні синхронні компенсатори СТАТКОМ і статичні тиристорні компенсатори СТК дуже схожі за функціональними можливостями компенсації реактивної потужності, але основні принципи роботи їх кардинально відрізняються. СТАТКОМ є шунт-підключеним синхронним джерелом напруги, в той час як СТК працює як шунт-підключена регульована реактивна провідність. Ця різниця вирізняє СТАТКОМ в кращій продуктивності, і більшій гнучкості застосування, ніж ті, що досяжні з СТК [1]. Установка СТАТКОМ є менш габаритною ніж СТК в силу відсутності накопичувальних елементів. Це дозволяє раціонально використовувати територію підстанції, особливо в умовах міста.

### Результати досліджень

Структурна схема керування СТАТКОМ (див. рисунок) містить: вимірювальний канал ВК перетворення струмів та напруг, інформаційно-вимірювальний перетворювач ІВП, систему імпульсно-фазового керування СІФК, блок фазової автопідстройки частоти ФАЧ.

Потужність генерування окремих фаз СТАТКОМ, яка забезпечує компенсацію реактивної потужності та симетрування навантажень, можна визначити з формул:

$$\begin{aligned} P_a &= -P_2; \quad Q_a = -kQ_1 - Q_2; \\ P &= \frac{1}{2} P_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} Q_2; \quad Q_b = -kQ_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} P_2 + \frac{1}{2} Q_2; \\ P &= \frac{1}{2} P_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} Q_2; \quad Q_c = -kQ_1 - \frac{\sqrt{3}}{2} P_2 + \frac{1}{2} Q_2, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $-k$  – ступінь компенсації реактивної потужності;  $P_a, P_b, P_c, Q_a, Q_b, Q_c$  – потужність відповідних фаз СТАТКОМ,  $Q_1$  – реактивна потужність прямої послідовності навантаження,  $P_2, Q_2$  – активна і реактивна потужність зворотної послідовності навантаження.

Для визначення напруги окремих фаз СТАТКОМ необхідно розв'язати систему рівнянь відносно  $U_a$  та  $\delta_a$

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{U_A \cdot U_a}{X_f} \sin \delta \\ Q_a &= \frac{U_A \cdot U_a}{X_f} \left( \frac{U_a}{U_A} \cos \delta - 1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $U_A$  – напруга мережі фази А,  $U_a$  – напруга СТАТКОМ,  $X_f$  індуктивний опір реактора СТАТКОМ,  $\delta$  – кут зміщення між напругою мережі та напругою СТАТКОМ.

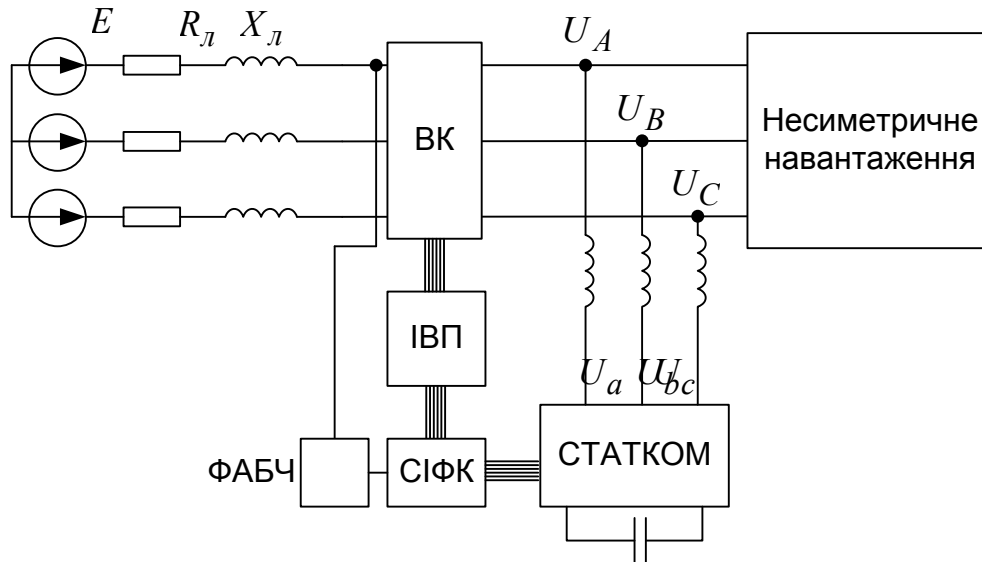


Рис. 1. Структурна схема керування СТАТКОМ

## Висновки

Отримано умови керування СТАТКОМ з використанням прямої та зворотної послідовності. Визначено напруги фаз СТАТКОМ для компенсації реактивної потужності та симетрування навантаження для конкретного випадку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кочкин В. И. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий / В. И. Кочкин, О. П. Нечаев. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 248 с.
2. Hingorani N. G. Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / Hingorani N. G., Gyugyi L. – IEEE Press book, 2000. – 432 p.
3. Mathur R.M. Thyristor-based facts controllers for electrical transmission systems / R.M. Mathur and R.K. Varma. IEEE Press, Piscataway, 2002. – 518 p.
4. Суд В. К. HVDC and FACTS Controllers: Применение статических преобразователей в энергетических системах. Пер. с англ. – М.: НП «НИИА», 2009. 344 с.

**Юрій Васильович Лобода** – аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lobodaeseem@gmail.com.

**Yuriy V. Loboda** – postgraduate student of department of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lobodaeseem@gmail.com.

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ ДЛЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Здійснено порівняльний аналіз засобів для стабілізації напруги в вузлах приєднання промислових споживачів.*

**Ключові слова:** стабілізатор напруги, двофазове регулювання, трифазове регулювання.

### *Abstract*

*A comparative analysis of means for stabilizing the voltage in the nodes of connection of industrial consumers.*

**Keywords:** voltage regulator, two-phase regulation, three-phase regulation.

### **Вступ**

Сучасні системи виробництва електроенергії і її розподілу не завжди забезпечують потрібний рівень надійності. Сьогодні спостерігається зниження напруги від номінального рівня в межах 15% в міських мережах, а в сільських ще більше. Для промислових підприємств незадовільний рівень напруги негативно впливає на ефективність роботи працівників, якість продукції, надійність роботи обладнання. Причинами неякісного електропостачання можуть бути: перевантаженість лінії електропередачі, коротке замикання або удари блискавки, наявність в лінії працюючих промислових і побутових електроприладів з великим імпульсним енергоспоживанням, зварювальні апарати, нагрівачі, електродвигуни, невідповідність навантаження спроектованій електричній мережі та інше.

Метою роботи є проаналізувати і підкреслити найважливіші особливості вибору стабілізаторів напруги для систем електропостачання промислових підприємств.

### **Результати дослідження**

Існує багато варіантів стабілізаторів, які відрізняються потужністю і принципом дії. Серед них варто виділити релейні, сервоприводні, симісторні.

Сервоприводні стабілізатори мережевої напруги (електромеханічного типу) корегують вихідні параметри за допомогою трансформатора та електродвигуна, що дозволяє безперервно і плавно регулювати вихідну напругу без спотворення синусоїдальної форми. Вони є найбільш придатними для побутової мережі. Такі прилади можуть забезпечити високу точність вихідної напруги при низькій собівартості. Їх недоліки – це постійний шум працюючого електродвигуна, що відслідковує коливання напруги на 2-3 В (яке в наших мережах - постійне явище), зношування механічних частин, а також низька швидкість регулювання через інерційність двигуна. Виходячи з цього подібні стабілізатори не рекомендується застосовувати в мережах з різкими стрибками напруги, а бажано в мережах з постійно зниженою, або підвищеною напругою.

Принцип стабілізації симісторних стабілізаторів електричної напруги полягає в автоматичному перемиканні обмоток автотрансформатора за допомогою силових електронних ключів - симісторів. За цим принципом виготовляється велика частина якісних українських стабілізаторів, бо вони довговічні, точні, швидкі, безшумні, але при цьому мають високу вартість. Такі прилади можна охарактеризувати, як одні з найдорожчих стабілізаторів.

Функціонування релейних стабілізаторів подібно до принципу дії симісторних моделей – перемикання додаткових обмоток теж здійснюється за допомогою силових ключів, але в цьому випадку їх роль виконують реле. Релейні стабілізатор – найдешевші, та мають дуже велику швидкість реакції, але при цьому слід відзначити певні проблеми з точністю стабілізації та механічним зносом у зазначених приладів. Якщо врахувати все вищесказане, можна зробити висновок, що стабілізатори напруги релейного типу не підійдуть для захисту обладнання, що вимагає дуже точної стабілізації

(медичне обладнання, телекомунікації і т.д.). Також не рекомендуємо застосовувати їх для стабілізації електроприладів з вбудованими електромоторами - холодильники, кондиціонери, насоси і т.д. (хоча це стосується тільки найдешевших моделей). Їх основна сфера застосування – це домашнє обладнання, яке не вимагає особливо якісної напруги [1].

В [2] запропоновано математичну модель керування трифазною симетрувальною установкою (симетрувальним трансформатором).

Пофазове регулювання коефіцієнтів передачі симетрувального трансформатора для забезпечення умов  $\dot{U}_2 = 0$  та  $\dot{U}_0 = 0$

$$\left(\frac{\underline{K}_2}{\underline{K}_1}\right)_n = -\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} + \frac{\underline{K}_2}{\underline{K}_1}; \quad \left(\frac{\underline{K}_3}{\underline{K}_1}\right)_n = -\frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_1} + \frac{\underline{K}_3}{\underline{K}_1}, \quad (1)$$

де  $\underline{K}_1 = -\frac{1}{3}(k_A + k_B + k_C)$ ;  $\underline{K}_2 = -\frac{1}{3}(k_A + ak_B + a^2k_C)$ ;  $\underline{K}_3 = -\frac{1}{3}(k_A + a^2k_B + ak_C)$  – комплексні коефіцієнти передачі трансформатора із схемою з'єднання обмоток  $\Delta/\Upsilon$  з пофазовим регулюванням

напруги;  $\left(\frac{\underline{K}_2}{\underline{K}_1}\right)_n$ ;  $\left(\frac{\underline{K}_3}{\underline{K}_1}\right)_n$  – параметри пофазового регулювання, які необхідно встановити для

компенсації напруг відповідно зворотної та нульової послідовностей;  $\frac{\underline{K}_2}{\underline{K}_1}$ ;  $\frac{\underline{K}_3}{\underline{K}_1}$  – параметри

пофазового регулювання, які були встановлені на момент вимірювання;  $\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}$ ;  $\frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_1}$  – відношення

комплексних напруг, які необхідно виміряти на стороні низької напруги симетрувального трансформатора.

В результаті аналізу виразу (1) впливає, що ефективність симетрування забезпечується швидкодією і точністю вимірювання симетричних складових напруги, визначенням коефіцієнтів передачі. Для цього широко застосовуються аналогові та цифрові технічні рішення.

### Висновки

Проаналізовано засоби для симетрування напруг електричних мереж промислових підприємств. На основі законів керування симетрувальними установками встановлено, що на якість симетрування впливає швидкодія і точність вимірювання симетричних складових напруги, визначення коефіцієнтів передачі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сучасні проблеми з енергозабезпеченням [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://220volt.com.ua/news/useful/stabilizatori/suchasni-problemi-z-energozabezpechennyam.html> / (дата звернення 21.03.2017). — Назва з екрана.
2. Бурбело М. Й. Квазірівноважені вимірювальні канали для симетрувальних установок. : монографія / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 100 с.

**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);

**Микола Володимирович Радзівський** — студент групи ЕСЕ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет.

**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);

**Radziewsky Mykola V.** — Department of Electric Power Engineering and Electromechanics.

# ОПОСЕРЕДКОВАНИЙ МАГНІТНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано новий опосередкований магнітний метод визначення механічної жорсткості опорних конструкцій електричних машин та структурну схему засобу, що його реалізує.

**Ключові слова:** механічна жорсткість, відносна магнітна проникність, механічна напруженість.

## Abstract

A new method for determining indirect magnetic mechanical stiffness support structures of electrical machines and block diagram of a means of implementing it.

**Keywords:** stiffness, relative permeability, mechanical strength.

Порушення механічної міцності елементів вузлів та опорних конструкцій силових електричних машин є небезпечним явищем, що може призвести до виникнення аварійних ситуацій. Тому контроль параметру механічної міцності цих конструкцій в процесі експлуатації є важливим заходом запобігання виникненню спричинених їх механічним руйнуванням аварій. Про те, існуючі методи в основному не дозволяють здійснювати безпосередні вимірювання параметрів поточної механічної міцності конструкції під час експлуатації обладнання в режимі реального часу, обмежуючись вимірюванням та контролем непрямих технічних параметрів, відхилення яких, у тому числі, може бути пов'язане із зменшенням механічної міцності (віброзміщення, акустична характеристика тощо) [1]. А оскільки зазначені технічні параметри не забезпечують можливість однозначного діагностування зменшення механічної міцності окремо взятих опорних вузлів агрегата [1], то є необхідність у розробці нових методів вимірювання механічної жорсткості обладнання у режимі реального часу його експлуатації.

Цікавим з точки зору вирішення поставленої задачі є використання у якості зовнішньої деформуючої сили незрівноважених механічних зусиль, які виникають під час роботи агрегату, у тому числі і у нормальному режимі експлуатації. Як зазначалося у роботі [2], такі зусилля можуть бути обумовлені різними чинниками та мати значення, яке у межах певного інтервалу може змінюватися випадковим чином.

Як було показано у роботах [3, 4], перспективним методом вимірювання абсолютного віброзміщення є вимірювання абсолютного віброприскорення за допомогою п'єзоелектричних акселерометрів з подальшим аналітичним розрахунком абсолютного віброзміщення за одним із запропонованих у роботах алгоритмом.

Перспективним з точки зору побудови каналу механічної напруженості у феромагнетиках (до яких відносяться і конструктивні елементи силових електричних машин) може бути використання магнітопружного ефекту (ефекту Віллари), що дасть змогу пов'язати механічну напруженість у матеріалі з зміною його миттєвої магнітної проникності.

Відомо, що магнітний момент атома  $M$  внаслідок гіромагнітної аномалії спіна не буде антипаралельним повному механічному моменту. Це явище добре ілюструється на рис.1 де вектор рівнодійного механічного моменту електронної оболонки атома  $P_L$  не знаходиться в одній площині із вектором рівнодійного магнітного моменту електронної оболонки  $M$ , [5].



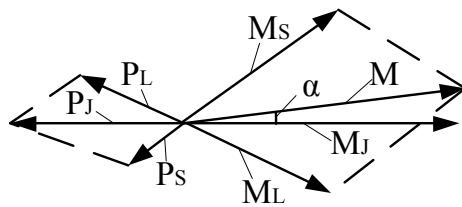


Рис. 1. Додавання магнітних і механічних моментів електронної оболонки атома

Складові  $M_L$  і  $M_S$  магнітного моменту прецесують навкруги напрямку  $P_J$ . При цьому перпендикулярні до  $P_J$  складові моментів у середньому за період обертання дорівнюють нулю, оскільки вони безперервно змінюють свій напрям, і повний магнітний момент  $M_J$  електронної оболонки атома визначається паралельними до  $P_J$  складовими моментів, тобто

$$M_J = M_S \cos(P_S, P_J) + M_L \cos(P_L, P_J). \quad (1)$$

Отже, цілком обґрунтованою виглядає аналітичний вираз залежності відносної зміни магнітної проникності  $\mu$  від механічної напруженості матеріалу, який цілком вписується у гіпотезу, висунуту В. Ю. Ларінім [5]:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{1}{\pi} \lambda_0 \mu_0 G, \quad (2)$$

де  $\lambda_0$  – коефіцієнт магнітострукції матеріалу;  $\mu$  – магнітна проникність матеріалу при відсутності механічних напруженостей;  $\mu_0$  – магнітна стала;  $G$  – поточна механічна напруженість у матеріалі.

Враховуючи сказане, засіб, що реалізує описаний метод, може бути представлений наступним чином (рис. 2)

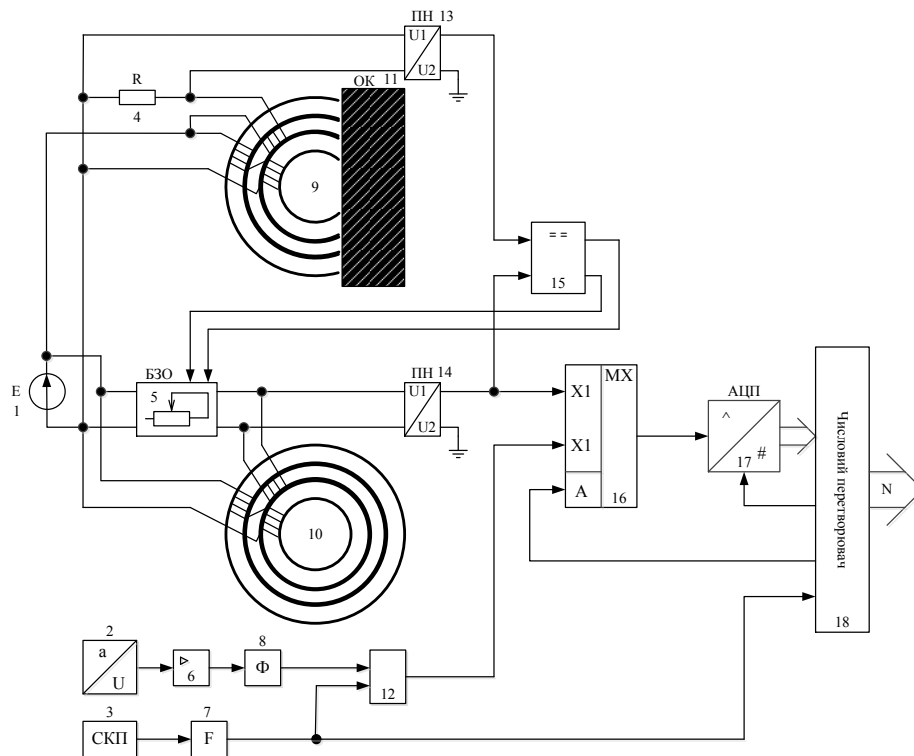


Рис. 2. Структурна схема засобу, що реалізує метод магнітопружного контролю механічної жорсткості

### ВИСНОВКИ

1. Запропоновано новий метод магнітопружного контролю механічної жорсткості, що дозволяє здійснювати контроль механічної міцності в режимі реального часу експлуатації силових електричних машин.

2. Розроблено засіб контролю механічної жорсткості, що реалізує запропонований метод.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. 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
2. Вибрации в технике : справочник. В 6-ти т. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. – Москва, 1981. – 509 с.
3. Кухарчук В. В. Метод аналітичного розрахунку віброшвидкості у режимі розгону гідроагрегату / В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк, Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 2. – С. 66 – 70.
4. Ведміцький Ю. Г. Числове перетворення вібропараметрів гідроагрегата на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк // Метрологія та прилади. – 2015. – № 5. – С. 21 – 27.
5. Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы : учебник для студентов вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики» / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишард. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1986. – 352 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 measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Вдосконалено систему автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата за рахунок використання мікропроцесорної системи керування. Запропоновано метод та засоби попередження виникнення елетромеханічних коливальних процесів у приводі шляхом керування швидкістю обертання черпального колеса*

**Ключові слова:** похилий дифузійний апарат, електричний привод, динамічні властивості.

### *Abstract*

*The automated control system of inclined diffusion unit drive was improved by means of microprocessor sub-system. The prevention methods of eletromechanics oscillating processes by controlling the rotation speed of scoop wheel was represented in this article.*

**Keywords:** inclined diffusion unit, electric drive, dynamic properties.

### **Вступ**

В цукровій промисловості знайшли широке застосування дифузійні апарати похилого типу, які використовуються для екстракції соку з бурякової стружки і є однією з основних ланок безперервного виробництва [1]. Похилий дифузійний апарат (ПДА) являє собою транспортуючі шнековали, охопленні коритоподібним корпусом. Бурякова стружка з бурякорізок завантажується в ПДА у його нижній частині та переміщуються вгору шнековалами. У верхній частині відбувається вивантаження позбавленої цукру стружки за допомогою черпального колеса.

ПДА приводиться в рух двома двигунами, що обертають шнековали з різних їх кінців, між якими виникає значний пружний зв'язок, що суттєво впливає на динамічні властивості привода [2,3]. Здебільшого використовується привод постійного струму, в якому однаковість динамічних моментів двигунів забезпечується послідовним ввімкненням їх роторних обмоток та живлення від одного тиристорного перетворювача.

При роботі ПДА характерними є режими роботи нерівномірного завантаження шнековалів, в якому верхній двигун виявляється більш завантаженим, ніж нижній, що разом з наявністю пружного зв'язку між двигунами є передумовою виникнення коливальних процесів у приводі, які призводять до відмов у його роботі. Тому значної актуальності набуває задача створення такої системи керування приводом, яка б покращила його динамічні властивості та забезпечила його надійну роботу.

Крім того, останнім часом 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. Ці намагання зустрічаються зі значними труднощами, пов'язаних із необхідністю забезпечення синхронного обертання двох двигунів при виникненні режиму їх нерівномірного завантаження.

Метою даного дослідження є розробка узагальненої системи автоматизованого керування приводом ПДА, як електромеханічного комплексу, яка б враховувала його технологічні особливості та забезпечувала його надійну роботу.

### **Результати дослідження**

На рисунку 1 зображено структурну схему систему автоматизованого приводу ПДА. Регулювання швидкості обертання виконується в ручному режимі оператором дифузійного апарата, який при

виборі режиму керується різного роду технологічними показниками (планові завдання, параметри бурякової стружки, температури та рівні в різних відділах ПДА тощо), експлуатаційними показниками приводу (напруга, струм) та власним досвідом. Мікропроцесорна система керування забезпечує її стабільний рівень в автоматичному режимі.

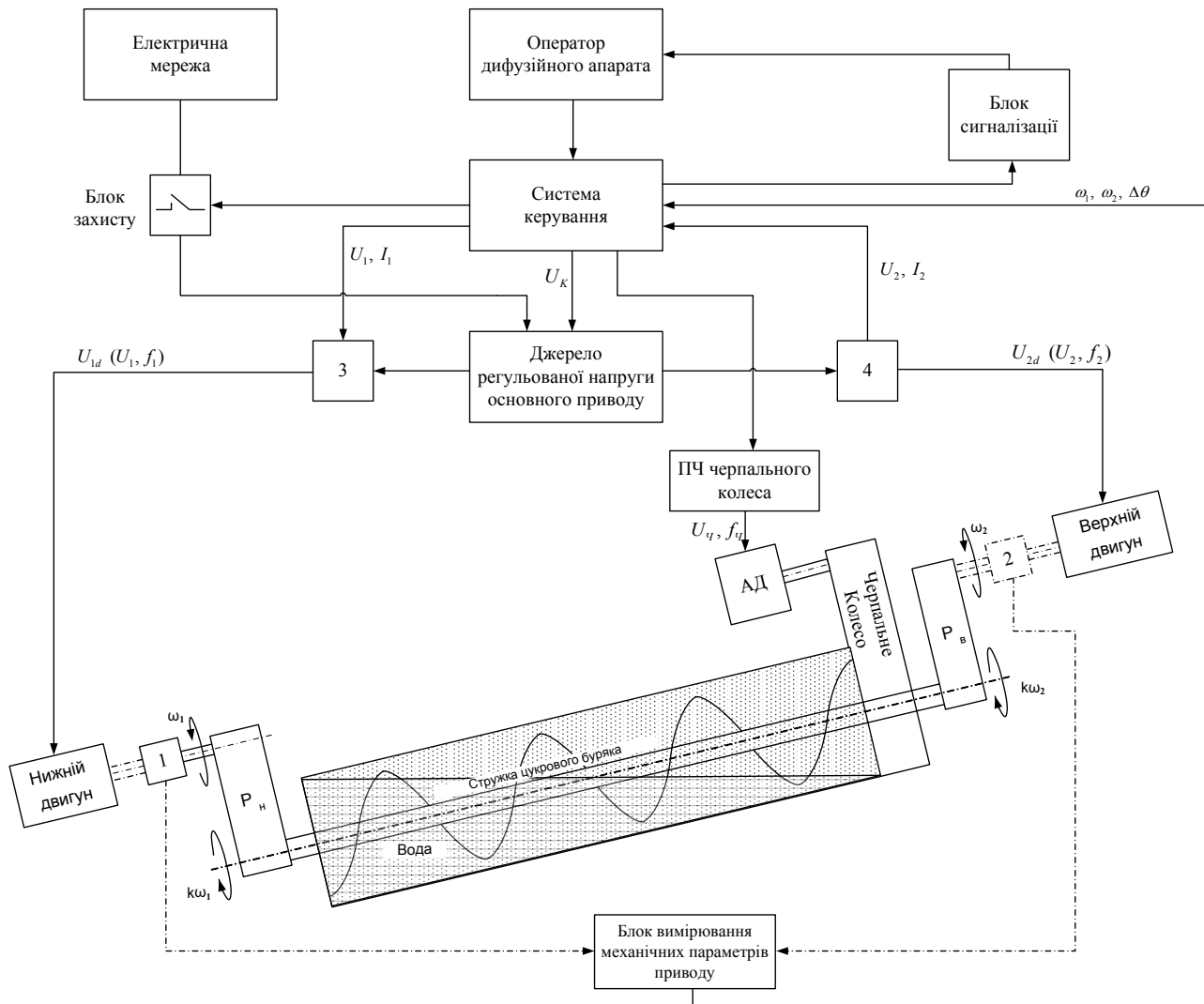


Рис. 1 Структурна схема системи автоматизованого керування

В роботі [3] було визначено значний вплив на динамічні властивості системи приводу ПДА нерівномірного завантаження шнековалів, особливо в режимах роботи близьких до номінальних. В таких режимах за певних обставин можливими є виникнення коливальних процесів, що характеризуються змінними швидкостями двигунів, а також напруг їх роторних обмоток. Тому з метою виявлення коливальних режимів на початкових етапах система автоматизованого керування доповнена блоком вимірювання механічних параметрів приводу, серед яких швидкості обертання нижнього  $\omega_1$  та верхнього  $\omega_2$  двигунів та відносний кут закручування валів двигунів  $\Delta\theta$ . Безконтактні сенсори обертання нижнього – 1 та верхнього – 2 двигунів встановлені на муфтових з'єднання валу двигунів з первинним валом редукторів  $P_n$  та  $P_v$  відповідно. Також система має сенсори напруги та струму нижнього – 3 та верхнього – 4 двигунів.

З метою зменшення нерівномірності завантаження шнековалів дифузійного апарата в критичних режимах швидкість обертання черпальне колесо приводиться в рух частотно-регульованим приводом, а його швидкість обертання визначає система керування за складною емпіричною

залежністю, як функція декількох змінних, зокрема швидкість обертання основного приводу, середнє значення відносного кута закручування валів двигунів.

Система керування також має блок захисту, який зупиняє ПДА за перевищення певних значень контрольованих величин та блок сигналізації оператору про наближення певних показників до критичних значень.

Розроблену структурну схему можна вважати узагальненою для електромеханічного комплексу приводу ПДА як постійного струму, так і частотно-регульованого асинхронного. Різниця полягає лише в джерелі регульованої напруги основного приводу (Керований випрямляч / Перетворювачі частоти) та способі синхронізації обертання двигунів.

### Висновки

В роботі розроблено узагальнену структурну схему системи автоматизованого керування приводом ПДА, яка за рахунок моніторингу механічних та електричних параметрів має змогу виявляти на початкових етапах передаварійні режими роботи, а також за рахунок встановлення частотно-регульованого приводу черпального колеса забезпечує можливість їх попередження. Система керування та захисту в пропонованій структурі може бути використана для діагностики можливих дефектів та їх усунення.

### 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 приводу 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 приводу похилого дифузійного апарата / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2013. – №2. – С. 86 – 93.

*Андрій Миколайович Коваль – асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний університет, м. Вінниця*

*Koval Andriy M.— Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia*

# РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ З СИНУСОЇДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ НАПРУГИ

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

## Анотація

Запропоновано приклад розрахунку перехідного процесу високого порядку з несинусоїдними джерелами напруги операторним методом з використанням потужного математичного пакету Wolfram™ Mathematica.

**Ключові слова:** перехідні процеси, операторний метод розрахунку, включення СЕС в мережу, Mathematica.

## Abstract

An example of high order transient analysis with the non-sinusoidal voltage sources using the operator method and the powerful mathematical software Wolfram™ Mathematica.

**Keywords:** the transitional process, operator method, the inclusion of solar station, Mathematica.

## Вступ

З дисципліни ТОЕ відомо, що будь-яка комутація (включення або відключення) якого-небудь елементу мережі (трансформатора, електродвигуна, конденсаторної батареї, повітряній або кабельній лінії і так далі) викликає перехідний процес. Перехід мережі від режиму до комутації до режиму після комутації супроводжується змінами струмів в елементах і напруги на них. Як правило, цей перехід має вид затухаючих коливань, в процесі яких напруги та струми в устаткуванні мережі можуть досягати величин значно більших, за номінальні. Визначення законів зміни цих напруг та струмів в перехідних режимах є актуальною науково-прикладною задачею.

Метою даного дослідження є розрахунок перехідних процесів в електричних колах з відносно великою кількістю віток, що містять реактивні елементи. Особливістю даного дослідження є те, що системи рівнянь таких перехідних процесів мають високий порядок, також певної нетривіальності додає наявність синусоїдних джерел напруги.

## Результати дослідження

Поставлена задача розрахувати перехідний струм у первинній обмотці трансформатора напруги, що позначений на заступній схемі мережі (рисунок 1.) як  $I_2$ , при включенні на паралельну роботу з енергосистемою сонячної електростанції.

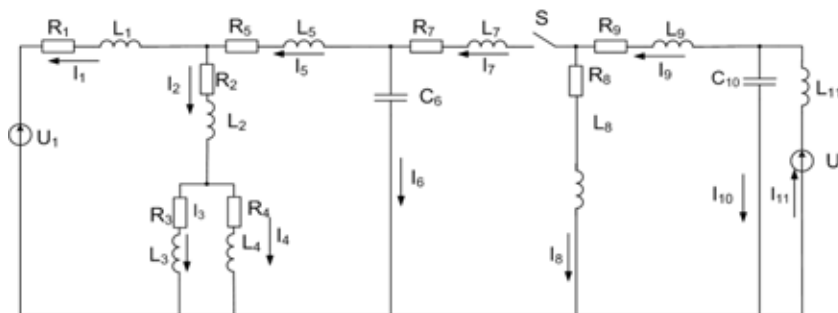


Рисунок 1. – Заступна схема мережі.

Зважаючи на складність схеми та, відповідно високий порядок системи рівнянь для розрахунку перехідного процесу, доцільним буде використання операторного методу розрахунку, що в свою чергу потребує складання операторної схеми заміщення, зображеної на рисунку 2.

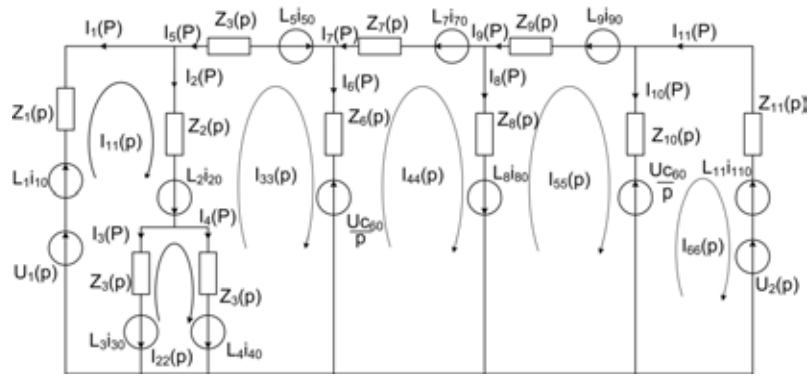


Рисунок 2 – Розрахункова схема в операторній формі.

Дана схема складена з урахуванням незалежних початкових умов (струмів в індуктивностях та напруг на ємностях, які розраховуються з усталеного режиму роботи схеми до комутації, виконаного символічним методом.

Джерела синусоїдної напруги для подальшого розрахунку замінюються їх операторними зображеннями, за допомогою прямого перетворення Лапласа:

$$u(s) = L[u(t)] = u_m \sin(\omega \cdot t). \quad (1)$$

Система рівнянь в операторній формі для розрахунку даного перехідного процесу методом контурних струмів матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} I_{11} \cdot ((L_1 \cdot s + R_1) + (L_2 \cdot s + R_2) + (L_3 \cdot s + R_3)) - I_{22} \cdot (L_3 \cdot s + R_3) - I_{33} \cdot (L_2 \cdot s + R_2) = \\ = U_1 + L_1 \cdot I_{10} + L_2 \cdot I_{20} + L_3 \cdot I_{30} \\ I_{22} \cdot ((L_3 \cdot s + R_3) + (L_4 \cdot s + R_4)) - I_{11} \cdot (L_3 \cdot s + R_3) - I_{33} \cdot (L_4 \cdot s + R_4) = L_4 \cdot I_{40} - L_3 \cdot I_{30} \\ I_{33} \cdot ((L_2 \cdot s + R_2) + (1/(C_6 \cdot s)) + (L_4 \cdot s + R_4) + (L_5 \cdot s + R_5)) - I_{11} \cdot (L_2 \cdot s + R_2) - \\ - I_{22} \cdot (L_4 \cdot s + R_4) - I_{44} \cdot (1/(C_6 \cdot s)) = -L_4 \cdot I_{40} - L_2 \cdot I_{20} + L_5 \cdot I_{50} - (U_{C6}/s) \\ I_{44} \cdot ((1/(C_6 \cdot s)) + (L_7 \cdot s + R_7) + (L_8 \cdot s + R_8)) - I_{33} \cdot (1/(C_6 \cdot s)) - I_{44} \cdot (L_8 \cdot s + R_8) = \\ = (U_{C6}/s) - L_7 \cdot I_{70} + L_8 \cdot I_{80} \\ I_{55} \cdot ((L_8 \cdot s + R_8) + (L_9 \cdot s + R_9) + (1/(C_{10} \cdot s))) - I_{44} \cdot (L_8 \cdot s + R_8) - I_{66} \cdot (1/(C_{10} \cdot s)) = \\ = -(U_{C10}/s) - L_8 \cdot I_{80} - L_9 \cdot I_{90} \\ I_{66} \cdot ((1/(C_{10} \cdot s)) + (L_{11} \cdot s)) - I_{55} \cdot (1/(C_{10} \cdot s)) = (U_{C10}/s) - L_{11} \cdot I_{110} - U_2 \end{cases} \quad (2)$$

Для обчислення даної системи в силу її складності, будемо використовувати систему комп'ютерної математики Wolfram™ Mathematica.

Оскільки для розрахунку даної схеми використовується метод контурних струмів, то шуканий струм потрібно виразити після розрахунку, через знайдені контурні струми:

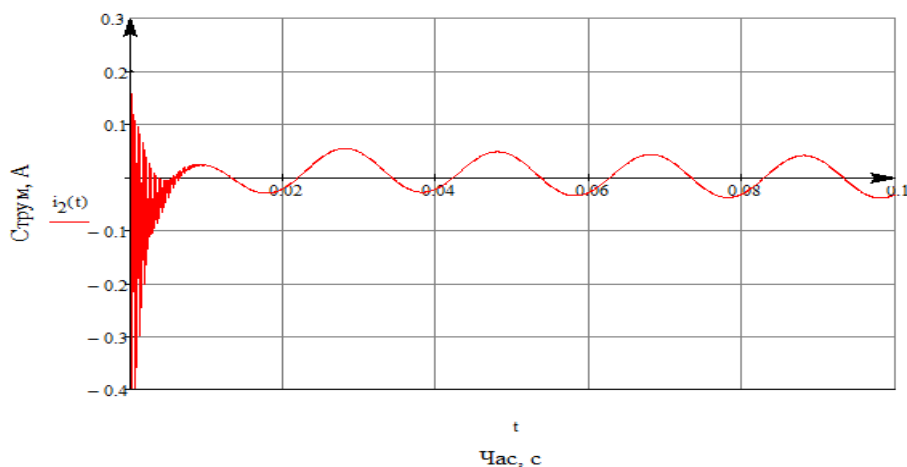
$$I_2(s) = I_{11}(s) - I_{33}(s). \quad (3)$$

В силу значної об'ємності результат даного виразу не приводиться.

Наступним кроком буде запис шуканого струму, як функції часу, за допомогою зворотного перетворення Лапласа з урахуванням числових значень параметрів кола:

$$\begin{aligned} i(t) = L^{-1}[I_2(s)] = & -239,213 \cdot e^{-20634 \cdot t} + 239,213 \cdot e^{-20633,9 \cdot t} - 6,82362 \cdot e^{-11229,8 \cdot t} - \\ & -7,16698 \cdot e^{-11228,5 \cdot t} - 4,50157 \cdot e^{-78,2618 \cdot t} + 3,90903 \cdot e^{-78,488 \cdot t} + 0,4989 \cdot e^{-65,32 \cdot t} + \\ & + 0,04 \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t - 55,845^\circ) + e^{-632,223 \cdot t} \cdot 0,237 \cdot 2 \cdot \sin(3,18309 \cdot 10^6 \cdot t - 90,136^\circ) \end{aligned} \quad (4)$$

Як бачимо, знайдений струм має примусову складову – синусоїдну функцію з частотою мережі живлення. Вільна складова містить аперіодичні експоненціальні та періодичну затухаючу функції. Для наочного представлення результатів розрахунку побудуємо графік перехідного процесу:



### Висновки

В ході роботи був розрахований перехідний процес високого порядку з синусоїдними джерелами напруги.

Позитивних результатів було досягнуто з допомогою систем комп'ютерної алгебри Wolfram™ Mathematica; вона дозволяє виконувати складні математичні розрахунки відносно просто. Це дало можливість розв'язати надскладну систему рівнянь

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців. Теоретичні основи електротехніки. Підручник. ВНТУ, Вінниця, 2011.
2. Cliff Hastings, Kelvin Mischo, Michael Morrison. Hands-On Start to Wolfram Mathematica: And Programming with the Wolfram Language. Wolfram Media, Incorporated, 2015. 470.
3. Гунько І.О. Оптимальне керування режимами електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії з використанням Smart Grid технологій : дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук. : 05.14.02 : захищена 17.03.17 / Гунько Ірина Олександрівна; М-во освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2017. – 177 с.

**Тетяна Вікторівна Савенчук** — студент групи ІЕ-146 факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Андрій Миколайович Коваль** — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Науковий консультант: **Гунько Ірина Олександрівна** — асистент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Tetiana Savenchuk V.** — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisors: **Koval Andrii M.** — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Science consultant: **Hunko Irina O.** — assistant, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



# АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО СЕНСОРА ВІБРАЦІЙ

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

## **Анотація**

*Запропоновано варіант реалізації сенсора вібрацій з цифровою обробкою сигналу, на базі прецизійного дво-осьового акселерометра, мікроконтролера та пристроїв організації зв'язку. Сенсор розроблено з метою використання в системі моніторингу вібраційного стану гідроагрегатів Дністровської ГЕС-2.*

**Ключові слова:** вібросенсор, вібромоніторинг, акселерометр, цифрова обробка вібросигналу.

## **Abstract**

*The variant of realization of the digital vibration sensor was represented in this article. The sensor is based on double-axis accelerometer, microcontroller's main unit and interface units. The vibration sensor is developed for usage in system of vibration monitoring of hydro generators on Dniester hydro power plant – 2.*

**Keywords:** vibration sensor, vibration monitoring, accelerometer, digital processing of vibration signal.

## **Вступ**

Для надійної експлуатації обладнання гідроелектростанцій потрібен постійний контроль і діагностика загального стану гідрогенераторів і допоміжних механізмів. При цьому важливими для аналізу є параметри періодичного механічного руху-вібрації. Характер і масштаби зміни вібрації в часі містять великий обсяг важливої інформації, використання якої дозволяє діагностувати технічний стан обладнання і своєчасно усувати численні дефекти. Один з основних методів контролю вібраційного стану і діагностики пошкоджень обладнання заснований на аналізі сигналів сенсорів вібрації, що встановлюються на корпусі гідрогенератора. Цей метод має високий рівень чутливості до зміни технічного стану гідрогенератора і є ефективним для забезпечення його нормальної роботи. Достовірність вимірювань багато в чому визначаються типом і параметрами сенсорів, в якості яких широко використовуються п'єзоелектричні акселерометри [1].

Метою роботи є розробка високоточного сенсора вібрацій з цифровою обробкою і аналізом сигналу та високими інтеграційними показниками.

## **Результати дослідження**

Упродовж дослідження, було виявлено, що для забезпечення задовільних результатів вимірювання цифровий сенсор має містити наступні основні вузли: двовісний інтегральний акселерометр, канали підсилення для осей X і Y, АЦП, мікроконтролер, а також елементи для організації каналу зв'язку і каналу синхронізації. Канали посилення по осях X і Y побудовані за схемою вимірювального підсилювача. Для каналу X вимірювальний підсилювач складається з вхідного диференційного каскаду на операційному підсилювачі. Коефіцієнт посилення вхідного каскаду ( $K = 1$  або  $10$ ) задається програмно. В якості вихідного каскаду використовується інтегральний вимірювальний підсилювач, коефіцієнт якого програмно можна змінювати від 1 до 128. На виході підсилювача включений фільтр нижніх частот 4-го порядку на операційному підсилювачі. Аналогічно побудований канал підсилення по осі Y з використанням таких же елементів. Крім того, для зміни коефіцієнта підсилення вхідних каскадів і проведення тесту чи калібрування акселерометра передбачено окремий режим роботи. Для живлення вимірювальної частини цифрового сенсора використовується джерело опорної напруги, виконане на прецизійному контролері живлення.

Функціональна схема даного сенсора зображена на рис. 1.

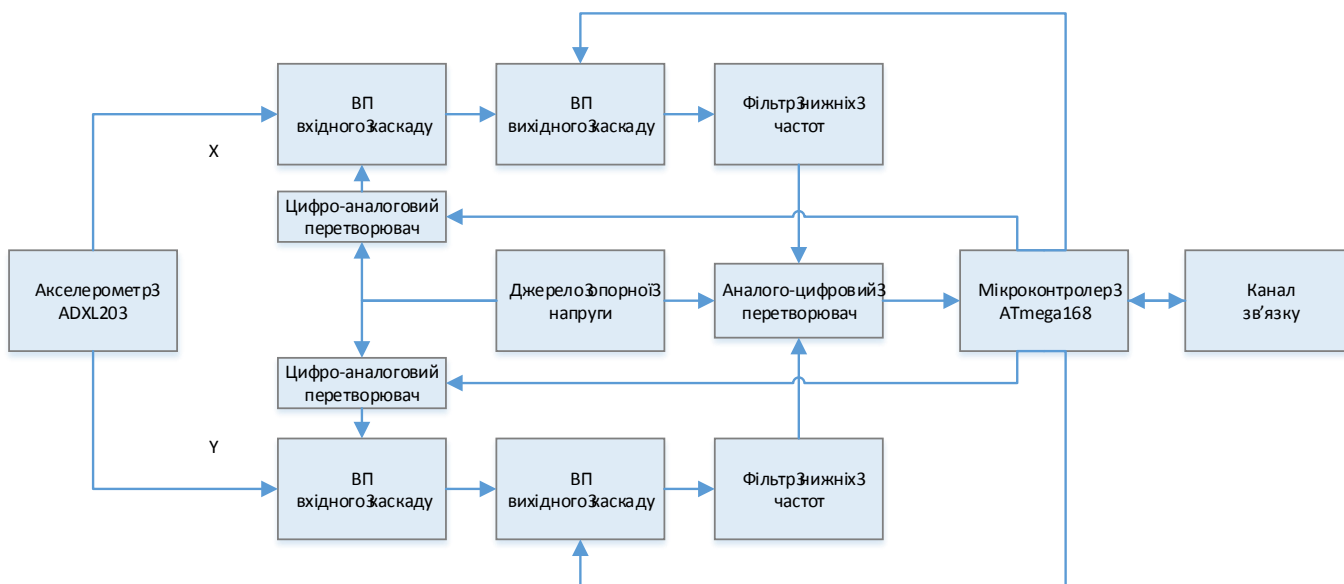


Рис. 1. Функціональна схема цифрового сенсора.

## Висновки

За результатами дослідження виявлено, що даний підхід до побудови сенсора вібрації на базі інтегрального акселерометра дозволяє отримати ряд властивостей, які покращають технічні та експлуатаційні характеристики сенсора.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации/Ф. В. Барков, Р. А. Баркова, А. Ю. Азовцев,-Л.:ВАСТ,1997.-170с.
2. Acceleration Sensor AS – 073. Datasheet. Brüel & Kjær Vibro GmbH,2009.
3. Accelerometr ADXL322. Datasheet. Analog Devices,2005.

**Володимир Сергійович Голодюк** — студент групи 2Е-146 факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vgolodyk@gmail.com;

Наукові керівники: **В'ячеслав Губейович Мадьяров** — к-т техн. наук, професор кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

**Володимир Якович Ніколаєв** — провідний інженер, начальник відділу розробок електронного обладнання, ТОВ «Подільський енергоконсалтинг», м. Вінниця.

**Holodiuk Volodymyr S.** — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vgolodyk@gmail.com

Supervisors: **Madiarov Viacheslav G.** — philosophy doctor, professor, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Nikolaev Volodymyr Y.** — senior engineer, department of electronic engineering, Podilskyi Enerhokonsaltnyh, Vinnytsia.

# БЕЗКОНТАКТНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ МІКРОСХЕМ MELEXIS™ MLX90129 ПРИ ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

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

## Анотація

Запропоновано метод підвищення точності визначення температури полюсних обмоток гідрогенераторів, за допомогою RFID-сенсора на базі MLX90129, шляхом забезпечення мікросхеми живленням і відповідно перетворенням мітки з пасивної в активну.

**Ключові слова:** вимірювання температури, радіочастотна ідентифікація, температура обмоток.

## Abstract

The method for improving the temperature measure accuracy, using MLX90129 based RFID sensor was represented in this article. The measure accuracy is improving by transforming the passive tag into active, using the non-contact power supply.

**Keywords:** temperature measuring, radio frequency identification, winding temperature.

## Вступ

При вимірюванні температури обмоток одним із найважливіших параметрів є точність вимірювання, оскільки тільки при певній точності можна забезпечити адекватні результати вимірювання, що дасть змогу правильно налаштувати пороги спрацювання температурного захисту та прогнозувати майбутній температурний стан електричної машини.

Метою роботи є розробка пристрою бездротового живлення RFID-сенсора, на базі мікросхеми MELEXIS™ MLX90129, для вимірювання температури обмоток електричних машин.

## Результати дослідження

Запропоновано використовувати в колі бездротового живлення мікросхеми, не конденсатор, як рекомендує завод-виробник [1], а іоністор, в якому при тих же масогабаритних показниках накопичується значно більша енергія. Параметри іоністора мають бути оптимально розраховані між малими розмірами, щоб не нагромаджувати конструкцію сенсора, що встановлюється на обмотку і ємністю, якої буде достатньо, щоб забезпечити мікросхему, при максимальному споживанні струму, номінальним живленням, на весь період часу, упродовж якого проводиться вимірювання, аналого-цифрове перетворення та передача даних до приймача.

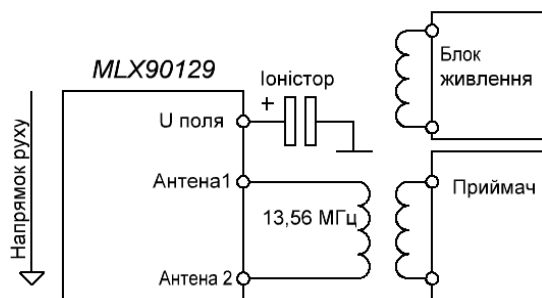


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Активувати та підзаряджати мітку пропонується по вже існуючому каналу радіочастотної ідентифікації.

Зважаючи на той факт, що іоністор, який пропонується використовувати як джерело живлення, являє собою ємність, то має місце перехідний процес під час його заряду, з відповідною сталою часу. Для того, щоб виключити можливість недозаряду ємності, пропонується послідовно, по шляху слідування мітки, встановлювати кілька джерел підживлення, перше з яких буде передавати сигнал активації вимірювання. У такому випадку, мітка буде підходити до зчитувача з вимірними, перетвореними в цифровий код і вже готовими до відправки значеннями температури обмотки.

Суттєвим покращенням при використанні даного методу стане те, що мікросхема буде живитись номінальною напругою, а не зниженою, як у випадку пасивної мітки, а це в свою чергу вдвічі збільшить швидкість вимірювання та передачі даних.

.....

### Висновки

Отже запропонований метод дозволить в кілька раз підвищити точність визначення температури полюсних обмоток електричних машин. За рахунок підвищеної напруги живлення можна збільшити швидкодію, а отже використати більше розрядів АЦП, що і приведе до якісно вищого рівня вимірювань.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. MELEXIS™. — MLX90129 Datasheet, 2012. — 60 с.

*Ігор Костянтинович Говор* — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

*Леонід Андрійович Байда* — інженер, кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

*Володимир Сергійович Голодюк* — студент групи 2Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

*Govor Igor K.* — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

*Baida Leonid A.* — engineer, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

*Holodiuk Volodymyr S.* — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vgolodyk@gmail.com

# ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСХЕМИ MELEXIS™ MLX90129 ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

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

## **Анотація**

*Запропоновано метод визначення температури полюсних обмоток гідрогенераторів безпосередньо контактом сенсора і обмотки з подальшою передачею вимірних даних за допомогою RFID технології до пристрою зчитування та обробки вимірювальної інформації.*

**Ключові слова:** вимірювання температури, радіочастотна ідентифікація, температура обмоток.

## **Abstract**

*The method for measuring the temperature of pole windings of hydrogenerators was represented in this article. It uses direct contact between the winding and sensor and transmission of the measured data using RFID technology to the reader and processing of measurement data.*

**Keywords:** temperature measuring, radio frequency identification, winding temperature.

## **Вступ**

Відомим [1] сьогодні є той факт, що вимірювання температури обертових частин, як полюсних обмоток електричних машин, зокрема низько обертових гідрогенераторів займає важливе місце в ніші моніторингу та прогнозування стану машини, оскільки вона безпосередньо пов'язана з енергетичними процесами, що протікають у ній і багато в чому визначає її подальші режими роботи.

Метою роботи є розробка сенсору температури який не порушував би режим роботи машини (своім встановленням) та в силу постійного обертового руху машини, не мав би безпосередніх електричних зв'язків з пристроєм прийому та обробки вимірювальної інформації.

## **Результати дослідження**

Бездротовий сенсор для вимірювання температури обмоток електричних машин, повинен відповідати певним вимогам точності та швидкодії, що залежать від конкретного його призначення. Основною його перевагою має бути відсутність будь яких електричних зв'язків між сенсором та реєстратором, що вкрай важливо в обертових механізмах.

Після аналізу сучасного ринку електронних систем, можемо сказати, що для поставлених цілей добре підійде мікросхема MLX90129 фірми MELEXIS™, оскільки вона має низку переваг серед подібних конструкцій. До них можна віднести низьке споживання енергії та високу інтегрованість [2]. Дана ІМС є реєстратором вимірювальної інформації, аналого-цифровим перетворювачем, а також міткою-сенсором, що працює за бездротовою технологією RFID - 13,56 МГц [2]. Важливою особливістю є те, що при використанні лише зовнішньої антени і одного конденсатора мікросхема перетворюється RFID мітку-термометр [2].

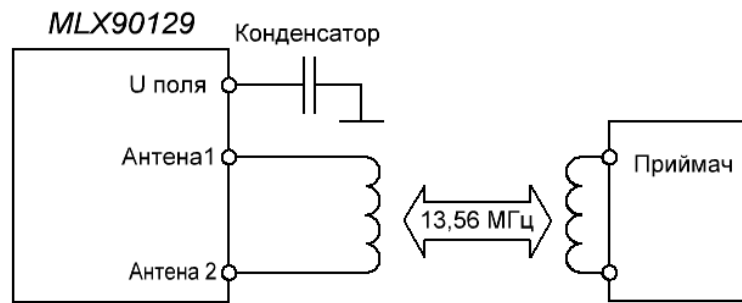


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Використовуючи дану особливість мікросхеми, можемо побудувати температурний сенсор, що матиме мінімальні розміри і не потребуватиме додаткового живлення. Таким чином потрібно лише доповнити систему приймачем, працюючим на частоті 13,56 МГц, що буде збирати дані з таких однотипних сенснів, розміщених на полюсних обмотках електричної машини. Приймач необхідно виконати таким чином, щоб його антена повторювала траєкторію проходження мітки-сенсора в околі полюса машини, що збільшить час передачі даних, а це в свою чергу, підвищить надійність спрацювання системи.

Пропонована реалізація температурного сенсора дозволить проводити вимірювання температури обмоток явнополюсних, низько обертових електричних машин, зокрема гідроагрегатів, з частотою обертання, що забезпечить надійне спрацювання і передачу даних приймачу, за час, упродовж якого мітка проходить зону впевненого прийому антени.

### Висновки

Отже параметри запропонованого сенсора температури повністю відповідають поставленим вище цілям, крім того, така його реалізація має низку переваг, у порівнянні зі схожими сенсорами, до яких також можна віднести можливість розширення функціоналу додатковими датчиками [2].

Даний сенсор може бути рекомендований для вимірювання температури полюсних обмоток горизонтальних гідроагрегатів, оскільки їх частоти обертання забезпечать чітке спрацювання сенсора і надійну передачу даних до приймача.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В. В., Качив С. Ш., Мадьяров В. Г., Усов В. В., Ведміцький Ю. Г., Ніколаєв В. Я., Биковський С. О. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів. Монографія. ВНТУ, 2014
2. MELEXIS™. — MLX90129 Datasheet, 2012. — 60 с.
3. ISO15693

**Ігор Костянтинович Говор** — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Леонід Андрійович Байда** — інженер, кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Володимир Сергійович Голодюк** — студент групи 2Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Govor Igor K.** — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Baida Leonid A.** — engineer, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Holodiuk Volodymyr S.** — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vgolodyk@gmail.com

## ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ НА ЗАТИСКАЧАХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15

### **Анотація.**

*Показано методику і результати експериментальних досліджень енергетичних параметрів електробура. Запропоновано спосіб контролю напруги на його затискачах.*

**Ключові слова:** електрообладнання, вимірювання, віртуальні прилади, електротехнічний комплекс.

### **Abstrakt.**

*The method and results of experimental researches of power parameters of an electrical drill are shown. The way of the control of voltage on his clips is offered.*

**Key words:** electric equipment, measurement, virtual devices, electrotechnical complex.

### **Вступ**

Негативні факторами, які впливають на роботу електротехнічних комплексів та зменшують їх ресурс роботи є відхилення напруги та несиметрія струмів. В нафтогазових комплексах Прикарпатського регіону застосовують електробури, відповідно актуальною задачею є забезпечення їх високої експлуатаційної надійності та ефективності. Ефективна робота електробура можлива при забезпеченні на затискачах занурювальних електродвигунів (ЗЕД) симетричної номінальної напруги при зміні моменту опору на його валі в діапазоні від нуля до критичного значення. Це досягається шляхом пофазного регулювання напруги на початку СПС при вимірюванні напруги на затискачах ЗЕД непрямим методом [1].

### **Результати досліджень**

Необхідність регулювання напруги живлення електробура при бурінні глибоких свердловин зумовлюють втрати напруги, які відповідно призводять до зменшення напруги на затискачах ЗЕД. При бурінні глибоких свердловин суттєво зменшується його перевантажувальна здатність.

Для підвищення достовірності контролю напруги на затискачах ЗЕД необхідно знати залежність величини електричного опору жил кабелю та КБТ від сили струму. Конструкція СПС не є однаковою при бурінні на різних глибинах і залежить від компоновки колони кабельних труб (КБТ), змінюється сумарна довжина КБТ, кількість обважнених бурильних труб, тощо. Внаслідок впливу факторів (знос контактної поверхні замків бурильних труб та кабельних муфт, її забрудненість, величина моменту закручування КБТ), індивідуальних для кожного роз'ємного з'єднання системи підведення струму (СПС) опір контактів СПС дещо змінюється при кожному скручуванні КБТ.

Відомий експериментальний метод визначення електричних опорів фаз СПС [2] має ряд недоліків:

- нехтування нестабільністю опору контактів роз'ємних з'єднань СПС;
- необхідність підтримання в СПС трифазної симетричної системи струмів, яка відповідає різному навантаженню ЗЕД;
- необхідність опускання закоротки у вибій, що спричинює додаткові затрати часу і електроенергії.

За допомогою експериментального методу визначення електричних опорів фаз СПС, який не містить вказаних вище недоліків, можливо підвищити достовірність контролю напруги на затискачах ЗЕД в промислових умовах.

Суть методу полягає у розрахунку активних та індуктивних опорів ЗЕД, жили кабелю та КБТ на основі вимірних значень сили струму, напруги на початку СПС та активної потужності при

використанні однофазного ДЗМ. Опір ЗЕД визначається при його розміщенні у гирлі свердловини, коли опором однієї-двох свічок можна знехтувати.

До затискачів В і С під'єднується джерело однофазного струму і вимірюються струм ЗЕД  $I_M$ , напруга ЗЕД  $U_M$  та активна потужність  $P_M$ . Розраховуються повний, активний та індуктивний опори ЗЕД:

$$\begin{aligned} Z_M &= \frac{U_M}{I_M}; \\ R_M &= \frac{P_M}{I_M^2}; \\ X_M &= Z_M \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{P_M}{U_M \cdot I_M}\right)\right). \end{aligned} \quad (1)$$

В результаті розрахунків отримуються сумарні активний та індуктивний опори кабелів:

$$\begin{aligned} Z_{BC} &= \frac{U_{BC}}{I_{BC}}; \\ R_{BC} &= \frac{P_{BC}}{I_{BC}^2} - R_M; \\ X_{BC} &= Z_{BC} \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{P_{BC}}{U_{BC} \cdot I_{BC}}\right)\right). \end{aligned} \quad (2)$$

Якщо жили кабелю з неоднаковими опорами внаслідок нерівномірного зносу контактів кабельних муфт почергово приєднати до джерела однофазного змінного струму та КБТ з електробуром, то можна визначити активний та індуктивний опори кіл АВ та АС (рис. 1):

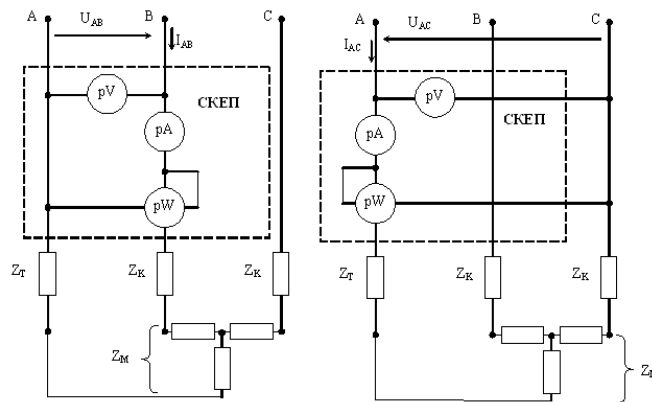


Рисунок 1 – Вимірювання опорів жил кабелів

Застосування системи контролю енергетичних параметрів електротехнічних комплексів, а також віртуальних приладів дасть змогу автоматизувати процедуру збору та накопичування результатів вимірювання. Використання запропонованого методу визначення електричного опору фаз СПС в промислових умовах дасть змогу суттєво підвищити достовірність контролю напруги на затискачах ЗЕД.

З метою математичної обробки експериментальних даних за авторським алгоритмом розроблено програму, яка функціонує у середовищі LabView і реалізує спосіб двох фаз для визначення енергетичних параметрів електробура. Дане середовище дозволяє прискорити обробку сигналів, а також уможливиле корекцію фазової похибки трансформаторів струму. Остання коректується шляхом зміщення початкового індексу зчитування масиву миттєвих значень струмів.

За допомогою середовища LabView та інформаційно-вимірювального комплексу проведено вимірювання та індикацію на затискачах електробура величин активної потужності, механічної



потужності на дологі та архівування значень цих величин у базу даних. В основу функціонування ІВС покладені методи прямих та опосередкованих вимірювань, методи цифрової обробки сигналів та технологія віртуальних приладів (ВП).

#### **Висновки.**

Запропонований спосіб підвищення достовірності контролю фазних напруг на затискачах занурюваних електродвигунів дасть змогу автоматизувати процедуру обробки та накопичування результатів вимірювання та суттєво зменшити час. Використання запропонованого методу визначення електричного опору фаз СПС в промислових умовах дасть змогу суттєво підвищити достовірність контролю напруги на затискачах ЗЕД.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Гладь І. В. Аналіз методів та засобів контролю напруги на затискачах занурюваних електродвигунів // Методи та прилади контролю якості. – 2003. – № 11. – С. 85-90.
2. Гладь І. В. Проблеми та принципи проектування універсального апаратно-програмного комплексу для енергетичних обстежень електромереж [Текст] / Гладь І. В., Галушак І. Д., Поточний А.І., Маскевич У. М., Бацала Я. В., Кіянюк О. І. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. - № 3(28). – С 83-87 с.

*Михайлів Микола Іванович* – д. т. н., професор кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу,

*Кіянюк Олександр Іванович* – асистент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу, e-mail: [epco@nung.edu.ua](mailto:epco@nung.edu.ua)

*Mykhailiv Mykola Iv.* - Dr. Sc. (Eng.), Professor of the of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

*Kiianiuk Olexandr Iv.* - assistant department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

## Безконтактне вимірювання температури обмоток електричної машини за допомогою використання ефекту температурного згасання люмінофору

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Встановлено можливість забезпечення контролю стану полюсних обмоток електричних машин на основі люмінесцентного випромінювання, інтенсивність якого залежить від температури.*

**Ключові слова:** центр люмінесценції, рентгенівський спектр, температурне згасання люмінесцентного випромінювання.

### Abstract

*Possibilities of providing of the control of the pole windings of electrical machines based on the intensity of the fluorescent light depends on temperature.*

**Keywords:** center luminescence, X - ray spectrum, temperature fluorescent radiation attenuation.

### Вступ

Зважаючи на важливість проблеми забезпечення штатного режиму роботи обладнання силових електричних машин, важливу роль відіграє контроль стану їх полюсних обмоток. Беручи до уваги таку проблему, як міжвиткове коротке замикання, що призводить до перегріву та аварійного руйнування обладнання, постає питання його вирішення шляхом контролю їх стану через виміри температури у режимі реального часу.

### Результати досліджень

Для ряду люмінофорів, при їх збудженні випромінюванням ультрафіолетового чи рентгенівського спектру, спостерігається функціональна залежність між інтенсивністю люмінесцентного випромінювання та температурою люмінофора. Максимум люмінесцентного випромінювання таких люмінофорів, зазвичай, знаходиться у видимій чи ближній ультрафіолетовій області, у якій вплив сторонніх об'єктів навколишнього середовища на результат вимірювання є істотно нижчим. Це дає змогу розглядати люмінесцентне випромінювання як перспективний інформативний параметр для дистанційного вимірювання температури люмінофору.

З точки зору реалізації засобів безконтактного вимірювання температури перспективним є ефект температурного згасання люмінесцентного випромінювання при зростанні температури люмінофору. Залежність інтенсивності люмінесцентного випромінювання від температури може бути представлена у наступному вигляді [1, 2]:

$$I_L = \frac{I_{max} \cdot e^{-E_n}}{1 + qe^{-kT}} \quad (1)$$

де  $q$  – стала, що характеризує властивості центра люмінесценції;  $k$  – стала Больцмана;  $e$  – стала Ейлера,  $I_{max}$  – максимально можливе значення інтенсивності люмінесценції для даного люмінофора,  $E_n$  - енергія переходу центра люмінесценції на більш високий енергетичний рівень.

З рівняння (1) видно, що температурне згасання проявляється лише при досягненні деякого критичного рівня температури люмінофора, який буде тим менший, чим меншою буде енергія переходу центру люмінесценції на більш високий енергетичний рівень.

З рисунка 1 видно, що залежність інтенсивності збудження від температури носить квазілінійний характер, що обумовлює статичну характеристику сенсора температури, побудованого на базі даного ефекту

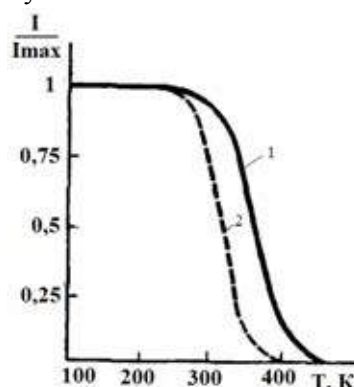


Рис.1. Експериментальна залежність інтенсивності люмінесценції  $ZnS-1 \cdot 10^{-4} Ag, Co$ -від температури, при концентрації кобальту  $1,8 \cdot 10^{-6}$  (1) та  $1,84 \cdot 10^{-4}$  (2)

### Висновок

Використання вказаного ефекту для безконтактного методу вимірювання температури, що передбачатиме встановлення термічної рівноваги між об'єктом вимірювання та люмінофорним покриттям з подальшим перетворенням температури люмінофору у інтенсивність люмінесцентного випромінювання, дозволить забезпечити високу чутливість вимірювання та точність у порівнянні з методами теплової пірометрії.

### Список використаної літератури

1. Гурвич А. М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. Учеб. Пособие для вузов. / А. М. Гурвич – Москва: «Высшая школа», 1971. – 336 с.
2. Казаринов Ю. Г. Люминесцентные свойства монокристаллов шпинели при воздействии ионизирующих излучений / Ю. Г. Казаринов, В. Т. Грицына, В. А. Кобяков, К. Е. Сикафус // Вопросы атомной науки и техники – 2002. – №3. – С. 53 – 57.

**Лисий Владислав Михайлович** – студент групи 2Е – 14Б, факультету енергетики електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця e-mail: [2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com](mailto:2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com)

Науковий керівник: **Граняк Валерій Федорович** – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет.

**Lysyi Vladyslav Mykhailovych** - student of 2E-14B, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com](mailto:2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com)

**Hraniak Valerii Fedorovych** – Senior Lecturer, Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurement, Ph.D., Vinnytsia National Technical University.

## ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ БАГАТОРІВНЕВИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ ПРИ РОБОТІ З СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ

**Анотація.** Вдосконалено закон керування мережесим багаторівневим інвертором сонячного модуля, який дозволяє утримувати режим роботи сонячного модуля в області точки відбору максимальної потужності, що збільшує його продуктивність. Запропоновано вдосконалені моделі регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора.

**Ключові слова.** Багаторівневий інвертор, сонячний модуль, математична модель.

**Abstract.** Improved the control law and computer model for grid-tied multilevel inverter of solar module that allows to hold the solar module operation within the point of maximum power output, which increases its efficiency. An improved model regulators longitudinal and transverse components of the power inverter.

**Keywords.** Multilevel inverter, solar module, mathematical model.

В складі будь-якої сонячної електростанції для формування вихідної змінної напруги в якості узгоджувальних пристроїв використовуються багаторівневі мережеві інвертори напруги [1]. Основною перевагою багаторівневих інверторів перед однорівневими є покращена форма вихідної напруги, менші втрати в силовій частині та покращена електромагнітна сумісність [2]. Але є також певні недоліки, а саме збільшення кількості силових ключів та відповідного ускладнення системи керування комутацією, а при використанні їх в межах сонячних електростанцій вимагає ще й додаткової адаптації до вимог існуючої електроенергетичної системи.

Для ефективного керування таким інвертором виникає необхідність узгодження його режимів роботи з мережею для відслідковування точки відбору максимальної потужності сонячним модулем, де поздовжня та поперечна складові струму багаторівневого інвертора будуть забезпечувати напругу та потужність, яка зі сторони входу інвертора зніматиметься із сонячного модуля, а зі сторони виходу буде віддаватись в мережу.

Однією з проблем сонячних електростанцій є те, що електроенергія, яка виробляється сонячним модулем має нестабільні показники, оскільки останні залежать від ряду факторів таких як температура навколишнього середовища, рівень освітленості та інші [3], а це в свою чергу повинно враховуватись системою керування інвертором для правильного вибору його режиму роботи. Тому для підвищення ефективності роботи інвертора застосовуються різні алгоритми для визначення точки відбору максимальної потужності сонячним модулем (maximum power point tracking (MPPT)). Структура такої системи показана на рисунку 1.

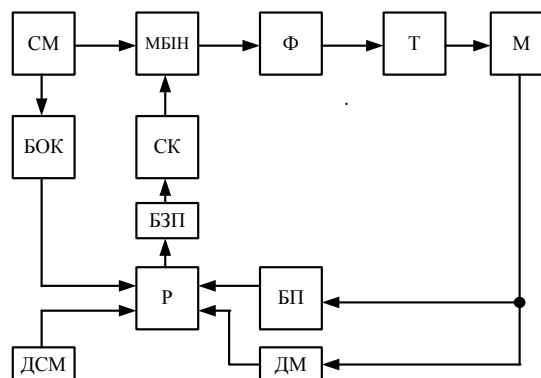


Рис. 1. Структурна схема системи керування мережесим багаторівневим інвертором напруги

На рис.1: СМ – сонячний модуль; МБІН – мережевий багаторівневий інвертор напруги; Ф – фільтр; Т – трансформатор; М – мережа; БОК – блок обчислення квазіекстремуму; ДСМ – датчики сонячного модуля; Р – регулятори; ДМ – датчики мережі; БП – блок перетворення з abc в dq систему координат; БЗП – блок зворотнього перетворення з системи dq в abc; СК – система комутації.

Для забезпечення режиму утримання сонячного модуля в точці максимальної потужності автоматичні регулятори напруги (поздовжньої складової струму інвертора  $I_d$ ) та потужності (поперечної складової струму інвертора  $I_q$ ) будуть функціонувати відповідно до ПІД-закону регулювання та описуються системою рівнянь [4]:

$$\begin{cases} I_{q, \text{зад}} = k_p \cdot k_{v, \text{осв}} \cdot P_{\text{осв}} + k_p \cdot P_{\text{зад}} + k_u \cdot U_{\text{DC}} - k_i \cdot I_{\text{DC}}, \\ U_{\text{rq}} = k_{\text{pq}} \cdot \left( k_{\text{rq, під}} \cdot (I_{q, \text{зад}} - I_q) + \frac{1}{T_{\text{iq}}} \cdot \int_0^t (I_{q, \text{зад}} - I_q) dt + T_{\text{dq}} \cdot \frac{d(I_{q, \text{зад}} - I_q)}{dt} \right) \\ I_{d, \text{зад}} = k_{\text{pi}} \cdot \left( U_{\text{зад}} + U_{\text{DC}} \cdot k_{\text{DC, під}} - U_s \cdot k_{s, \text{під}} \cdot \left( \frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^2 \right), \\ U_{\text{rd}} = k_{\text{pd}} \cdot \left( k_{\text{rd, під}} \cdot (I_{d, \text{зад}} - I_d) + \frac{1}{T_{\text{id}}} \cdot \int_0^t (I_{d, \text{зад}} - I_d) dt + T_{\text{dd}} \cdot \frac{d(I_{d, \text{зад}} - I_d)}{dt} \right). \end{cases} \quad (1)$$

де  $k_{\text{pd}}$  і  $k_{\text{pq}}$  регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора відповідно;  $T_{\text{id}}$  та  $T_{\text{iq}}$  – постійні часу інтегрування регуляторів;  $T_{\text{dd}}$  – стала часу диференціювання каналу регулювання  $I_d$ ;  $U_{\text{rd}}$  та  $U_{\text{rq}}$  – вихідні сигнали регуляторів поздовжньої та поперечної складових струму інвертора;  $k_p$  – коефіцієнт з розмірністю провідності для приведення потужності до відповідного значення струму;  $k_{v, \text{осв}}$  – ваговий коефіцієнт підсилення значення потужності, що поступає на датчик освітлення;  $P_{\text{зад}}$  – задане значення потужності сонячного модуля;  $k_u$  – коефіцієнт з розмірністю провідності для приведення напруги в каналі завдання регулятора до відповідного значення струму на вході вимірювального органу регулятора;  $U_{\text{DC}}$  – напруга на виході датчика напруги сонячного модуля;  $k_i$  – коефіцієнт нахилу регулювальної характеристики;  $I_{\text{DC}}$  – значення струму яке поступає на БОК з виходу датчика струму;  $k_{\text{rq, під}}$  – коефіцієнт підсилення П-складової вихідної напруги  $U_{\text{rq}}$ ;  $k_{\text{pi}}$  – коефіцієнт приведення сигналу напруги до струму;  $U_{\text{зад}}$  – задане значення напруги, яке повинен підтримувати сонячний модуль;  $U_{\text{DC}}$  – значення напруги на виході датчика напруги;  $k_{\text{DC, під}}$  – коефіцієнт підсилення напруги з виходу датчика напруги;  $U_s$  – середнє значення напруги мережі;  $k_{s, \text{під}}$  – коефіцієнт підсилення значення напруги мережі;  $k_{\text{rd, під}}$  – коефіцієнт підсилення П-складової напруги  $U_{\text{rd}}$ ;  $T$  – значення температури сонячної батареї;  $T_{\text{ref}}$  – різниця температур між сонячною батареєю та навколишнім середовищем.

Було вдосконалено закон керування мережевим багаторівневим інвертором напруги. Запропоновано вдосконалені моделі регуляторів повздовжньої та поперечної складових інвертора напруги, що збільшує продуктивність роботи останнього.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gaëtan Masson, Sinead Orlandi, Manoël Rekinge. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018.–European Photovoltaic Industry Association. Brussels, Belgium, 2014–57p.
2. Corzine K. A. Operation and design of multilevel inverters. – University of Missouri: Rolla, 2005. – 79
3. Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, Massimo Vitelli. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. IEEE transactions on power electronics. – 2005 - VOL. 20, NO. 4. – P. 963-973.
4. Grabko V. Mathematical control system of grid-tied multilevel voltage inverter / V. Grabko, S. Levitskiy, V. Bombyk, W. Wojcik, O. Hotra, B. Imanbek // Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3/2017, P.133-139.

**Бомбик Вадим Сергійович** – асистент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, bombikvs@gmail.com

# МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Розроблено комп'ютерні моделі підйомних лебідок кранів та ліфтів в середовищі Matlab. Запропоновані моделі дозволяють отримати інформацію про статичні навантаження на електропривод підйомних лебідок в режимах підйому та опускання вантажів, що є важливим на етапі проектування таких механізмів.

**Ключові слова:** підйомна лебідка, вантажопідйомна машина, моделювання.

## Abstract

Lifting winches of cranes and lifts computer models are designed in the environment Matlab. The models provide information about static load on the electric hoisting winches modes lifting and lowering loads which is important in the design phase of such mechanisms.

**Keywords:** lifting hoist, lifting machine, simulation.

## Вступ

Вантажопідйомні машини різних типів та конструкцій є одними з найбільш поширених і використовуються чи не в усіх галузях промисловості для виконання завантажувально-розвантажувальних операцій та транспортування вантажів. Енергетичні показники електропривода таких механізмів суттєво впливають на енергетичні показники виробництва в цілому. Таким чином питанню проектуванню електроприводів вантажопідйомних машин слід приділяти належну увагу.

Враховуючи сучасні підходи до проектування, зокрема використання комп'ютерної техніки, важливо створити комп'ютерні моделі вантажопідйомних механізмів, що дозволить суттєво спростити процес проектування та дозволить проводити дослідження їх роботи як в нормальних, так і аварійних режимах роботи без шкоди та зношення реального обладнання.

Метою роботи є розроблення комп'ютерних моделей підйомних лебідок таких вантажопідйомних машин як крани та ліфти.

## Результати дослідження

Кінематична схема підйомної лебідки крана зображена на рис. 1: 1 – електродвигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – барабан; 5 – поліспаст; 6 – вантажозахватний пристрій; 7 – вантаж.

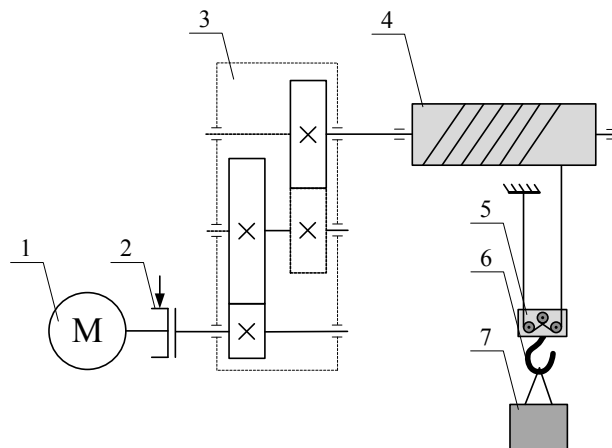


Рис. 1. Кінематична схема підйомної лебідки крана

Статичні навантаження електропривода лебідки описуються рівнями [1]:  
 – при підйомі вантажу:

$$M_c = \frac{(m_v + m_0) \cdot g \cdot D_b}{2 \cdot i_{mp} \cdot u \cdot \eta_{mp}} ; \quad (1)$$

– при опусканні вантажу:

$$M'_c = \frac{(m_v + m_0) \cdot g \cdot D_b}{2 \cdot i_{mp} \cdot u} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{mp}}\right), \quad (2)$$

де  $m_v$  – маса вантажу, кг;  $m_0$  – маса вантажозахватного пристрою, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;  $D_b$  – діаметр барабана лебідки, м;  $i_{mp}$  – передаточне число механічної передачі;  $u$  – кратність поліспасти;  $\eta_{mp}$  – ККД механічної передачі при підйомі вантажу.

Відповідно до виразів (1) та (2) структурні схеми підйомної лебідки зображені на рис. 2.

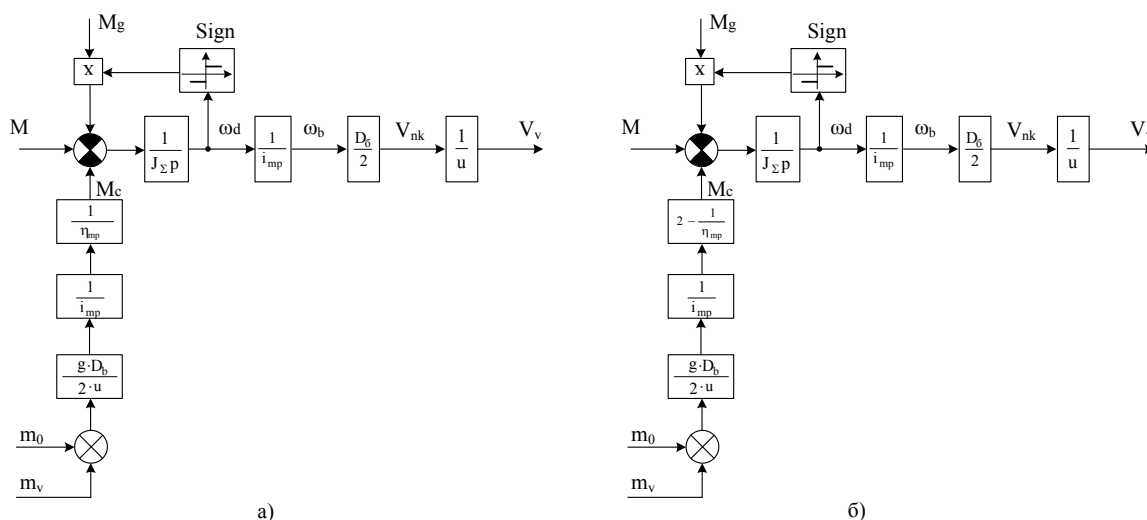


Рис. 2. Структурна схема підйомної лебідки крана при підйомі вантажу (а), при опусканні вантажу (б)

На рис. 2 позначено:  $M$  – момент двигуна;  $M_g$  – гальмівний момент (створюється електромагнітним гальмом);  $J_{\Sigma}$  – приведений до вала двигуна момент інерції привода;  $\omega_d$  – кутова швидкість обертання вала двигуна;  $\omega_b$  – кутова швидкість обертання приводного барабана;  $V_{nk}$  – швидкість намотування троса на барабан;  $V_v$  – швидкість транспортування вантажу; Switch – перемикач, який виконує перемикання виходу залежно від знака сигналу керування.

Відповідна модель підйомної лебідки крана при підйомі вантажу зображена на рис. 3.

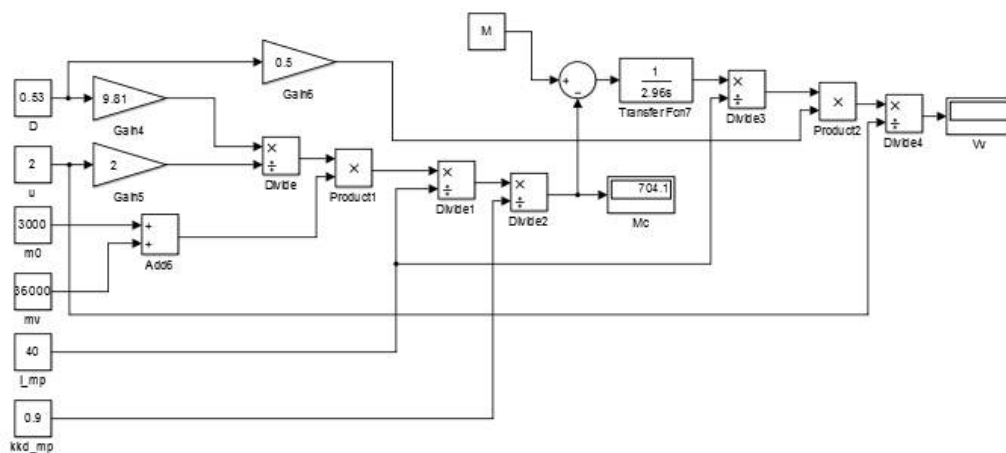


Рис. 3. Модель підйомної лебідки крана в Simulink (підйом вантажу)

Аналогічним чином розроблено модель підйомної лебідки ліфта з врівноваженою кінематичною схемою (рис. 4).

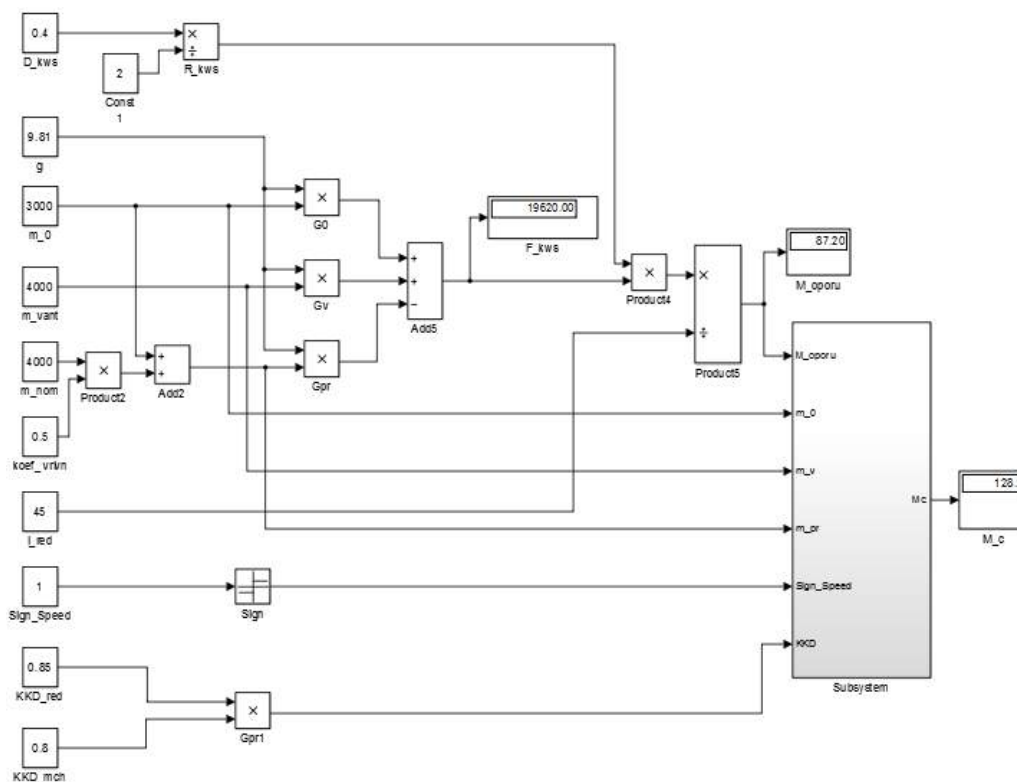


Рис. 4. Модель підйомної лебідки ліфта з врівноваженою кінематичною схемою в Simulink

### Висновки

На основі виразів для статичних навантажень електроприводів підйомних лебідок кранів та ліфтів розроблено відповідні структурні схеми та запропоновано моделі в Simulink. Використання даних моделей дозволить суттєво спростити процес проектування електроприводів підйомних механізмів та дозволить проводити дослідження їх роботи як в нормальних, так і аварійних режимах роботи без шкоди та зношення реального обладнання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
2. Черных И. В. Моделирование электромеханических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink / Черных И. В. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

**Аліна Миколаївна Ратушна** — студент групи ІЕМ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 04051995alina@gmail.com.

**Сергій Миколайович Бабій** — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Ratushna Alina M.** – Department of Electromechanical Systems Automation in in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : 04051995alina@gmail.com.

**Babiy Sergiy M.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electromechanical Systems Automation in in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.



## **НОВІ МОЖЛИВОСТІ MATLAB 2016 ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Дано перелік нових можливостей програмного середовища Matlab 2016(a) для моделювання електромеханічних систем. Нові можливості представлено на прикладі моделі асинхронного двигуна.*

**Ключові слова:** Matlab 2016(a), Simulink, нововведення.

### **Abstract**

*Given a list of new features of the software environment Matlab 2016 (a) for modeling electromechanical systems. New opportunities are presented by the example model of induction motor.*

**Keywords:** Matlab 2016 (a), Simulink, innovation.

### **Вступ**

Пакет прикладних програм MATLAB є зручним засобом для роботи з математичними матрицями, малювання функцій, роботи з алгоритмами. Simulink повністю інтегрований з MATLAB, що забезпечує швидкий доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування. Simulink також інтегрується з Steteflow для моделювання поведінки, викликаної подіями. Ця перевага робить Simulink найпопулярнішим інструментом для проектувати систем керування і комутації, цифрової обробки і інших додатків моделювання.

Метою роботи є аналіз нових існуючих можливостей Matlab 2016(a) для моделювання електромеханічних систем, які можна використати в навчальному процесі під час підготовки спеціалістів з електромеханіки.

### **Результати дослідження**

Серед основних нововведень програмного середовища Matlab, які використовуються для моделювання електромеханічних систем, слід виділити такі:

- Інструмент візуалізованого впливу на процес моделювання Dashboard. Дана бібліотека елементів, яка інтегрована в середовище структурного моделювання Simulink, містить вимірюючі елементи та пристрої впливу (кнопки, перемикачі, регулятори). Ці пристрої можна використовувати для формування потрібного сигналу та виведення його на екран не змінюючи налаштування елементів безпосередньо під час моделювання. Дана бібліотека також містить такі елементи, як лампа сигналізації, кнопка запуску процесу тощо. Кожен з елементів налаштовується на значення, необхідні для моделювання, при цьому вказуються значення сигналу, межі його зміни, функція переходу в інший стан, тощо. Комп'ютерна модель лінеаризованого асинхронного двигуна зображена на рис. 1.
- Нове оформлення елементів «Електричні машини»;
- Можливість розрахунку параметрів асинхронних двигунів за каталожними даними;
- Розширена можливість роботи з дискретними елементами (системи імпульсно-фазового керування тощо).

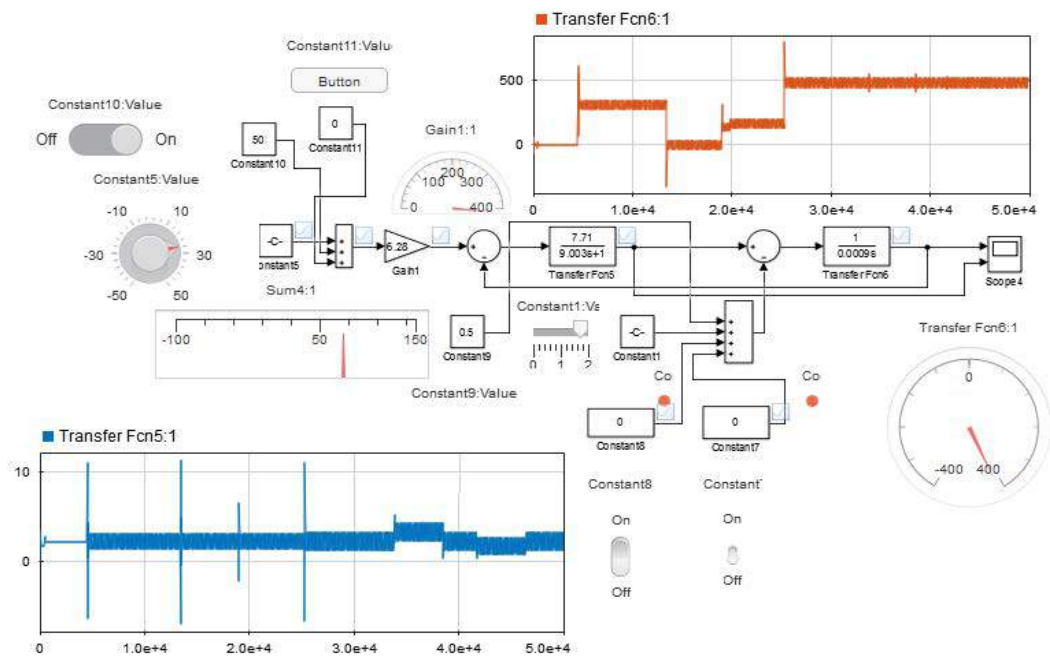


Рис. 1. Комп'ютерна модель лінеаризованого асинхронного двигуна з використанням елементів бібліотеки Dashboard

На комп'ютерній моделі використано всі елементи бібліотеки Dashboard.

### Висновки

Отже, останній реліз програмного середовища Matlab має практично такі самі можливості візуалізованого моделювання як і відома програма LabView. Крім того, можливості сучасного Matlab дозволяють суттєво спростити процес проектування електромеханічних систем за рахунок автоматизованого розрахунку параметрів асинхронного двигуна, підбору параметрів регуляторів шляхом оптимізації, побудови графіків перехідних процесів та частотних характеристик, дослідження системи на стійкість тощо.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Matlab. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/MATLAB>.
2. Dashboard. Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/simulink/sref/dashboardscope.html>

**Боднарєвський Максим Борисович** – студент групи 1ЕМ-13б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [pvola155@gmail.com](mailto:pvola155@gmail.com);

**Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент, 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.

*Maxim Bodnarevskyy – student group 1EM-13b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [pvola155@gmail.com](mailto:pvola155@gmail.com);*

*Nikolai Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;*

Supervisor: **Nikolai Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

## **РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ (ГІДРАВЛІЧНА ЧАСТИНА)**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розроблено лабораторний стенд який дає можливість ознайомитися з особливостями роботи різних систем водопостачання. Стенд передбачає роботу насосної станції на споживача без протитиску, з протитиском, роботу по замкнутому контуру та роботу на споживача зі стабілізацією тиску та випадковим характером споживання.*

**Ключові слова:** насосна станція, протитиск, випадковий характер споживання, замкнутий контур.

### **Abstract**

*The laboratory stand which allows explore the features of the various water systems. The stand includes work pumping station to the consumer without back-pressure from counter-pressure, work in a closed circuit and work on the stabilization of consumer pressure and random nature of consumption.*

**Key words:** pumping station, back pressure, the random nature of consumption, a closed circuit.

### **Вступ**

Існують різні системи водопостачання. Для спеціалістів з електромеханічних систем автоматизації дуже важливо вивчити особливості роботи механізму та його вплив на електричний двигун. Для можливості вивчення особливостей роботи насосних станцій і запропоновано даний лабораторний стенд.

### **Результати дослідження**

Розроблено лабораторний стенд для дослідження чотирьох систем водопостачання, а саме: системи водопостачання споживача без протитиску, системи водопостачання споживача з протитиском, системи водопостачання по замкнутому контуру (системи опалення та охолодження) та системи водопостачання зі стабілізацією тиску і випадковим характером споживання.

Гідравлічна схема лабораторного стенда зображена на рис. 1. У першому режимі з першого резервуара вода подається насосною станцією, що складається з трьох насосних агрегатів, на верхній патрубок верхньої накопичувальної ємності. У другому випадку для забезпечення роботи насосної станції на споживач з протитиском вода подається на нижній патрубок верхньої накопичувальної ємності. В третьому випадку вода перекачується по замкнутому контуру без участі ємностей. В четвертому режимі вода подається на верхній патрубок нижньої накопичувальної ємності.

Для роботи лабораторного стенда використано такі сенсори: сенсор тиску до та після запірного вентиля V4, сенсор тиску в нагнітаючій трубі при роботі з протитиском; лічильник води та сенсор рівня води у верхньому резервуарі. Для забезпечення можливості дистанційного відкриття чи закриття трубопроводів використано електромагнітні нормально закриті клапани HR, які дозволяють дистанційно відкривати нагнітаючий трубопровід кожного насоса та нижнього патрубку верхнього резервуара. Кран V4 забезпечує перекидання напірного трубопроводу на потрібне значення. Вентиль V5 використовується для імітації споживання води в режимі стабілізації тиску.

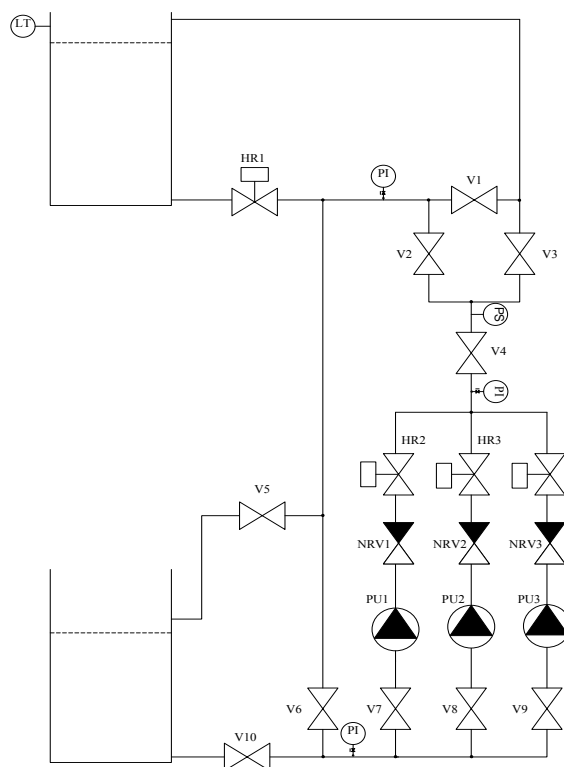


Рис1. Схема підключення трьох однофазних двигунів

### Висновки

Отже, розроблений лабораторний стенд дозволить вивчити студентам будову різних систем водопостачання, зрозуміти їх принцип роботи та розглянути такі явища, як кавітація, гідравлічний удар, робота насоса на закрити засувку, дроселювання, протитиск тощо.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Water supply and drainage for buildings. Part 1: Water supply installations for buildings. <https://law.resource.org/pub/za/ibr/za.sans.10252.1.2012.html>.
2. Класифікація систем водопостачання. Режим доступу: [http://eprints.kname.edu.ua/11564/1/%D0%92%D1%82%D0%92\\_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf](http://eprints.kname.edu.ua/11564/1/%D0%92%D1%82%D0%92_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf)
3. Hydraulic Symbols. [https://www.swtc.edu/Ag\\_Power/hydraulics/symbols/symbols.htm](https://www.swtc.edu/Ag_Power/hydraulics/symbols/symbols.htm).

**Фабрісіо Бакеро Лопес** – студент групи 1ЕМ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: f2\_baq@hotmail.com;

**Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

**Казак Микола Омелянович** – інженер 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.

**Fabricio Baquero Lopez** – student of group 1EM-13b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail f2\_baq@hotmail.com;

**Nikolai Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

**Nikolai Kazak** – engineer electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

Supervisor: **Nikolai Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

## РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ (ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА)

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розроблено лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання який складається з трьох паралельно включених циркуляційних насосів. Стенд передбачає можливість роботи в різних режимах. Швидкість електроприводів насосів регулюється різними методами: шляхом перемикання обмоток двигунів, шляхом зміни фазної напруги з допомогою лабораторного автотрансформатора, шляхом зміни частоти напруги живлення.*

**Ключові слова:** циркуляційний насос, тиристорний регулятор напруги, лабораторний автотрансформатор, перетворювач частоти, електромагнітний клапан.

### *Abstract*

*The laboratory stand for the study of water supply consists of three parallel-connected circulation pumps. The stand provides possibility of work in different modes. Speed electric pumps is regulated by various methods: by switching the motor windings by changing phase voltage using a laboratory autotransformer, by changing the frequency of the supply voltage.*

**Keywords:** circulation pump, thyristor voltage regulator, laboratory transformers, frequency converter, electromagnetic valve.

### **Вступ**

Для сучасних систем водопостачання виконано багато розробок, спрямованих на покращення регульованості, підвищення енергоефективності тощо. При систематизації автоматизованих насосних установок можна визначити два основних напрямки реалізації систем водопостачання: на основі технологічного керування та на основі застосування електромеханічних систем автоматизованого керування. Крім двох вказаних основних напрямків існує "гібридний" спосіб, який поєднує методи технологічного керування та на основі електромеханічних систем автоматизованого керування. Тому метою роботи є розробка стенда, який створює умови, схожі на ті, які реалізуються в цих системах та вивчення різних сучасних електромеханічних систем у водопостачанні.

### **Результати дослідження**

Розроблено лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання, що складається з трьох електроприводів циркуляційних насосів, які керуються чотирма способами: тиристорним регулятором напруги, трифазним перетворювачем частоти, однофазним перетворювачем частоти і лабораторним автотрансформатором. Також кожен насос можна регулювати шляхом перемикання обмоток приводного двигуна. Передбачається індикація роботи кожного електропривода.

При живленні двигуна, наприклад, від однофазного перетворювача частоти (рис. 1) обидві обмотки двигуна включені паралельно. Два виходи перетворювача частоти підключаються до точок з'єднання обмоток. Перетворювач частоти формує напругу з різною частотою і з лінійною залежністю між напругою та частотою. Регулювати частоту можна як вниз, так і вгору від номінальної. Діапазон регулювання зазвичай не перевищує 1:10, тому що ємність конденсатора в одній з обмоток безпосередньо залежить від частоти. Аналогічним чином виконуються і інші схеми. По-іншому підключається лише трифазний перетворювач частоти. Дві його фази

підключаються до виходів обмоток, а третя – до середньої точки з'єднання обмоток. При цьому ємність в одній фазі не встановлюється.

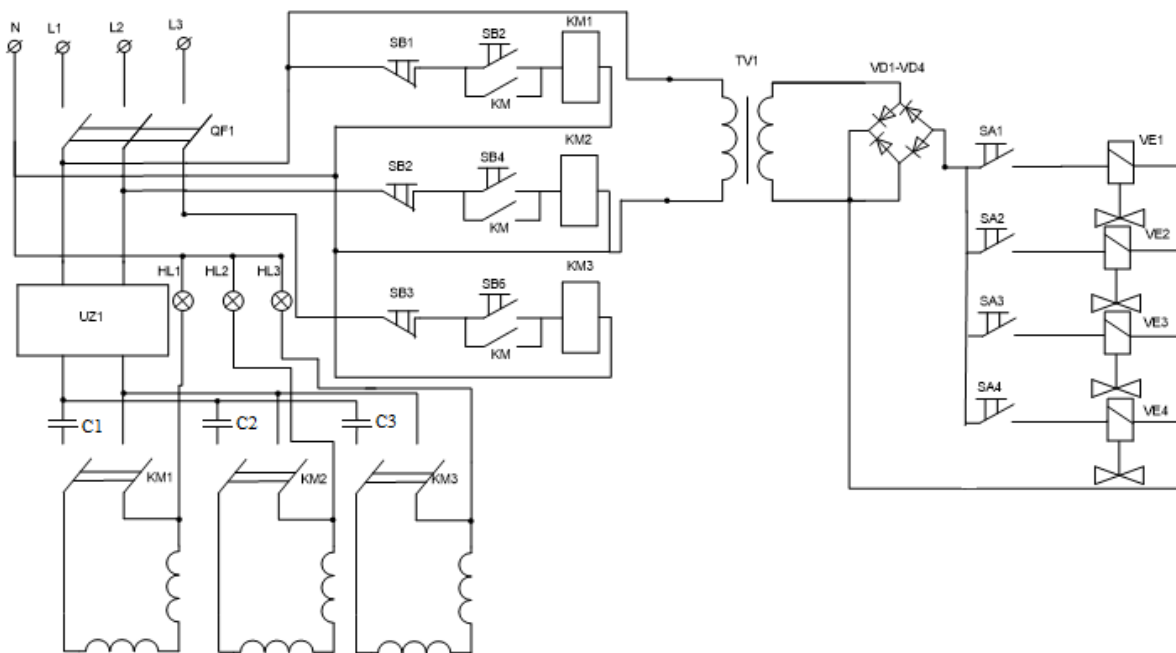


Рис. 1. Схема підключення трьох однофазних двигунів до однофазного перетворювача частоти

### Висновки

Отже, розроблений лабораторний стенд дозволить вивчити студентам будову різних систем автоматизованого керування електроприводами насосів, розглянути різні режими роботи системи водопостачання та зрозуміти принципи управління насосами при їх різних кількості. Крім того, даний стенд дозволяє вивчити такі явища, як кавітація, гідравлічний удар, робота насоса на закриту засувку, дроселювання, протитиск тощо.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ProElectro.info. Статті. Кілька способів керування однофазними асинхронним двигуном двигунами Режим доступу: <http://www.proelectro.info/ru/content/detail/4473>.
2. Інженерні мережі та комунікації. Частина I. Водопостачання. Лекція 3. Класифікація систем водопостачання Режим доступу: [http://univer.nuczu.edu.ua/tmp\\_metod/396/KLV.pdf](http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/396/KLV.pdf)
3. СТЕМ – продаж та монтаж сучасного електрообладнання. Умовні графічні позначення електрорадіоелементів. Режим доступу: <http://sutem.com.ua/333poz.php>.

**Альфредо Утрас Альбуха** – студент групи ІЕМ-136, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: halo\_42@hotmail.es;

**Мошноріз Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

**Казак Микола Омелянович** – інженер 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.

**Alfredo Utreras Albuha** – student group IEM-13b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: halo\_42@hotmail.es;

**Nikolai Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

**Nikolai Kazak** – engineer electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

Supervisor: **Nikolai Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

## ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА З ВИКОРИСТАННЯМ «HARDWARE IN THE LOOP» ПІДХОДУ

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

### Анотація

Запропоновано підхід до знаходження моделі системи електропривода на прикладі ШП-ДПС з врахуванням нелінійності за вибірками вхідних/вихідних даних в *SystemIdentificationToolbox*. Здійснено налагодження контуру положення САК з двигуном RS-385SH-2270 засобами *Simulink* та визначення параметрів нелінійного регулятора.

**Ключові слова:** нелінійний регулятор, мікроконтролер, система автоматичного керування, ідентифікація, програмно-апаратний контур, налаштування.

### 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

За допомогою пакету прикладних програм Matlab, який містить підпрограми для широкого кола задач, було синтезовано оптимальну систему керування об'єктом з нелінійністю та визначено налаштування коригуючого пристрою системи [1, 2].

### Результати дослідження

В роботі пропонується реалізація програмно апаратного контуру, структурна схема якого представлена на рис. 1. На схемі: Controller – система керування, реалізована на восьмирозрядному мікроконтролері Atmega2560, Ampl. – підсилювач, DC – колекторний двигун постійного струму RS-385SH-2270, NLObj – об'єкт керування з нелінійністю, PS – сенсор положення, PC – персональний комп'ютер, API\_MATLAB – прикладний програмований інтерфейс.

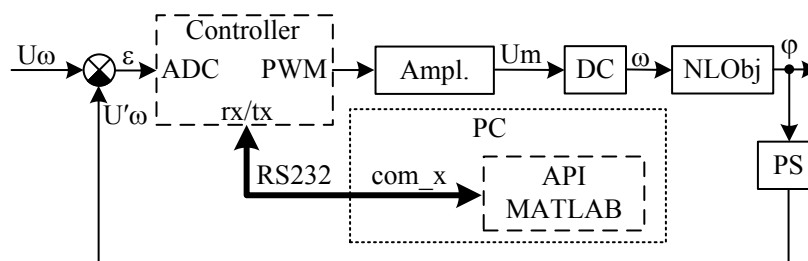


Рисунок 1. Структурна схема запропонованого підходу

На схемі (рисунок 2): 1 - RX вивод послідовного інтерфейсу мікроконтролера, 2 – блок аналізу сигналів послідовного інтерфейсу, який в разі відсутності сигналу на своєму вході передає на вихід нульове значення сигналу та розділяє вхідний байт навпіл, якщо він менше 127 передає його на fwd

вихід інакше на bwd, 3 та 4 – цифрові виходи мікроконтролера, на яких реалізовані ШИМ, що задають сигнал керування силовим перетворювачем, 5 – аналоговий вхід (десятирозрядний АЦП) для зчитування сигналу сенсора положення, 6 – блок пакування сигналу в вісьмирозрядний байт для подальшої передачі по послідовному порту для обробки в мікроконтролері, 7 – TX вивод послідовного порта мікроконтролера [4].

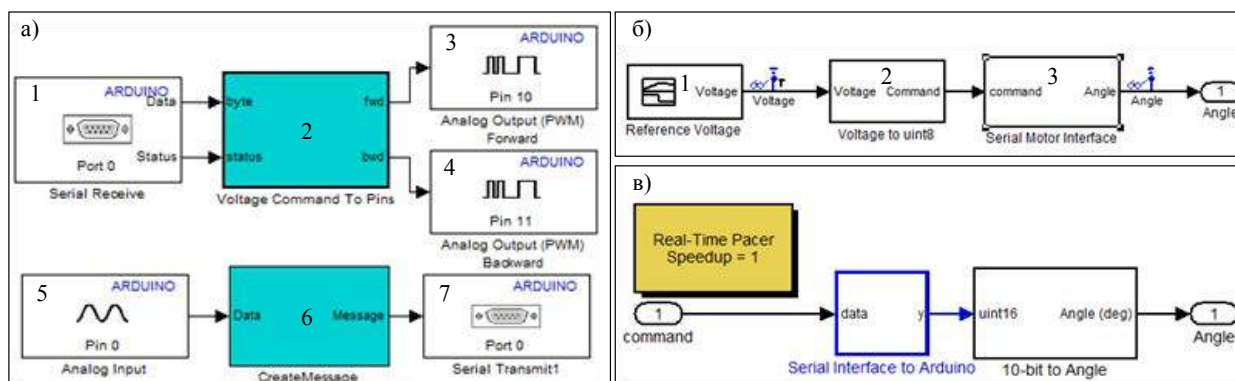


Рисунок 2. Структурні схеми алгоритмів реалізованих в мікроконтролері

Подача вхідного тестового сигналу та реєстрація реакції системи здійснюється із застосуванням середовища MatLab через відповідний послідовний порт комп'ютера, до якого підключено контролер, що працює згідно алгоритму описаного вище [5]. Для цього в Simulink реалізована структурна схема показана на рисунку 2б. На схемі (рисунок 2б): 1 – генератор тестових сигналів, 2 - блок нормування вхідного сигналу в байт, 3 – блок взаємодії з мікроконтролером через послідовний інтерфейс, структура якого розгорнута на рисунку 2в.

Із використанням зазначеного контуру на вхід досліджуваного об'єкта було подано ряд тестових сигналів та зареєстровано реакцію системи. Структурна схема дослідження розімкненого контуру зображена на рис. 3. По отриманих даних в System Identification Toolbox було побудовано модель системи з нелінійністю, яка включає в себе передаточну функцію двигуна, підсилювача та сенсора положення.

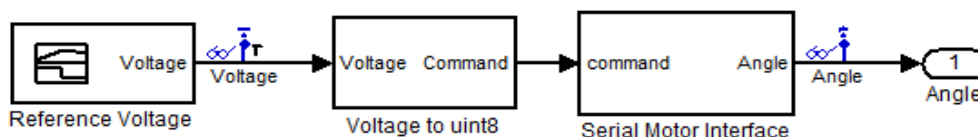


Рис. 2. Структурна схема дослідження реакції розімкненої системи

Отримана в System Identification Toolbox передаточна функція дає можливість провести оптимізацію та визначити параметри коригуючого пристрою для досліджуваної САЕП з нелінійністю використовуючи алгоритми пакету MatLab [6]. В результаті програма, яка реалізовує контур керування з бажаними параметрами регулятора зашивається в мікропроцесор.

### 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 С і уже із визначеними оптимальними параметрами регулятора записати її в мікроконтролер.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Learn about new product capabilities.[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступа:



<http://www.mathworks.com/products/matlab/whatsnew.html>.

2. Creating an Endoscopic Surgical Stapler Prototype Using Model-Based Design .[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступа: [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. Best Practices for Converting MATLAB Code to Fixed Point .[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступа: [http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/best-practices-for-converting-matlab-code-to-fixed-point.html?s\\_tid=srchtitle](http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/best-practices-for-converting-matlab-code-to-fixed-point.html?s_tid=srchtitle)

4. Developing a Period-Based Air-Fuel Ratio Controller Using a Low-Cost Switching Sensor.[Електронний ресурс] / MathWorks. – Режим доступа: [http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/developing-a-period-based-air-fuel-ratio-controller-using-a-low-cost-switching-sensor.html?s\\_tid=srchtitle](http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/developing-a-period-based-air-fuel-ratio-controller-using-a-low-cost-switching-sensor.html?s_tid=srchtitle)

5. Motor Control with Arduino: A Case Study in Data-Driven Modeling and Control Design.[Електронний ресурс] / Pravallika Vinnakota. – Режим доступа: [http://www.mathworks.com/tagteam/77442\\_92066v00\\_motor-control-with-arduino-a-case-study-in-design.pdf](http://www.mathworks.com/tagteam/77442_92066v00_motor-control-with-arduino-a-case-study-in-design.pdf).

6. RS-385SH-2270: Technical description of RS-385SH-2270.[Електронний ресурс] / MABUCHI MOTOR LTD. – Режим [http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/e\\_catalog.cgi?CAT\\_ID=rs\\_385sh](http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/e_catalog.cgi?CAT_ID=rs_385sh).

**Шевчук Юрій Володимирович** — доцент кафедри ЕМСАПТ, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [yuriy.shevchuck@gmail.com](mailto:yuriy.shevchuck@gmail.com);

**Yuriy V Shevchuk** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of EMSAIT, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Стаднік Олександр Володимирович** — студент гр. 5Е-16, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Oleksandr M Stadnik** — st. 5E-16 (Eng), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

# ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ІНВЕРТОРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОНОГО ДВИГУНА

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

## **Анотація**

*Запропоновано новий практичний підхід щодо побудови автономних інверторів для керування швидкістю обертання асинхронного двигуна, який поєднує перспективні схемотехнічні рішення.*

**Ключові слова:** інвертор, асинхронний двигун, випрямляч, широтно-імпульсна модуляція, алгоритм перемикання.

## **Abstract**

*A new practical approach to build autonomous inverters for asynchronous motor control speed that combines advanced circuit solutions.*

**Keywords:** inverter, asynchronous motor, rectifiers, pulse-width modulation switching algorithm.

## **Вступ**

Керування асинхронним електродвигуном в частотному режимі до недавнього часу було великою проблемою, хоча теорія частотного регулювання була розроблена ще в тридцятих роках. Розвиток частотно-регульованого електропривода стримувала висока вартість перетворювачів частоти. Поява силових схем з IGBT-транзисторами, розробка високопродуктивних мікропроцесорних систем управління дозволило провідним фірмам Європи, США і Японії створити доступні перетворювачі частоти [1,2].

Метою роботи є розробка практичних підходів для побудови автономних інверторів для керування швидкістю обертання асинхронних двигунів, які поєднують перспективні схемотехнічні рішення.

## **Результати дослідження**

Статичні перетворювачі частоти є найбільш досконалими пристроями управління асинхронним приводом в даний час. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а механічні характеристики мають високу жорсткість [2].

Регулювання швидкості при цьому не супроводжується збільшенням ковзання асинхронного двигуна, тому втрати потужності при регулюванні невеликі. Для отримання високих енергетичних показників асинхронного двигуна – коефіцієнтів потужності, корисної дії, переважувальної здатності - необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, що підводиться.

Застосування регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження та дозволяє отримувати нові якості систем і об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується за рахунок регулювання будь-якого технологічного параметра. Якщо це транспортер або конвеєр, то можна регулювати швидкість його руху. Якщо це насос або вентилятор - можна підтримувати тиск або регулювати продуктивність. Якщо це верстат, то можна плавно регулювати швидкість подачі або головного руху.

Таким чином, форма кривої вихідної напруги являє собою високочастотну двохполярну послідовність прямокутних імпульсів. Частота імпульсів визначається частотою ШІМ, тривалість (ширина) імпульсів протягом періоду вихідної частоти АІН промодульована за синусоїдальним законом. Форма кривої вихідного струму (струму в обмотках асинхронного електродвигуна) практично синусоїдальна.

Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним - за рахунок зміни вхідної напруги і широтно-імпульсним (ШІМ) - за рахунок програми перемикання.

Другий спосіб набув поширення в сучасних перетворювачах частоти завдяки розвитку сучасної елементної бази (мікропроцесори, IGBT-транзистори). При широтно-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна виходить близькою до синусоїдальної завдяки фільтруючим властивостям обмоток.

### **Висновки**

Встановлено, що новий практичний підхід щодо побудови автономних інверторів для керування швидкістю обертання асинхронних двигунів, який поєднує перспективні схемотехнічні рішення, придатний для використання в реалізації перетворювачів частоти.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Altivar 12. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей. Руководство пользователя. – Schneider Electric. – BVV28581. – 05/2010. – 134 с.
2. Преобразователи частоты Altivar 71. Каталог 2006 – Schneider Electric. – ATV71CATRU. – 08/2005. – 207 с.
3. Altivar 71. Преобразователи частоты для асинхронных электродвигателей. Руководство по программированию. – Schneider Electric, Telemecanique. – 12/2005. – 262 с.

**Борджакова Кумуш Р.** — студент групи ІЕМ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Проценко Дмитро Петрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри ЕМСАПТ, Вінницький національний технічний університет.

**Bordzhakova Kumush R.** - Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisor: **Protsenko D.P.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## **Відновлення майстерні металообробки в лабораторії кафедри ЕМСАПТ**

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Описано процес відновлення металорізальних верстатів і їх дооснащення в аудиторії 4107.*

**Ключові слова:** верстат, металообробка, оснастка, інструмент.

**Abstract:** *recovery process machine tools and retrofitting their classroom 4107.*

**Keywords:** lathe, metalwork, snap, instrument.

### **Вступ**

Електричний привід – електромеханічна система, яка складається з електричного двигуна, перетворювального передаючого пристрою, а також системи керування. Більшість елементів ЕП неможливо виготовити без процесів металообробки.

Метою цієї роботи є розповідь про використання процесів металообробки в електромеханіці і процес відновлення металообробної майстерні в лабораторії кафедри ЕМСАПТ.

### **Результати дослідження**

В процесі відновлення був відновлений і приведений до робочого стану токарно – гвинторізний верстат ТВ, а також горизонтально – фрезерний верстат НГФ 110. Дані верстати були дооснащені необхідною оснасткою та інструментом для виконання основних операцій металообробки. В аудиторії 4107 були обладнані місця для зберігання даного інструменту та оснастки, які забезпечують комфортні умови роботи.

Тепер докладніше про можливості обладнання, що знаходиться в лабораторії, яка була відновлена силами авторів.

ТВ 4 - універсальний токарно – гвинторізний верстат. На ньому можна виконати токарні роботи, такі як:

Свердління отворів;

Торцювання;

Нарізування різьб метричного типу;

Проточка поверхонь конічної і циліндричної форм;

Відрізка.

Основні характеристики шкільного агрегату ТВ 4 наступні:

Максимально можлива довжина обточування - 30 см;

Максимальний діаметр деталі для обробки над супортом - 12,5 см, над станиною - 20 см;

Кроки метричної різьби - 1,25; 1 і 0,8 мм;

Інтервал між центрами - 35 см;

Отвір в шпинделі (діаметр) - 1,6 см.

Також паспорт верстату містить інформацію про потужності електродвигуна, встановленого на ньому, 0,6 кВт, про подачу в поздовжньому напрямку (0,12; 0,10 і 0,08 мм), про кількість оборотів шестиступенчатого шпинделя (710, 500, 375, 230, 160 і 120) і про те, що на верстаті можна обробляти прутки перетином до 15 мм.

НГФ 110 – горизонтальний консольно-фрезерний верстат настільного типу. Призначений для виконання фрезерних операцій з обробки горизонтальних площин, пазів та інших поверхонь.

Установка вертикально-фрезерної головки (ВФГ) дозволяє додатково проводити обробку вертикальних площин, а також площин під певним кутом. Обробка площин проводиться дисковими, торцевими, кінцевими, кутовими і фасонними фрезами.

### Висновок

Відновлення даної майстерні дало можливість силами її потужностей виготовити і відремонтувати декілька муфт, шківів, кронштейнів, вісей, перехідників та інших подібних деталей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оглоблин. А. Н. Основы токарного дела/ — М. : Машиностроение, 1974. — 328 с.
2. Барбашов Ф. А. Фрезерное дело/ — М: Высшая школа. 1973. — 280 с.

**Гнатюк Андрій Костянтинович** — студент групи ЕМ-15бмс, факультет електроенергетики і електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gnatyuk.andriy@mail.ru

**Проценко Дмитро Петрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри ЕМСАПТ, Вінницький національний технічний університет

**Шевчук Юрій Володимирович**— канд. техн. наук, доцент кафедри ЕМСАПТ, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Проценко Дмитро Петрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри ЕМСАПТ, Вінницький національний технічний університет

**Gnatyuk Andrew K.** - student of EM 15bms, Department of Electricity and elektromeha-nicks, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gnatyuk.andriy@mail.ru

**Protsenko Dmitry Petrovich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department EMSAPT, Vinnytsia national technical university

**Shevchuk Yuri Volodymyrovich**- candidate. Sc. Associate Professor, Department EMSAPT, Vinnytsia national technical university

Supervisor: **Protsenko Dmitry Petrovich** - candidate. Sc. Associate Professor, Department EMSAPT, cue Vinnytsia National Technical University

## ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОТІЛЬНОГО ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ

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

### *Анотація*

*Запропоновано використовувати метод багатотільного динамічного аналізу для дослідження роботи механічної системи високовольтного вимикача*

**Ключові слова:** діагностування, високовольтний вимикач, багатотільна динаміка.

### *Abstract*

*In this work use multiple method for dynamic analysis study of high-voltage switch mechanical system*

**Keywords:** diagnostics, high-voltage switches, multibody dynamics.

Одним з найбільш важливих комутаційних апаратів, від надійності функціонування яких значною мірою залежить надійність роботи електроенергетичної системи, є високовольтні вимикачі. Під час виникнення аварійних ситуацій, при пошкодженнях високовольтного обладнання, задачі з їх локалізації, виконують вимикачі. 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 [4]. Основними причинами відмови високовольтних вимикачів є несправність або некоректна робота привода. Тому актуальною є задача діагностування та дослідження роботи привода комутаційного апарату з використанням різних методів та засобів визначення його технічного стану.

Для надійної роботи високовольтного вимикача необхідно дослідити роботу його привода. Механічні процеси в комутаційному апараті можна описати за допомогою методу багатотільного динамічного аналізу. Динамічний аналіз передбачає дослідження точок взаємозв'язку двох тіл, пов'язані між собою ідеальним обертальним з'єднанням [2]. Введення зазору дозволяє розділити точки з'єднання.

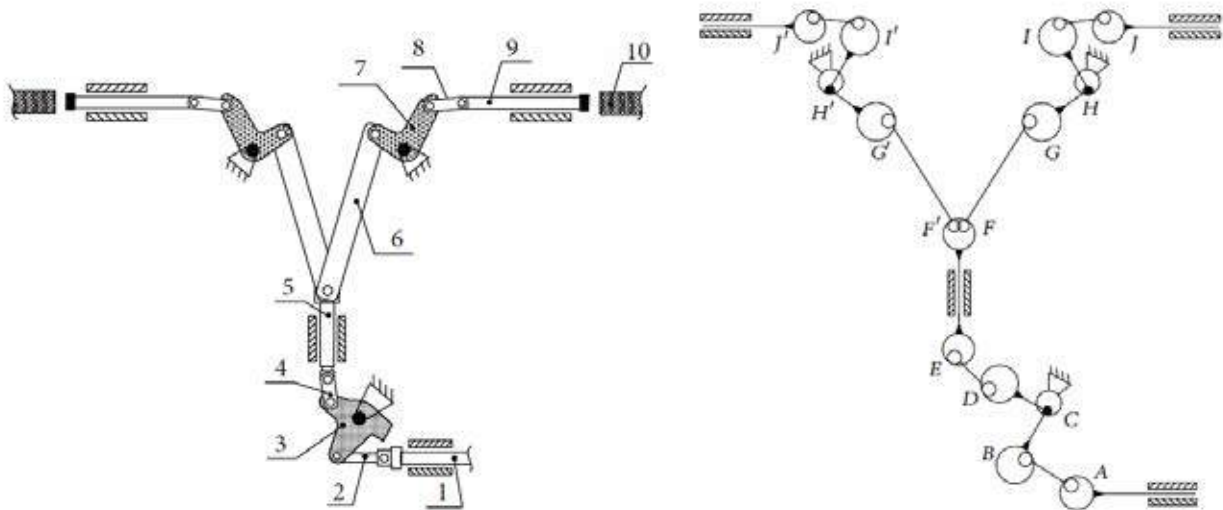


Рис. 1. Рухомий привід високовольтного вимикача із схематичною діаграмою багатотільних з'єднань

Рухомий привід є комбінацією багатотільних ланок, які призначені для передачі рушійної сили. На рисунку 1 зображено:

1 – привідний важіль; 2 – нижня засувка; 3 – нижній поворотний важіль; 4 – нижня з'єднувальна ланка; 5 – ізольоване поле; 6 – ізолюючий полюс; 7 – верхній поворотний важіль; 8 – верхня з'єднувальна ланка; 9 – рухомий контакт; 10 – статичний контакт.

Привідний важіль використовується в якості приводної вхідної сили. Ізольоване поле призначене для ізоляції обладнання від струму. Рухомі елементи між ізоляційним полем 6 і рухомих контактом 9 розміщені у дугогасильній камері. Отриману систему можна представити як плоский дев'ятитільний механізм із одним ступенем свободи, що має три зміщувальних і три обертальних рухомих пар. На рисунку 1 зображено схематична діаграма передавального механізму із багатотільними з'єднанням. Для розрахунку системи необхідно отримати механічні параметри системи, таблиця 1.

Таблиця 1 – Параметри механічних елементів системи вимикача

Номер механізму	Довжина тіла, м	Маса, кг	Момент інерції, кг·м <sup>2</sup>
1	0,25	3,67	0,044
2	0,248	3,72	0,015
3	0,23	56,92	0,2
4	0,21	4,76	0,01
5	0,492	12,06	0,09
6	0,9	81,54	0,051
7	0,48	25,66	0,12
8	0,28	13,25	0,027
9	0,714	5,42	0,038

Відповідно до отриманих параметрів необхідно скласти математичну модель механічної системи, яка враховує кожен елемент системи із рухомих взаємним впливом усіх механізмів. Отримана математична модель дозволить проаналізувати систему та зрозуміти вплив кожного елемента на роботу вимикача вцілому.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. G. Song, J. Cui, and D. Yuan, "Operating analysis of high voltage circuit breaker in 1999–2003," *Electrical Equipment*, vol. 6, no. 2, pp. 6–13, 2005
2. Grote KH, Antonsson EK. Springer Handbook of Mechanical Engineering. New York, USA: Springer, 2009.
3. W. Liu and B. Xu, "Characteristic analysis of high voltage circuit breaker with hydraulic operating mechanism," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 46, no. 10, pp. 148–155, 2010.
4. Михеев Г. М. Цифровая диагностика высоковольтного оборудования / Г.М. Михеев – М.: Изд. дом "ДОДЭКА", 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.

**ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ**

**Анотація** Запропоновано мікропроцесорний пристрій для реалізації системи діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів на основі моделі обробки сигналів із застосування логіко-часових функцій. Здійснено синтез апаратного забезпечення, необхідного для побудови системи діагностування, та розроблено алгоритм роботи пристрою.

**Ключові слова.** мікропроцесор, гальмівні кола, частотно-керований асинхронний електропривод, логіко-часові функції.

**Abstract.** The aim is to improve the reliability of the frequency-controlled asynchronous electric drive by creating microprocessor diagnosing brake circuits frequency-controlled asynchronous electric model-based signal processing with application logic-time functions.

**Keywords.** Multilevel inverter, solar module, mathematical model.

В роботі [1] запропонована математична модель системи діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів із застосуванням логіко-часових функцій (ЛЧФ) та описано принцип, за яким формується таблиця зразкових станів гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода Для реалізації такої системи діагностування схема вимірювального тракту необхідних параметрів гальмівного кола, матиме вигляд, наведений на рис. 1.

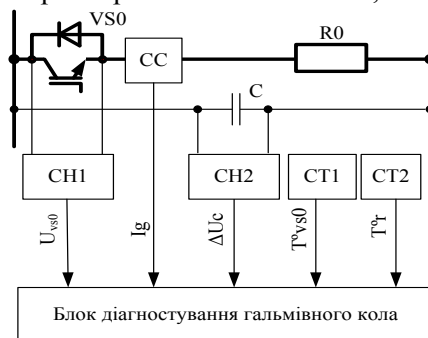


Рис 1– Схема вимірювального тракту системи діагностування гальмівного кола

де, CC – сенсор струму гальмівного кола; CH1, CH2 – сенсори напруги; CT1,CT2 – сенсори температури.

Структурна схема блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти зображена на рис. 2.

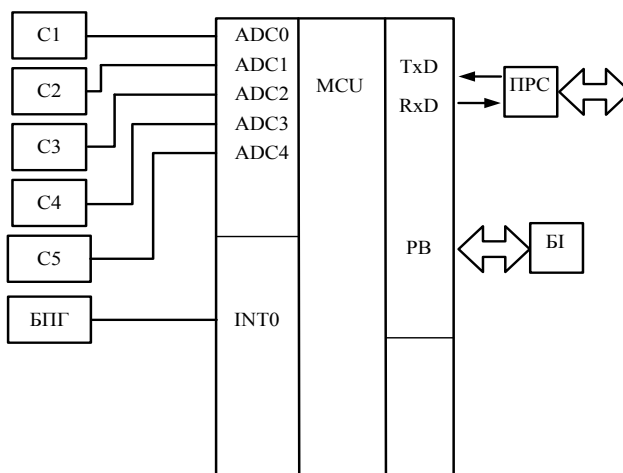


Рис. 2 – Структурна схема блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти



На схемі: С1-С5 – сенсори параметрів діагностичних ознак; MCU - мікроконтролер; ПРС - перетворювач рівня сигналів; БІ - блок індикації, БГП - блок початку гальмування.

Сенсори С1-С5 підключені до входів внутрішнього комутатора, вихід якого підключений до входу внутрішнього АЦП. Сенсори призначені для безпосереднього вимірювання параметрів діагностичних ознак стану гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода. Блок початку гальмування формує сигнал про початок гальмування електропривода, який подається на вхід зовнішнього переривання. Блок ПРС призначений для перетворення рівня сигналів із внутрішнього передавача UART у будь-який інший протокол послідовних інтерфейсів, з метою з'єднання пристрою діагностування із системами вищого рівнями обробки інформації та інтеграції у системи автоматизації. БІ призначений для індикації результату діагностування безпосередньо біля пристрою діагностування.

Із сигналів, отриманих при вимірюваннях, формуємо поточний стан гальмівного кола, відповідно наведеній у роботі [1] таблиці станів гальмівного кола. В результаті ми отримуємо сигнал логічної одиниці "1", якщо вимірне значення знаходиться в діапазоні значень при справній роботі, або сигнал логічного нуля "0", коли виходимо за межі цього діапазону значень.

Блок діагностування гальмівних кіл перетворювача частоти побудований на основі мікроконтролера, наприклад, фірми ATMEL, модель Atmega16.[2]

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Грабко В. В. Застосування логіко-часових функцій у задачі діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів / В. В. Грабко, С. М. Левицький, А. А. Бартецький – Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – №1(2016). – С.25 – 31.

2. Atmega16 Technical Reference Manual – [Електроний ресурс]. Режим доступу: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>

**Бартецький Андрій Анатолійович** – асистент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, [Bartetskyu@gmail.com](mailto:Bartetskyu@gmail.com)

## ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Представлена схема мехатронного гідропривода на базі насоса змінного робочого об'єму та контролера. Виявлено вплив конструктивних параметрів мехатронного гідропривода на динамічні характеристики. Проведена оптимізація в просторі трьох параметрів по критерію, що включає час регулювання, перерегулювання та величину втрат в системі керування насосом. Знайдено оптимальне сполучення конструктивних параметрів.

Ключові слова: мехатронний гідропривод, характеристики гідропривода, параметри оптимізації, критерій оптимізації, оптимальні параметри.

### Abstract

Circuit of the mechatronic hydraulic drive, based on a variable-displacement pump and a controller, is presented. Influence of the mechatronic drive design parameters on dynamic characteristics was determined. Optimization in the three-parameter space was performed according to the criterium that included setting and overshooting periods as well as the amount of losses in the pump control system. Optimal set of the combined regulator design parameters was found.

Keywords: mechatronic hydraulic drive, hydraulic drive characteristics, optimization parameters, optimization criterium, optimal parameters.

На сьогоднішній день в будівництві, на транспорті, сільському та комунальному господарствах широко застосовуються мобільні робочі машини з гідроприводами на базі насосів змінного робочого об'єму. Це дозволяє регулювати параметри руху робочих органів в широких діапазонах та забезпечувати високі показники ККД гідроприводів [1, 2].

В гідроприводах мобільних робочих машин з насосами змінного робочого об'єму досить часто застосовують контролери. Це дозволяє суттєво покращити характеристики гідроприводів, створити умови для автоматизації робочого циклу машини, поліпшити умови роботи оператора машини [1, 3, 4].

Для забезпечення якісного виконання робочих операцій мобільними робочими машинами, гідроприводи повинні мати певні статичні, динамічні та енергетичні характеристики. Характеристики гідроприводів в значній мірі залежать від структури та конструктивних параметрів.

Досить часто зміна певних конструктивних параметрів викликає покращення одних характеристик та одночасно погіршення інших. Постає задача у підвищенні енергетичної ефективності шляхом вибору оптимальних значень конструктивних параметрів системи керування насосом на основі критерію оптимізації, що включає декілька показників якості роботи гідропривода.

У Вінницькому національному технічному університеті розроблена схема мехатронного гідропривода на основі насоса змінного робочого об'єму та контролера, що має аналогові входи і виходи. Схема мехатронного гідропривода представлена на рис. 1.

Схема включає насос 1 з планшайбою 2, сервоциліндром 3 та пружиною 4. Насос 1 приводить до руху поршень 6 гідроциліндра 5 на який діє навантаження  $N$ . Запуск та зупинка гідроциліндра забезпечується гідророзподільником 7. Контролер 8 отримує сигнали  $i_1$  та  $i_2$  від датчиків тиску 14 та 13 і по спеціальному алгоритму формує сигнал керування  $U_m$ , який через підсилювач 9 поступає на електромагніт 10 та сервоклапан 11. Золотник 12 сервоклапана під дією сигналу керування формує таке значення тиску  $p_o$  при якому потужність  $P_n$ , що подається регульованим насосом 1 буде підтримуватись постійною при зміні швидкості руху  $v$  штоку 6 гідроциліндра, або навантаження  $N$ , що діє на шток 6 гідроциліндра 5. Підтримання постійної величини потужності  $P_n$ , що подається насосом 1 до гідроциліндра дозволяє в повній мірі використовувати можливості двигуна внутрішнього згорання машини, який забезпечує роботу мехатронного гідроприводу. Застосування

контролера в розробленій схемі дозволяє формувати алгоритми керування насосом з урахуванням характеристик та умов роботи мехатронного гідропривода.

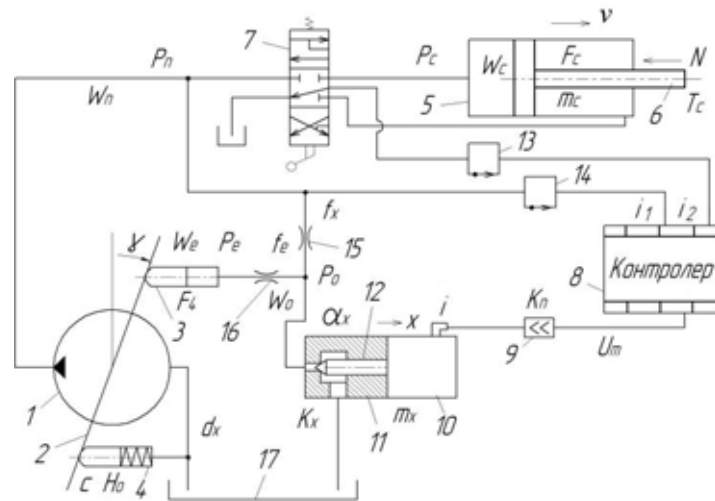


Рис. 1. Схема мехатронного гідропривода

При проектуванні гідроприводів мобільних робочих машин необхідно забезпечити певні статичні та динамічні характеристики. На стадії проектування такі характеристики можуть бути оцінені на основі досліджень робочих процесів в гідроприводах, виконаних із застосуванням математичних моделей [5].

До мехатронного гідропривода висуваються такі вимоги [6]:

- час регулювання  $t_p < 1,2$  с;
- перерегулювання  $\sigma < 60$  %;
- втрати потужності в системі керування насосом змінного робочого об'єму  $P_p < 1,5$  кВт.

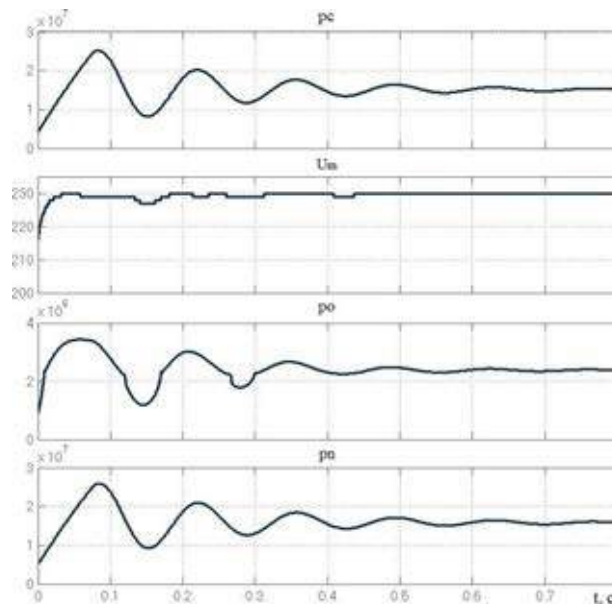


Рис. 2. Перехідний процес в мехатронному гідроприводі при ступінчастій зміні навантаження (  $p_c$  - тиск на вході в гідроциліндр,  $U_m$  - сигнал на вході контролера,  $p_o$  - тиск на вході в сервоклапан,  $p_v$  - тиск на виході насоса)

Визначено вплив конструктивних параметрів на динамічні характеристики мехатронного гідропривода в таких діапазонах:

- $k_x$  - коефіцієнт підсилення робочого вікна сервоклапана,  $k_x = (1 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  м;

$$k_x = \mu \cdot \pi \cdot d_x \cdot \sin \frac{\alpha_x}{2} \quad (1)$$

-  $f_e$  – площа демпфера 16,  $f_e=(0,5\dots5,0)\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ ;

-  $f_x$  – площа дроселя 15,  $f_x=(0,5\dots5,0)\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ .

На рис. 3 та рис.4 представлено вплив конструктивних параметрів на величину часу регулювання. Параметри  $k_x, f_e$  та  $f_x$  представлені в безрозмірному вигляді, при цьому їх максимальні значення були такими:

-  $k_x^{\text{max}}=6\cdot 10^{-3}\text{ м}$ ;

-  $f_e^{\text{max}}=5\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ ;

-  $f_x^{\text{max}}=1,8\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ .

В результаті дослідження виявлено, що збільшення  $k_x$  призводить до збільшення часу регулювання  $t_p$  та перерегулювання  $\sigma$ , а збільшення  $f_e$  та  $f_x$  призводить до зменшення  $t_p$  та  $\sigma$ . Однак вибір значень конструктивних параметрів  $k_x, f_e$  та  $f_x$ , які б забезпечували виконання вимог до мехатронного гідропривода, утруднений тим, що збільшуючи величину  $f_e$  для зниження  $t_p$  та  $\sigma$  ми одночасно будемо збільшувати втрати потужності  $P_y$  в системі керування насосом змінного робочого об'єму.

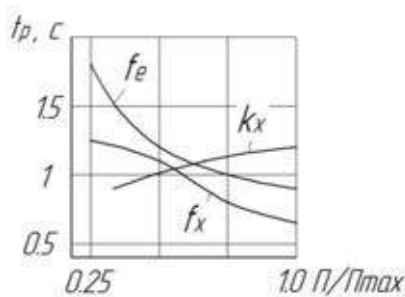


Рис. 3. Вплив конструктивних параметрів на час регулювання  $t_p$

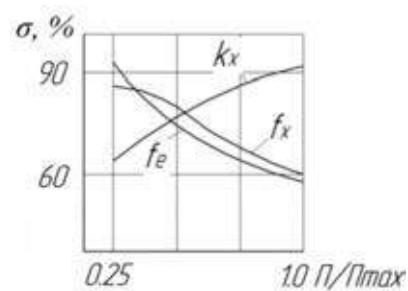


Рис. 4. Вплив конструктивних параметрів на величину перерегулювання  $\sigma$

Вибір параметрів мехатронного гідропривода здійснено на основі оптимізаційного підходу. В процесі оптимізації три параметри оптимізації змінювались по трьом рівням [5]:

-  $k_x=1,0\cdot 10^{-3}\text{ м}; 2,5\cdot 10^{-3}\text{ м}; 5,0\cdot 10^{-3}\text{ м}$ ;

-  $f_e=1\cdot 10^{-6}\text{ м}^2; 2,5\cdot 10^{-6}\text{ м}^2; 4,0\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ ;

-  $f_x=0,8\cdot 10^{-6}\text{ м}^2; 1,2\cdot 10^{-6}\text{ м}^2; 1,6\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ .

В критерій оптимізації  $k$  мехатронного гідропривода включено величину часу регулювання  $t_p$ , перерегулювання  $\sigma$  та величину втрат потужності в системі керування  $P_y$  з відповідними ваговими коефіцієнтами.

$$k = k_{01} \frac{t_p}{t_p^{\text{max}}} + k_{02} \frac{\sigma}{\sigma^{\text{max}}} + k_{03} \frac{P_y}{P_y^{\text{max}}}, \quad (2)$$

де  $k_{01}=0,3$ ,  $k_{02}=0,3$ ,  $k_{03}=0,4$  – вагові коефіцієнти показників часу регулювання  $t_p$ , перерегулювання  $\sigma$  та величина втрат потужності в системі керування насосом  $P_y$ ;

$t_p, \sigma, P_y$  – поточні значення часу регулювання, перерегулювання та величини втрати потужності;

$t_p^{\text{max}}, \sigma^{\text{max}}, P_y^{\text{max}}$  – максимальні значення величини часу регулювання, перерегулювання та величини втрат потужності в системі керування в процесі оптимізації.

Величина втрат потужності в системі керування насосом  $P_y$  визначалась за формулою:

$$P_y = p_n \cdot \mu \cdot f_x \cdot \sqrt{\frac{2(p_n - p_o)}{\rho}}, \quad (3)$$

де  $p_n$  та  $p_o$  – величини тисків в усталених режимах роботи.

Виконані розрахунки перехідних процесів при 27 сполученнях параметрів оптимізації. Для кожного сполучення розраховано значення критерію оптимізації  $k$ . Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

В процесі оптимізації знайдене сполучення конструктивних параметрів мехатронного гідропривода, при якому забезпечується мінімальне значення  $k$ .

## Результати розрахунків найкращої сукупності параметрів оптимізації

$k_x \cdot 10^{-3}$ м	$f_x \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup>	$f_e \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup>	$t_p$ , с	$\sigma$ , %	$P_y$ , Вт	$k$	№ дослід
5	0,8	1	1,6	89	1455	0,77	19
5	0,8	2,5	1,2	83	1453	0,71	20
5	0,8	4	0,7	62	1488	0,53	21
5	1,2	1	1,6	89	2156	0,87	22
5	1,2	2,5	1,1	80	2154	0,78	23

Мінімальна величина критерію оптимізації  $k=0,53$  знайдено у досліді №21 при значеннях параметрів оптимізації  $k_x=5 \cdot 10^{-3}$  м,  $f_x=0,8 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup> та  $f_e=4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>. При цьому досягнута величина часу регулювання  $t_p=0,7$  с, перегулювання  $\sigma=62\%$ , втрати потужності в системі керування насосом змінного робочого об'єму  $P_y=1,488$  кВт.

**Висновки.** Виявлено, що в мехатронному гідроприводі з насосом змінного робочого об'єму вибір параметрів, що забезпечують при проектуванні певні характеристики, утруднений. Зміна параметрів покращує одні характеристики, але одночасно погіршує інші.

В процесі оптимізації знайдено оптимальне сполучення конструктивних параметрів  $k_x=5 \cdot 10^{-3}$  м,  $f_x=0,8 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup> та  $f_e=4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>, при якому забезпечуються значення характеристик  $t_p=0,7$  с,  $\sigma=62\%$ ,  $P_y=1,488$  кВт для незмінних інших параметрах та експлуатації гідроприводу в діапазонах подач насоса  $Q_n=(0,1 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с та тиску  $p_n=(1 \dots 16)$  МПа, що відповідає вимогам до мехатронного гідропривода.

## СПИСОК ВИКОРИСТОНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпуляторів з адаптивними регуляторами на основі нейромереж для мобільних робочих машин: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук / Козлов Леонід Геннадійович. – К., 2015. - 420 с.
2. Свешников В. К. Аксиально-поршневы насосы в современных гидроприводах / Свешников В. К. // Гидравлика и пневматика: Информационно-технический журнал. – 2005. - №18. - С. 8-12.
3. Dreher Thorsen. Energieeffizienz von Konstantdrucksystemen sekundargeregelten Antrieben beim Einsatz in mobilen Arbeitsmaschinen / Dreher Thorsen // KIT Scientific Publishing. Karlsruhe. – 2015. - 196 p.
4. Kozlov L. Digital PD controller for dynamic correction of the differential component coefficient for a mechatronic hydraulic system / Kozlov L. // Tehnomus journal: Proceedings of the XVII<sup>th</sup> International Conference “New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies”. - Suceava, Romania. – 2013. - pp. 120-125.
5. Козлов Л. Г. Оптимізація конструктивних параметрів мехатронного гідропривода з насосом змінного робочого об'єму / Л. Г. Козлов, В. В. Богачук, А. О. Товкач // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2016. - №78.
6. Черных, И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / Черных, И. В. – М.: Диалог, 2003. - 236 с.

**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.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ЯКОСТІ ТЯГОВИХ УСТАНОВОК ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Показано, що частотно-регульовані асинхронні електроприводи доцільно застосовувати в якості тягових установок лише в легкових електромобілях, вантажних електромобілях, призначених для перевезення легких вантажів, та в тролейбусах і трамваях міст, що лежать на горизонтальних поверхнях, а в якості тягових установок вантажних електромобілів, призначених для перевезення великих вантажів, та тролейбусів і трамваїв міст, що лежать на поверхнях зі складним рельсфом, доцільно застосовувати електроприводи постійного струму з електродвигунами послідовного збудження

**Ключові слова:** електромобіль, трамвай, тролейбус, тяговий електропривод, асинхронний електродвигун, електродвигун постійного струму з послідовним збудженням, область застосування

### Abstract

It is shown that asynchronous electrical drive unit with adjustable frequency better to use as a traction unit only for passenger electric vehicles and electrical trucks that designed for light loads transportation and also for city trolleybuses and trams that lie on horizontal surface. But for freight electric vehicles that designed for large loads transportation and city trolleybuses and trams that lie on surfaces with difficult terrain is better to use electric DC motors with serial excitation.

**Keywords:** electric vehicle, trolleybus, tram, traction electrical drive, asynchronous motor, dc motor with series excitation, area of application

### Постановка задачі

Більшість світових автовиробників починають наряду з бензиновими і дизельними автомобілями випускати і електромобілі, поки-що переважно легкові, на які ставлять частотно-регульований асинхронний електропривод.

Як відомо [1,2], обертовий момент  $M$  асинхронних електродвигунів визначається залежністю

$$M \approx \frac{cU_1^2}{\omega_1} \cdot \frac{sr_2}{r_2^2 + s^2x_2^2}, \quad (1)$$

де  $U_1$  – напруга, що прикладається до обмотки статора асинхронного електродвигуна;  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання електромагнітного поля обмотки статора;  $s$  – проковзування ротора;  $r_2, x_2$  – відповідно, активний та реактивний опори короткозамкнутої обмотки ротора;  $c$  – константа, що визначається через паспортні дані асинхронного електродвигуна.

Якщо врахувати, що проковзування – це

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора, то вираз (1) можна привести до вигляду –

$$M \approx \frac{cU_1^2(\omega_1 - \omega)r_2}{\omega_1^2 r_2^2 + (\omega_1 - \omega)^2 x_2^2}. \quad (3)$$

В свою чергу вираз (3) можна представити у вигляді рівняння –

$$\omega^2 + \frac{cU_1^2 r_2 - 2M\omega_1 x_2^2}{Mx_2^2} \omega + \frac{M\omega_1^2 (r_2^2 + x_2^2) - cU_1^2 \omega_1 r_2}{Mx_2^2} = 0, \quad (4)$$

додатній корінь якого можна знайти з виразу

$$\omega = \omega_1 - \frac{cU_1^2 r_2}{2Mx_2^2} + \sqrt{\frac{(cU_1^2 r_2 - 2M\omega_1 x_2^2)^2}{4M^2 x_2^4} - \frac{M\omega_1^2 (r_2^2 + x_2^2) - cU_1^2 \omega_1 r_2}{Mx_2^2}}, \quad (5)$$

який у згорнутому вигляді може бути записаний і як

$$\omega = f(\omega_1, M), \quad (6)$$

що дозволяє стверджувати, що кутова швидкість  $\omega$  обертання ротора асинхронного електродвигуна є функцією  $f$  від кутової швидкості  $\omega_1$  обертання поля його статора та електромагнітного моменту  $M$ .

Конкретизуючи параметри у виразі (5) та задаючи для кожного фіксованого значення  $\omega_1$  ряд значень  $M$ , можна побудувати сімейство кривих (6), орієнтовний графік яких показано на рис.1 трьома самоподібними кривими.

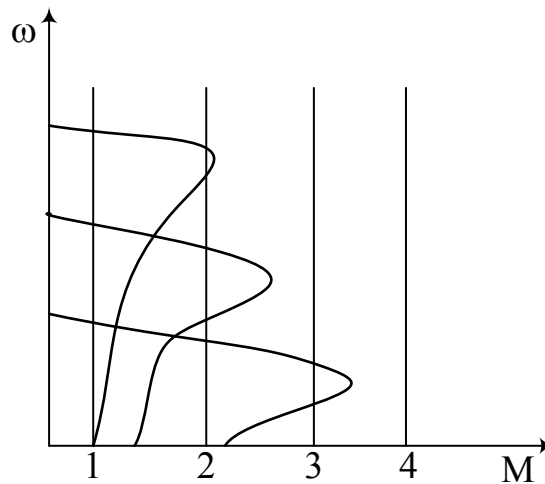


Рис. 1. Орієнтовні графіки залежностей кутової швидкості обертання роторів електродвигунів від електромагнітного моменту, що створюється на їх валах

На цьому ж рисунку вертикальними лініями зображено сімейство значень моменту навантаження  $M_i, i = 1, 2, 3, 4$ , який протидіє електромагнітному моменту електродвигуна згідно з рівнянням динаміки –

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_i, \quad (7)$$

з якого витікає, що вал електродвигуна буде обертатись зі сталою кутовою швидкістю лише за умови, що

$$M = M_i. \quad (8)$$

В разі ж, якщо матимемо

$$M < M_i, \quad (9)$$

вал електродвигуна зупиниться і електромобіль, для якого цей електродвигун служить тяговою установкою, не зможе продовжувати рух. А якщо електромобіль долає підйом дороги, то при не накладенні механічних гальм на колеса він покотиться у цьому випадку назад.

А тепер розглянемо залежність кутової швидкості обертання ротора електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням від його електромагнітного моменту, для якого, як відомо [1, 2], справедливими є рівняння:

$$\begin{aligned} U_1 &= E_j + I_j R, \\ E_j &= c_E \omega \Phi, \\ M &= c_M \Phi I_j, \end{aligned} \quad (10)$$

в яких  $c_E, c_M$  – паспортні константи;  $E_j, I_j$  – е.р.с. та струм в обмотці якоря, розміщеній на роторі;  $R$  – сумарний опір в колі обмотки якоря, до якого прикладена напруга  $U_1$  від зовнішнього джерела, яким в електромобілі є акумуляторна батарея;  $\Phi$  – магнітний потік, створюваний послідовною обмоткою збудження внаслідок проходження по ній струму  $I_j$ .

Із системи рівнянь (3), знайдемо, що

$$\omega = \frac{U_1 - I_j R}{c_E \Phi} = \frac{c_M}{c_E} \frac{U_1 I_j - I_j^2 R}{c_M \Phi I_j} = \frac{c_M}{c_E} \frac{P - \Delta P}{M} \quad (11)$$

Із виразу (11) видно, що кутова швидкість обертання ротора цього електродвигуна не стане рівною нулю доти, доки уся підведена від зовнішнього джерела електрична потужність не стане рівною її втратам на сумарному активному опорі в колі обмотки якоря, чого без додаткового уведення зовнішнього опору у це коло не станеться ніколи в принципі. Цей факт наочно підтверджується характером залежності  $\omega = \varphi(M)$ , орієнтовний графік якої приведено на рисунку у вигляді гіперболічної кривої. Тож, як бачимо із рисунку, для цієї кривої умова (9) без уведення додаткового опору в коло обмотки якоря не виникатиме ніколи. А тому електромобіль з тяговим електричним двигуном послідовного збудження не зменшуватиме кутову швидкість обертання колісної осі до нуля і не зупинятиметься, незважаючи на зростання моменту навантаження на цю вісь, яке завжди виникає під час руху електромобіля на підйом, особливо великовантажного.

### Висновки

Із приведених співвідношень і графіків витікає, що частотно-регульований асинхронний електропривод доцільно використовувати лише в легкових електромобілях, вантажних електромобілях малої вантажотонажності та тролейбусах і трамваях у містах, розташованих на горизонтальній поверхні, тобто, для умов руху, під час здійснення якого не виникають моменти навантаження більші за ті, які можуть бути створеними асинхронними електродвигунами прийнятної потужності та габаритів А для створення тягового зусилля вантажних електромобілів великої вантажотонажності та тролейбусів і трамваїв у містах, розташованих на поверхнях зі складним рельєфом, де є круті підйоми, доцільно використовувати електродвигуни постійного струму з послідовним збудженням.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины./ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов// М.: Высшая школа. – 1971. – 432 с.
2. Электротехнический справочник, т.2. Электротехнические устройства. Под общей редакцией проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 640 с.

**Мокін Олександр Борисович** – д.т.н., проф., завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів (ВЕТЕСК).

**Мокін Борис Іванович** – акад. НАПН України, д.т.н., проф., професор кафедри ВЕТЕСК.

**Лобатюк Віталій Анатолійович** – аспірант кафедри ВЕТЕСК, e-mail: vitalik.htc@gmail.com .

**Mokin Oleksandr B.** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes.

**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, e-mail: vitalik.htc@gmail.com .

# АНАЛІЗ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

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

## *Анотація*

*Проаналізоване апаратне забезпечення для побудови системи моніторингу параметрів ВЕУ.*

**Ключові слова:** вітроенергетична установка, програмований логічний контролер, моніторинг.

## *Abstract*

*Analyzed the hardware for the construction of wind turbine monitoring system parameters.*

**Keywords:** wind turbine, programmable logic controller, monitoring.

## 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).

Для надійного функціонування безредукторних вітроенергетичних установок потрібно контролювати їх параметри. Вирішується дана задача застосуванням мікропроцесорних пристроїв.

## Аналіз апаратного забезпечення

Для розв'язання поставленої задачі було проведено аналіз існуючого апаратного забезпечення. Існують системи побудовані на базі:

1. Ардуіно.
2. Програмованих логічних контролерів.

**Ардуіно (Ардуіно)** — апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є підмножиною C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері.[2]

Сторонніми виробниками випускається велика гамма всіляких датчиків і виконавчих пристроїв сумісних з процесорними платами Ардуіно.

Arduino рідко застосовується для промислових об'єктів.[2]

**Програмований логічний контролер (ПЛК)** — електронний пристрій, який використовується для автоматизації технологічних процесів таких як, управління конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання, верстатами з числовим програмним керуванням тощо.[3]

Основним принципом дії ПЛК є циклічна робота, у якій контролер виконує по черзі окремі команди у такій послідовності, в якій вони записані у програмі. На початку кожного циклу програма зчитує «картину» стану входів контролера та записує їх стани (таблиця стану входів процесу). Після виконання всіх команд і визначення (підрахунку) актуального для даної ситуації стану виходів, контролер вписує стани виходів до пам'яті, що є таблицею стану виходів процесу а операційна система вистав-

ляє відповідні сигнали на виходи, котрі управляють виконавчими механізмами. Отже всі сигнальні комбінації подаються у вхідний модуль контролера, а програма відслідковує їх картину та реагує зміною станів виходів на основі закладеного алгоритму.

Цикл роботи ПЛК може виглядати як послідовність кроків:

1. Автодіагностика.
2. Зчитування входів.
3. Виконання програми.
4. Комунікаційні завдання.
5. Встановлення станів виходів.
6. Виведення даних на людино-машинний інтерфейс(панель оператора).

ПЛК може складатися з:[3]

1. модуля центрального процесора (CPU);
2. модуля аналогових виходів;
3. модуля аналогових входів;
4. модуля комунікацій;
5. модуля дискретних виходів;
6. модуля дискретних входів;
7. модуля керування осями;
8. модуля лічильників;
9. спеціальних модулів;
10. блоків пам'яті ROM, PROM, EPROM, EEPROM.

Перевагою Arduino над ПЛК є його вартість. Але ПЛК має більш функціональні можливості та більш надійний у своїй роботі.[3]

### Висновок

Програмований логічний контролер дозволяє легко та просто на його базі побудувати SCADA систему. На базі Arduino також можна побудувати систему моніторингу, але вона буде дещо обмежена в своєму функціоналі. Отже, при виборі пристроїв для побудови системи моніторингу потрібно враховувати ряд факторів, а саме: функціонал, вартість та надійність.

### 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. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. — БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.
3. Минаев И. Г. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления / И. Г. Минаев, В. М. Шарапов, В. В. Самойленко, Д. Г. Ушкур. 2-е изд., перераб. и доп. — Ставрополь: АГРУС, 2010. — 128 с.

**Василь Васильович Марчук** — студент групи ЕТЗ-16м, факультет електроенергетики та електро-механіки, 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.

**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.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОПАЛИВНИХ ДВИГУНІВ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК НА НОМІНАЛЬНОМУ ТА ЧАСТКОВИХ РЕЖИМАХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Представлені результати багатокритеріального порівняння варіантів когенераційних теплових двигунів для водогрійної котельні. Показана доцільність обліку графіка електричних навантажень при виборі джерел теплової та електричної енергії для підприємства.*

**Ключові слова:** когенерація, теплові двигуни, багатокритеріальний аналіз.

### *Abstract*

*The results of multi comparison options cogeneration of heat engines for hot water boiler. Expediency accounting graphics electrical loads in selecting sources of heat and electricity for the company.*

**Keywords:** cogeneration, heat engines, multi analysis.

### Вступ

Когенерація означає виробництво електричної та теплової енергії в одному процесі. Когенераційне устаткування дає змогу використовувати паливо з ККД 90-92%. У системах теплоенергопостачання (СТЕП) з водогрійними котельнями електричну енергію беруть з мережі або виробляють електрогенератори поршневих та газотурбінних установок. Поршневі та газотурбінні двигуни працюють на проблемних для України рідких та газоподібних паливах і тому, обсяги використання біодизеля та біогазу для двигунів збільшуються. Існуючі СТЕП працюють, як в базовому, так і за змінними графіками навантажень. Метою роботи є дослідження ефективності перспективних СТЕП з когенераційними установками при роботі в широкому діапазоні навантажень.

Першою розглядається района водогрійна котельня з постійним на протязі року навантаженням гарячого водопостачання 20 МВт. Електроенергія на власні потреби котельні береться з електромережі. Пропонується встановити теплонасосну установку (ТНУ) з приводом компресора від когенераційних поршневих або газотурбінних двигунів. Обираємо газопоршневий двигун (ГПД) TCG 2032V16 електричною потужністю 4300 кВт та тепловою потужністю 4160 кВт [1]. Обираємо ГТУ типу ГТУ33 – 2,5МС електричною потужністю 2350 кВт та тепловою потужністю 10920 кВт [2]. В якості прототипу дизельного двигуна прийємо двигун ЧМ 26/26 потужністю 4400 кВт [3]. Розглядаються наступні варіанти теплових двигунів. 1. Дизель на дизпаливі. 2. ГПД на природному газі. 3. Дизель на біодизелі В20. 4. ГПД на біогазі. 5. ГТУ на природному газі. 6. ГТУ на газотурбінному паливі. 7. ГТУ на біопаливі. Критерії порівняння варіантів двигунів прийняти такими. 1. Капіталовкладення. 2. Затрати на паливо. 3. Затрати на ремонт. 4. Моторесурс. 5. Рівень негативного впливу на персонал. 6. Ймовірність безвідмовної роботи. 7. Кількість капітальних ремонтів за 10 років. 8. Викиди CO<sub>2</sub> + NO. 9. Теплова потужність. 10. Електрична потужність. Чисельні значення критеріїв визначалися за літературними даними. Варіанти двигунів оцінювалися методом системного аналізу. Отримані результати оцінки варіантів (чисельні значення функції корисності) такі: 1-0,66; 2-0,8; 3-0,4; 4-0,82; 5-0,6; 6-0,25; 7-0,3. Кращим є варіант з ГПД на біогазі. Для визначена стійкості отриманого результату виконані розрахунки за зміненими пріоритетами критеріїв оцінок двигунів. Кращим знову виявився варіант з ГПД на біогазі. Цей двигун застосуємо для приводу ТНУ. Розрахунок показує, що сумарна теплова потужність когенераційної та теплонасосної установок складе біля 15 МВт, а термін окупності установок дорівнює 5 років. Отже

когенераційні установки при їх роботі в базовому режимі є ефективними. Розглянемо ефективність когенераційних установок на змінних режимах роботи на прикладі СТЕП підприємства. В ній теплове навантаження 3 МВт забезпечує водогрійна котельня на газовому паливі, а електроенергетичні потреби забезпечує електрична мережа. Максимальна споживана електрична потужність підприємства складає 4,3 МВт. Підприємство працює 6500 годин в рік при відносних електричних навантаженнях: 1-5%; 0,854-50%; 0,66-20%; 0,509-10%; 0,253-5%; 0,153-5%; 0,112-3%; 0,047-2%. Метою досліджень є визначення доцільності заміни існуючої СТЕП когенераційним тепловим двигуном. Задачами роботи є розрахунки експлуатаційних затрат на існуючу СТЕП та на варіанти з дизельним та газотурбінним двигунами на рідких паливах потужністю по 4,3 МВт. Розрахунок існуючої СТЕП показав, що річні експлуатаційні затрати складають 70,6 млн. грн, а котельня є збитковою. Річні експлуатаційні затрати на варіанти з дизелем та ГТУ визначались як сума на паливо, ремонт, зарплату дизелістам (турбіністам), транспортування палива, закупівлю теплової енергії, недовиробленої когенераційною установкою у варіанті з ДВЗ за мінусом виручки від продажу надлишкової теплової енергії у варіанті з ГТУ.

Розрахунки за допомогою комп'ютерних програм показали, що річні експлуатаційні затрати на дизельну установку склали 89,7 млн. грн, а на газотурбінну установку 98 млн. грн. Тобто, навіть без врахування затрат на придбання двигунів в даному випадку, вони себе не виправдовують.

### Висновки

1. Розглянуті варіанти застосування когенераційних двигунів в районній водогрійній котельні з постійним тепловим навантаженням гарячого водопостачання. Визначено методом системного аналізу, що найкращим є варіант з газопоршневим двигуном на біогазі.

2. Застосування когенераційних двигунів в водогрійній котельні з постійним тепловим навантаженням є доцільним. Термін окупності теплонасосної установки з газопоршневим приводом складає 5 років.

3. Розглянута система теплоенергопостачання підприємства (СТЕП), в якій теплову енергію забезпечує водогрійна котельня на газі, а електрична енергія береться з електромережі.

4. Виконані розрахунки річних експлуатаційних затрат існуючого варіанта СТЕП та варіантів з когенераційними двигунами. Результати розрахунків показали недоцільність заміни існуючої СТЕП когенераційними двигунами. Причинами цього є: висока вартість рідких палив для теплових двигунів; жорстка залежність між електричною та тепловою потужностями через що необхідне джерело теплової енергії, яке при зниженні навантаження двигуна компенсує нестачу; зменшення ККД двигунів зі зменшенням навантаження; висока вартість теплових двигунів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Газопоршневая электростанция MWM TCG 2032 V16 (4300 кВт ... [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.energo-motors.com/gazoporshnevaya-elektrostantsiya-gazovyy-generator-mwm...](http://www.energo-motors.com/gazoporshnevaya-elektrostantsiya-gazovyy-generator-mwm...)

2. Газотурбинные электростанции Мотор Сич — технические ... [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.manbw.ru/.../gazoturbinnye-elektrostantsii-motor-sich-tehnicheskie-harakteristik...](http://www.manbw.ru/.../gazoturbinnye-elektrostantsii-motor-sich-tehnicheskie-harakteristik...)

3. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов [та ін]; – М.: Машиностроение, 1983. – 372с.

**Маліванчук Іван Миколайович** – студент групи ЕМ-16м, 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);

**Нанакі 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@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

**Malivanchuk Ivan M.** – student of the group EM-16m, Faculty for Power Engineering and Electrical Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Golovchenko Olexiy 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@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглянуті питання застосування теплонасосної установки в системах централізованого теплопостачання. Приведені результати розрахунків показників роботи теплонасосної установки з різними типами приводів у складі теплової схеми ТЕЦ.*

**Ключові слова:** ТЕЦ, теплонасосна установка, приводи компресора, техніко-економічні показники.

### *Abstract*

*The questions the use of heat pump installations in district heating systems. The results of calculations of performance of heat pump installations with different types of drives consisting of thermal circuit CHP.*

**Keywords:** thermal power plants, heat pump installation, drives the compressor, technical and economic indicators

### **Вступ**

Одним з варіантів підвищення енергоефективності джерел енергопостачання є використання теплонасосних установок (ТНУ), які дозволяють вирішувати проблеми економії палива та покращення екологічної ситуації в містах. Найбільш розповсюдженими є парокompresорні ТНУ, які мають найбільший коефіцієнт перетворення та відносно прості у використанні. В якості об'єкта досліджень вибрана ТЕЦ м. Вінниця потужністю 64 МВт. Дійсні значення температур зворотної мережної води на ТЕЦ становлять  $t_{зв} = 31 - 44$  °С при нормативних значеннях  $t_{зв} = 36 - 55$  °С. Є доцільним розглянути варіант реконструкції ТЕЦ шляхом встановлення ТНУ потужністю 9 МВт для підігрівання зворотної мережної води. В якості приводу компресора є можливість використання електричного приводу, приводу від газотурбінної установки (ГТУ), а також двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ).

Задачі дослідження наступні:

1. визначення ефективності роботи теплової схеми ТЕЦ з використанням ТНУ з різними приводами;
2. дослідження впливу вартостей газу та електроенергії на ефективність ТЕЦ з ТНУ.

### **Результати дослідження**

Для порівняння ефективності типів приводу ТНУ були використані такі енергетичні та економічні критерії: витрата умовного палива на компресор ТНУ, кг/с; питома витрата умовного палива ТНУ, кг/ГДж; витрата умовного палива котельні без роботи ТНУ, кг/с; питома витрата умовного палива котельного без роботи ТНУ, кг/ГДж; питома витрата умовного палива на привід від дизель-генератора або привід від ГТУ, кг/(кВт·год); витрата умовного палива на привід від ДВЗ або привід від ГТУ, кг/с; тепла потужність ТНУ з електричним приводом компресора, МВт; собівартість виробленої енергії, грн/Гкал; різниця між приведеними затратами на базовий та поточний варіанти, млн. грн/рік; термін окупності, років. Ці показники були розраховані за допомогою розроблених комп'ютерних програм для ТНУ з різними типами приводу компресора. Як показали розрахунки, за такими енергетичними показниками ефективності, як економія умовного палива та питома витрата умовного палива, найбільш ефективним варіантом є ТНУ з приводом від ДВЗ, що забезпечує економію палива на 41,7% в порівнянні з ТНУ з електроприводом.

Вибір варіанту приводу ТНУ, залежить від співвідношення вартостей палива та електроенергії.

Виконані дослідження доцільності використання теплонасосної установки у складі ТЕЦ при зміні вартості газу та електроенергії для різних типів приводу. Як критерії економічної ефективності визначені: приведені затрати підприємства, термін окупності та собівартість теплової енергії. Відповідні розрахунки показали суттєвий вплив вартості електроенергії на критерії варіантів з водогрійним котлом у складі ТЕЦ та ТНУ у складі ТЕЦ з електроприводом. На варіант ТНУ з приводом від ГТУ та з приводом від ДВЗ вартість електроенергії практично не впливає. Зменшення приведених затрат в варіантах ТНУ з приводами від ГТУ і ДВЗ зумовлено роботою ТНУ у складі ТЕЦ за збільшення прибутку через продаж електроенергії. Досліджений вплив вартості електроенергії та вартості палива на межі вибору оптимального варіанта реконструкції ТЕЦ з ТНУ з електроприводом. Це зроблено за допомогою введеного коефіцієнта  $K$  – відношення вартості палива до вартості електроенергії. Ціна палива змінювалася в діапазоні 1,30-6,30 \$/м<sup>3</sup>, а ціна електроенергії 2-6 грн./кВт·год. Побудовані залежності дозволяють оцінити ефективність реконструкції для різних значень коефіцієнта  $K$ .

### Висновки

1. Досліджена залежність ефективності роботи ТНУ у складі ТЕЦ від типу приводу компресора. Визначено, що ТНУ з приводом від ДВЗ забезпечує економію палива 41,7%.
2. Визначений вплив вартостей палива та електроенергії на показники ТЕЦ з ТНУ.

*Гавришук Сергій Русланович* – студент групи EM-16м, 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@ukr.net.

*Gavrishuk Sergiy R.* – student of the group EM-16m, Faculty for Power Engineering and Electrical Mechanics, 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@ukr.net.

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Розглянуті заходи енергозбереження в буфеті, що знаходиться в приміщенні будівлі. Наведені результати системного аналізу можливих джерел енергії теплової схеми енергопостачання будівлі.*

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, теплонасосна установка, системний аналіз.

### **Abstract**

*Considered energy saving measures in the cafeteria, located in the premises of the building. The results of a systematic analysis of possible energy supply thermal circuit building.*

**Keywords:** renewable energy, heat pump installation, system analysis.

### **Вступ**

Енергоощадні джерела енергії зменшують плату за спожиті ресурси. Проте джерела енергії слід оцінювати також і за екологічними, медичними та іншими показниками, особливо, якщо вони встановлюються в місцях скупчення людей. Задачі даної роботи такі: 1. Економічне обґрунтування заходів енергозбереження в буфеті, розміщеному в будівлі. 2. Системний аналіз варіантів теплової схеми енергопостачання будівлі навчального закладу з відновлюваними та традиційними джерелами енергії.

### **Результати досліджень**

1. В буфеті для підігріву води використовується електрична плита потужністю 16 кВт, також встановлений електричний бойлер на 30 л. Розглянуті наступні заходи енергозбереження: 1.1. заміна плити електричними чайниками; 1.2. заміна електронагріву води газовим нагрівом; 1.3. застосування для нагріву води теплонасосної установки.

В розрахунках прийняті вартості: 1 м<sup>3</sup> газу – 8,2 грн., 1 квт·год електроенергії – 2,4 грн. Також використані такі експериментально визначені авторами тез дані. Витрата газу для нагріву 1 л. води від 15 градусів до температури кипіння на газовій плиті складає 0,026 м<sup>3</sup>, ККД використання теплоти згорання газу – 41%, вартість витраченого газу – 0,213 грн. Витрата електроенергії нагріву 1 л. води від 15 градусів до температури кипіння в електрочайнику складає 0,12 квт·год, ККД використання електроенергії – 84%, вартість витраченої електроенергії – 0,288 грн.

1.1. Заміна плити електричними чайниками. Розрахунки показали, що заміна електричної плити для нагрівання води на електричні чайники щорічно зекономить 10620 грн., а термін окупності складе 0,2 роки.

1.2. Заміна електронагріву води газовим нагрівом. Нагрів води доцільно виконувати в газовому кип'ятильнику КНД-8М з ККД 75%. В порівнянні з існуючим нагрівом переведення на газ знижує затрати на енергію підігріву води на 59%.

1.3. Застосування для нагріву води теплонасосної установки (ТНУ). Припускається, що вода гріється в ТНУ до температури  $t_x$  та догрівається в електрочайнику. Величина  $t_x$  визначається з умови мінімуму сумарних приведених затрат  $Z_{\text{сум}}$  на систему підігріву. Так, при  $t_x = 40^{\circ}$ , потужності конденсатора 8 кВт затрати  $Z_{\text{сум}}$  дорівнюють 6320 грн./рік.

2. Розглядається система теплоенергопостачання (СТЕП) будівлі. Розрахункова тепла схема СТЕП з можливими джерелами енергії та опис її роботи наведені в [1].



Ставиться задача багатокритеріальної оцінки варіантів можливих комбінацій джерел енергії. Початкові дані для розрахунків варіантів склалися за умов: необхідна для будівлі теплова потужність теплогенератора – 600 кВт, необхідна для будівлі електрична потужність електрогенератора – 40 кВт. Якщо варіанту не вистачає потужностей, то вони добираються з теплової та електричної мереж за відповідну оплату.

Розглядалися дев'ять варіантів.

Варіант 1. ПК – піролизний котел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 2. ЕК – електродкотел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 3. ВЕС – вітряна електростанція 14 кВт для продажу електричної енергії; ПК–піролизний котел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 4. СЕС – сонячна електростанція 10 кВт для продажу електричної енергії; ПК–піролизний котел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 5. СК – сонячні колектори 200 кВт + 400 кВт електродкотел; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 6. ТНУ – теплонасосна установка 600 кВт з електричним приводом 150 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 7. КГПД – когенераційна газо-поршнева установка електричною потужністю 40 кВт та тепловою 45 кВт; 555 кВт теплової потужності від теплової мережі.

Варіант 8. ІЧ – інфрачервоне опалення 600 кВт теплової потужності та 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 9. ГК – газовий котел 600 кВт та 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Критерії оцінки варіантів та результати їх розрахунку у вигляді значень частинних та сумарних функцій корисності (якості) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків варіантів системи теплонергопостачання будівлі

Критерії	ПК	ЕК	ВЕС	СЕС	СК+ЕК	ТНУ	КГПД	ІЧ	ГК
X1 - Затрати на енергоносії, млн. грн.	$4,29 \cdot 10^{-1}$	$2,16 \cdot 10^{-1}$	$3,24 \cdot 10^{-1}$	$3,24 \cdot 10^{-1}$	$2,96 \cdot 10^{-1}$	$3,87 \cdot 10^{-1}$	$3,34 \cdot 10^{-1}$	$3,48 \cdot 10^{-1}$	$3,83 \cdot 10^{-1}$
X2 – Капіталовкладення, млн. грн.	$2,57 \cdot 10^{-1}$	$2,64 \cdot 10^{-1}$	$2,49 \cdot 10^{-1}$	$2,55 \cdot 10^{-1}$	$1,51 \cdot 10^{-1}$	$2,53 \cdot 10^{-2}$	$2,38 \cdot 10^{-1}$	$2,21 \cdot 10^{-1}$	$2,52 \cdot 10^{-1}$
X3 – Викиди CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , т.	$1,40 \cdot 10^{-12}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	$1,39 \cdot 10^{-1}$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	$1,39 \cdot 10^{-1}$
X4 – Кількість золи, т.	$2,01 \cdot 10^{-3}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$	$6,75 \cdot 10^{-2}$
X5 – Вага устаткування, т.	$3,53 \cdot 10^{-2}$	$3,53 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-2}$	$3,27 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,53 \cdot 10^{-2}$	$3,53 \cdot 10^{-2}$	$3,53 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$
X6 – Негативний вплив на персонал	$1,60 \cdot 10^{-2}$	$1,60 \cdot 10^{-2}$	$7,88 \cdot 10^{-3}$	$1,60 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$9,90 \cdot 10^{-3}$	$3,90 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$
X7 – Відносна ймовірність відмов	$5,40 \cdot 10^{-3}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$	$7,10 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	$5,40 \cdot 10^{-3}$	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$	$6,26 \cdot 10^{-3}$
Функція «корисності»	0,746	0,749	0,824	0,843	0,681	0,671	0,820	0,834	0,895

## Висновок

1. Розглянуті заходи зменшення затрат на енергопостачання буфету в будівлі.

2. Виконаний системний аналіз варіантів комбінацій джерел енергії СТЕП будівлі. Найкращім є варіант –автономний газовий котел 600 кВт та 40 кВт електричної потужності з електромережі”. Він має відносно великі затрати на паливо, проте, в нього середні капіталовкладення та гарні екологічні показники. До того ж він найпростіший в реалізації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Груба М. В., Головченко О. М., Нанака О. М. Економічна ефективність застосування відновлюваних джерел енергії в системах теплоенергопостачання адміністративних будівель .Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23–24 березня 2016 р. — Електрон. текст. дані. — 2016. — Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/724>.

**Огороднік Марина Вікторівна** – студентка групи ЕМ-16 м, 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);

**Нанака 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@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

**Ogorodnik Maryna V.** – student of the group EM-16m, Faculty for Power Engineering and Electrical Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Golovchenko Oleksiy 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@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

## НАПРЯМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ЕНЕРГОБЛОКУ ЛАДИЖИНСЬКОЇ ТЕС

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Показана доцільність модернізації енергоблоку підвищенням початкових параметрів паросилового циклу. Наведені результати розрахунку та оптимізації параметрів обладнання енергоблоку з підвищеними початковими параметрами пари.*

**Ключові слова:** ТЕС, парогенератор, турбоустановка, оптимізація.

### *Abstract*

*Expediency upgrading unit increase in initial parameters for steam power cycle. The results of calculation and optimization of equipment unit with high initial steam parameters.*

**Keywords:** thermal power plants, steam generator, turbine, optimization.

### Вступ

Через зношування обладнання і зниження технічної можливості нести максимальне навантаження фактична питома витрата умовного палива на відпущену електроенергію Ладижинською ТЕС за 2015 рік перевищила проектну на 14,9% і становила 399,3 г/кВт·год. В цей рік ТЕС виробила 5288 млн. кВт·год електроенергії, на що витратила 2,75 млн. т. вугілля, 19875 т. мазута, 7,5 млн. м<sup>3</sup> газу. Ціна вугілля склала 1,53 грн/кг, газу – 6,6 грн/м<sup>3</sup>, мазуту – 7,15 грн/кг [1]. Відповідно затрати на паливо склала 4,402 млрд. грн. При проектній витраті палива затрати були б на 0,659 млрд. грн. меншими і собівартість (1,01 грн/кВт·год) та відпускна ціна електроенергії була б нижчою. Щорічні ремонти енергоблоків не вирішують головної задачі – виведення технології виробництва електроенергії на сучасний рівень. Найбільші ККД мають парогазові установки (ПГУ). Проте, для роботи ПГУ потрібне газоподібне або рідке паливо, якого в Україні замало. Одним із суттєвих способів підвищення економічності ТЕС є підвищення параметрів паросилового циклу. В 1963 році був пущений енергоблок з харківською турбіною Р-100 на супернадкритичні параметри пари 29,4 МПа і 650°C. Експлуатація блока була успішною, а його питома витрата умовного палива склала 315 г/кВт·год. Блок був дорожчий за звичайний, а відкриті поклади дешевого газу знизили гостроту проблеми підвищення ККД. Зараз модернізація енергоблоку Ладижинської ТЕС в напрямку використання пари супернадкритичних параметрів є доцільною. Задачі дослідження: 1. розробка програми термодинамічного розрахунку теплової схеми енергоблоку; 2. аеродинамічний розрахунок парогенератора; 3. дослідження теплової схеми за допомогою програм термодинамічного та техніко-економічного розрахунків .

### Результати досліджень

Затрати на будівельну та електричну частину енергоблоку залежать від його потужності і складають біля 25% його вартості. Для економії затрат на модернізацію, потужність блока залишена попередньою. Незмінною прийнята структура схеми бездеаераторної, з першим та другим змішувачами регенеративними підігрівниками низького тиску, з теплофікаційним навантаженням 15 МВт, яке забезпечується паром нерегульованих відборів двома теплофікаційними підігрівниками та охолодником конденсату цієї пари. Попередні термодинамічні розрахунки теплової схеми автори тез виконали за допомогою програмного середовища Mathcad. За допомогою цієї програми визначено, що підвищення початкового тиску пари до 29,4 МПа та температури гострої та вторинної пари до 650 °С при витраті пари 950 т/год потужність блока зростає до 360 МВт. Існуючі електрогенератори ТЕС на таку потужність не розраховані, тому варіантними розрахунками знайдена

витрата при якій потужність блока становить 300 МВт. Вона дорівнює 830 т/год. Ця витрата прийнята для подальших розрахунків парогенератора та турбоустановки. Результати теплового конструкторського розрахунку парогенератора суперзверхкритичних параметрів пари ТПП-СЗКП наведені в [2]. Порівняння аеродинамічних характеристик існуючого парогенератора ТПП-312 із розрахованими аеродинамічними характеристиками ТПП-СЗКП показали, що опори повітряного та газового трактів відрізняються не суттєво. Тому в модернізованому блоці можуть бути використані існуючі вентилятори. Була виконана оптимізація поверхонь теплообміну підігрівників низького тиску (ПНТ) системи регенеративного підігріву живильної води низького тиску. Схема системи регенеративного підігріву живильної води низького тиску наведена на рис. 1.

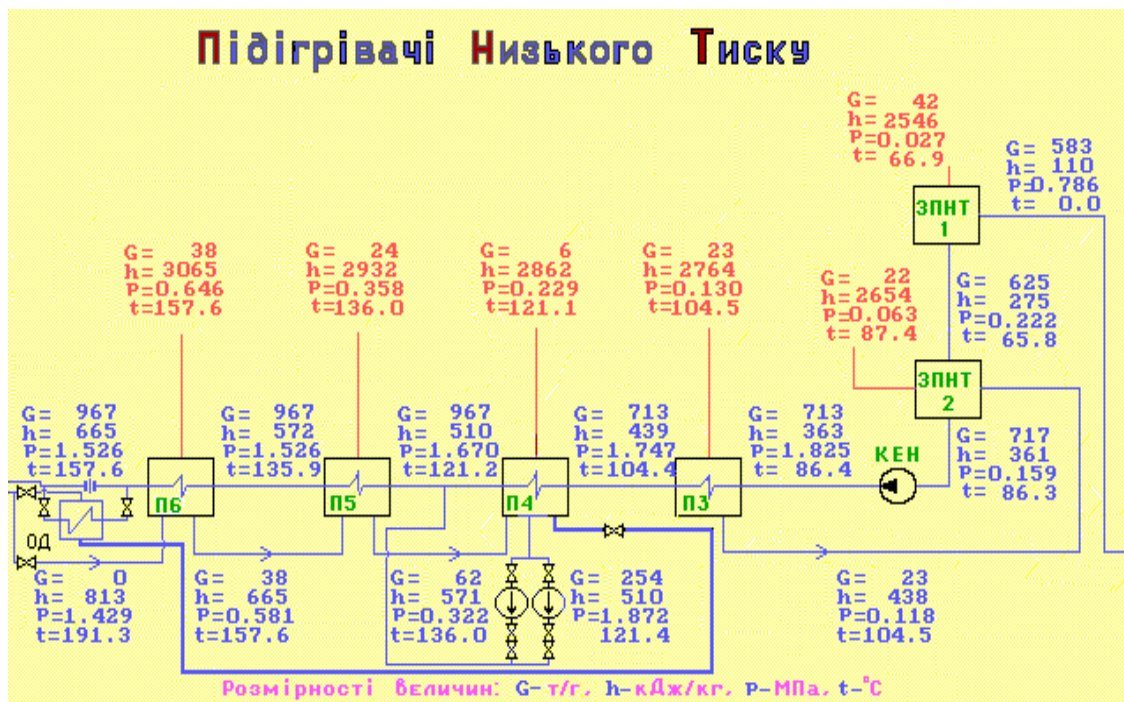


Рис. 1. Схема системи регенеративного підігріву живильної води низького тиску

Оптимізація виконана варіантними розрахунками теплової схеми поверхонь теплообміну ПНТ F3, F4, F5, F6 при заданих коефіцієнтах теплопередачі K3, K4, K5, K6. Значення коефіцієнтів теплопередачі K згідно досліджень станційних ПНТ знаходяться в межах 2000-4000 Вт/м<sup>2</sup>·град. Результати оптимізації наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результат оптимізації ПНТ

Варіант	F3,м <sup>2</sup>	F4,м <sup>2</sup>	F5,м <sup>2</sup>	F6,м <sup>2</sup>	В, млн. грн/рік
Базовий	2000	2000	2000	2000	0
Оптимальний	1070	1150	1000	1100	-2,5

За такою ж методикою оптимізована теплофікаційна установка, схема якої наведена на рис. 2.

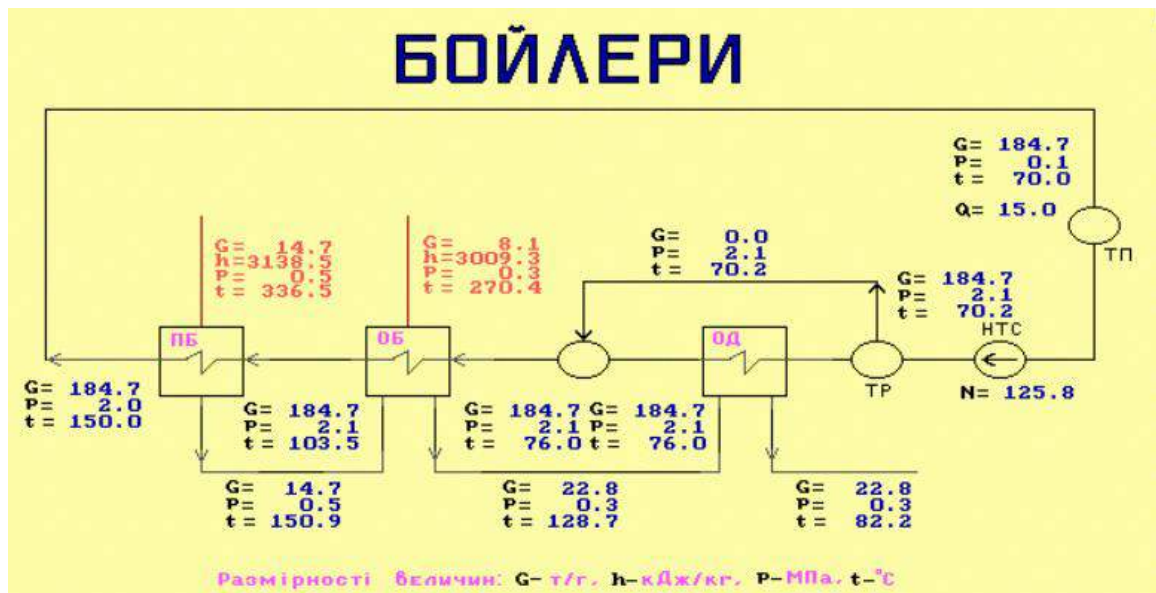


Рис. 2 .Схема теплофікаційної установки

Параметрами оптимізації були поверхні теплообміну пікового бойлера  $F_{пб}$ , основного бойлера  $F_{об}$  та охолодника конденсату гріючої пари  $F_{од}$ .

Результат оптимізації теплофікаційної установки показаний в таблиці 2.

Таблиця 2 - Результат оптимізації теплофікаційної установки

Варіант	$\Delta B$ , млн. грн/рік	$F_{од}$ , м <sup>2</sup>	$F_{об}$ , м <sup>2</sup>	$F_{пб}$ , м <sup>2</sup>	$t_{пб}$ , °C	N, МВт
Базовий	0	40	50	270	150	301.5
Оптимальний	-1,6	55	350	220	150	301.5

### Висновки

1. Показано, що при роботі трьох блоків через їх зношування ТЕС за рік переплачує за паливо 0,659 млрд. грн. Обґрунтована пропозиція модернізації енергоблоку в напрямку підвищення параметрів паросилового циклу.

2. Аеродинамічним розрахунком парогенератора з підвищеними параметрами пари встановлена можливість використання існуючих вентиляторів повітряного та газового трактів парогенератора.

3. Знайдені оптимальні поверхні теплообмінників системи регенеративного підігріву живильної води низького тиску та теплофікаційної установки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Подання. Режим доступу : [http:// www.nerc.gov.ua/.../Podannya-Zahidenergo\\_29.08.2016-13](http://www.nerc.gov.ua/.../Podannya-Zahidenergo_29.08.2016-13).
2. О. М. Головченко, О. М. Нанак. Напрямок модернізації енергоблоку ТЕС// Вісник ВПН. – 2016. – № 6. – С. 45-52.

**Москвічова Марія Юрївна** – студентка групи EM-16 м, 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@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

**Moskvichova Mariya Y.** – student of the group EM-16m, Faculty for Power Engineering and Electrical Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Golovchenko Olexsiy 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@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

# СХЕМИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСА ІЗ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ НА БОРТУ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Запропоновані принципові електричні схеми рекуперативного гальмування троллейбуса із накопичувачем енергії, виконаним на базі конденсаторів подвійного електричного прошарку. Запропоновані принципи побудови схем дозволяють реалізовувати режим тяги троллейбуса із використанням режиму рекуперативного (регенеративного) гальмування в якості основного робочого виду електричного гальмування.*

**Ключові слова:** електричний транспорт, накопичувач енергії, система електропостачання, рекуперація, регенерація, електрична принципова схема.

## Abstract

*The principle for electric circuits with regenerative braking energy storage trolley are proposed, made on the basis of capacitors electrical double layer. The proposed principles for building circuits allow to realize traction trolley mode using regenerative mode (regenerative) braking as the main type of work dynamic braking.*

**Keywords:** electric transport, energy storage, power supply system, recovery, regeneration, electrical schematic diagram.

## Вступ

Міський електричний транспорт – складова частина єдиної транспортної системи, призначена для перевезення громадян трамваями, троллейбусами, 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 схем рекуперативного (регенеративного) гальмування троллейбуса в системі тягового електропостачання міста, основні принципи побудови яких спрямовані на підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань електротехнічного комплексу «система електропостачання – електротранспорт міста» із врахуванням особливостей чергування режимів його роботи.

## Результати дослідження

Існує багато схемних рішень по спільній роботі різного виду накопичувачів з тяговою електричною машиною [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.

Після проведеного аналізу встановлено, що найбільш ефективно енергія електричного гальмування використовується при встановленні накопичувального пристрою безпосередньо на троллейбусі, що дозволить підвищити динамічні та енергетичні показники транспортного засобу в цілому [3, 4].

В результаті аналізу та поєднання раніше отриманих результатів досліджень були запропоновані

варіанти принципів електричних схем регенеративно-накопичувального гальмування (РНГ) тролейбуса із накопичувачем енергії на борту, виконаним на базі іоністорів. Принципи побудови схем враховують різні режими роботи тролейбуса, при цьому режим тяги розглядається спільно із режимом рекуперативного (регенеративного) гальмування в якості основного робочого виду електричного гальмування транспортного засобу.

Способи керування, які реалізуються в схемах РНГ, дозволяють відключати джерело рекуперації від джерела живлення та не допустити, таким чином, спрацювання максимального струмового захисту із припиненням режиму ефективного електричного гальмування. Підвищення ефективності електричного гальмування із використанням запропонованих принципів побудови схем РНГ дозволяє здійснювати електричне гальмування в широкому діапазоні швидкостей, забезпечувати високі динамічні показники та не перевищувати при цьому максимально допустиму напругу контактної мережі [5].

Із впровадженням накопичувальних елементів на міському електричному транспорті відбуватиметься зменшення споживання електричної енергії із системи первинного електропостачання, підвищення надійності системи тягового електропостачання та часу роботи обладнання за рахунок зниження ефективного струму лінії, зниження навантаження в тяговій мережі в моменти пуску транспортних засобів, значне підвищення пропускної здатності ліній, підвищення маневреності міського транспорту, зниження собівартості транспортної роботи і, як наслідок, підвищення конкурентоздатності тролейбусів.

### Висновки

Запропоновано принципову електричну схему РНГ тролейбуса із накопичувачем енергії на борту, які дозволяють враховувати особливості чергування режимів роботи тролейбуса та реалізовувати режим тяги тролейбуса спільно із режимом рекуперативного (регенеративного) гальмування в якості основного робочого виду електричного гальмування в широкому діапазоні швидкостей. Це дозволяє забезпечувати високі динамічні показники та економію споживаної електричної енергії на рух міського електричного транспорту до 30%.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байрыева Л.С. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт / Л.С. Байрыева, В.В. Шевченко. — М. : Транспорт, 1986. — 206 с.
2. Штанг А.А. Анализ основных накопителей энергии для электроподвижного состава [Текст] / А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, Г.Н. Ворфоломеев; Наука. Технологии. Инновации. Материалы 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 подсистеме 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.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІБРИДНОГО МІСЬКОГО АВТОМОБІЛЯ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Значної популярності в наш час набувають гібридні автомобілі, зокрема широко впроваджується силова схема гібридного автомобіля під назвою Hybrid Synergy Drive. Запропонована модель імітаційного моделювання динамічних режимів міського гібридного автомобіля та його тягово-швидкісних характеристик.*

**Ключові слова:** гібридний міський автомобіль, тяговий електропривод, модель, динамічні режими.

### Abstract

*Considerable popularity nowadays become hybrid cars, including the widely implemented power circuit hybrid car called Hybrid Synergy Drive. The model of dynamic simulation modeling mode hybrid city car and its traction and speed characteristics were proposed.*

**Keywords:** hybrid city car, electric traction, model, dynamic mode.

### Вступ

Гібридним автомобілем називається транспортний засіб, що приводиться в рух за допомогою гібридної силової установки. Відмінною особливістю гібридної силової установки є використання двох і більше джерел енергії та двигунів, що перетворюють енергію в механічну роботу [1].

Незважаючи на різноманіття джерел енергії (теплова енергія бензину або дизельного палива, електроенергія, енергія стисненого повітря, енергія стисненого зрідженого газу, сонячна енергія, енергія вітру та ін.) в промисловому масштабі на гібридних автомобілях використовується комбінація двигуна внутрішнього згорання та електродвигуна.

Головна перевага гібридного автомобіля полягає в істотно менших витратах палива та викидах шкідливих речовин в атмосферу, яка досягається [1, 2]:

- злагодженою роботою двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та електродвигуна;
- застосуванням акумуляторів великої ємності;
- використанням енергії гальмування, тобто рекуперативного гальмування, яке дає можливість перетворювати кінетичну енергію руху в електроенергію.

Однак питання щодо однозначного вибору типу тягового приводу для міського гібридного автомобіля в даний час залишається відкритим і для його вирішення необхідним є проведення аналізу динамічних та енергетичних показників транспортного засобу та його тягово-швидкісних характеристик. В даній роботі пропонується одне із можливих рішень цього питання.

### Результати дослідження

Для аналізу ефективності досліджуваних складних багатокomпонентних систем, до яких зокрема відноситься силова схема гібридного автомобіля, інженерами всього світу широко використовується метод комп'ютерного моделювання.

Імітаційна модель гібридного міського автомобіля (ГМА) може бути розроблена в універсальному інтегрованому середовищі MATLAB [3], яка дозволяє виконувати моделювання його систем та візуалізацію результатів досліджень [4].

За основу для досліджень була взята Matlab-модель трансмісії гібридного електромобіля, розміщена на офіційному сайті Matlab [5]. Дана модель була розроблена для першого покоління гібридного синергетичного приводу і під час проведення досліджень була доопрацьована та переналаджена для вирішення поставлених в роботі задач.



В результаті проведеної роботи було отримано модель імітаційного моделювання гібридної трансмісії сучасного міського автомобіля. Зовнішній вигляд даної моделі приведений на рисунку 1. Для побудови моделі використовувались стандартні блоки бібліотек Simulink, SimPowerSystems та SimDriveline.

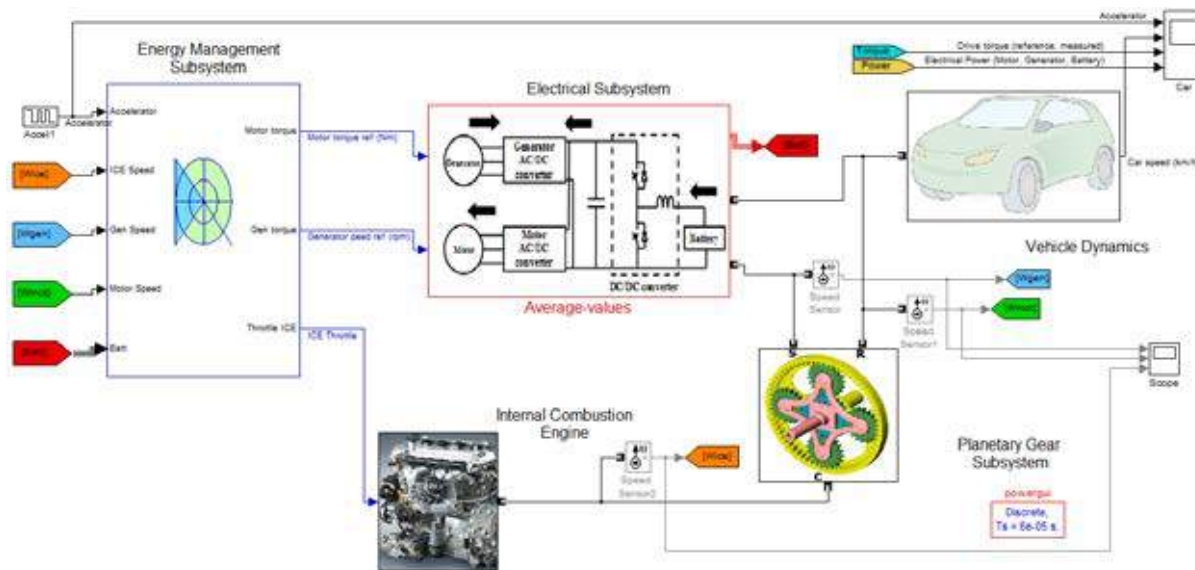


Рис. 1. Імітаційна модель гібридного міського автомобіля в ППП Matlab

Результуюча імітаційна модель дозволяє реалізувати такі режими роботи гібридної силової установки:

- Режим ГМА, при якому ДВЗ вимкнений, а акумуляторна батарея живить електродвигун.
- Режим руху із постійною (крейсерською) швидкістю, при якому потужність від ДВЗ розподіляється між привідними колесами та генератором. Генератор при цьому живить електродвигун, потужність якого підсумовується із потужністю ДВЗ. При необхідності проводиться зарядка акумуляторної батареї.
- Режим прискорення, при якому до ДВЗ приєднується електродвигун, що живиться від акумуляторної батареї, забезпечуючи при цьому імпульс потужності.
- Економічний режим, при якому акумуляторна батарея живить генератор. Генератор перетворює електричну енергію в механічну. Крутний момент двигуна при цьому не зменшується, а досягається економія пального.
- Режим рекуперативного гальмування, при якому електродвигун працює як генератор. Запасена кінетична енергія автомобіля перетворюється в електричну енергію, яка запасається в батареї. При цьому забезпечується плавне уповільнення швидкості руху автомобіля.
- Режим зарядки акумулятора, який реалізується спільною роботою ДВЗ і генератора.

### Висновки

Запропонована імітаційна модель тягового електроприводу гібридного міського автомобіля, що дозволяє моделювати різні режими руху автомобіля і проводити кількісну оцінку тягово-швидкісних характеристик та енергетичних параметрів роботи його елементів таких як: тяговий електродвигун, генератор, акумуляторна батарея та ін.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гібридні автомобілі / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатів А.В., Колесніков А.В.]. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
2. Смирнов О.П. Аналіз схемних рішень побудови автомобілів з гібридною енергетичною установкою / О.П. Смирнов // Вестник ХНАДУ/Сб. науч. тр. – Х.: РИО ХНАДУ, 2006. – Вып. №32. – С. 41-43.
3. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MATLAB: Учебное пособие. – К.: НТУУ «КПИ», 2003. – 424 с. – Режим доступа:  
[http://www.mathworks.com/products/simmechanics/download\\_smlink\\_confirmation.html](http://www.mathworks.com/products/simmechanics/download_smlink_confirmation.html).

4. E. Grunditz, E. Jansson. Modelling and simulation of a hybrid electric vehicle for shell ecomarathon and an electric go-kart. Department of energy and environment. Chalmers University of technology, 2009.

5. Patrice Brunelle, «Hybrid Electric Vehicle (HEV) Power Train Using Battery Model», Режим доступу: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange>.

**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](mailto:2goldfuture8@mail.ru).

**Майданський Михайло Дмитрович** — ст. гр. ETЗ-16м, Факультет електроенергетики та електромеханіки.

Науковий керівник: **Олександр Анатолійович Паянок** — к.т.н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Payanok Oleksandr A** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Renewable energy and transportation systems and electrical systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [2goldfuture8@mail.ru](mailto:2goldfuture8@mail.ru).

**Maydanskiy Myhailo D** — st. group ETZ-16m, Faculty of Electricity and Electromechanics.

Supervisor: **Payanok Oleksandr A** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Renewable energy and transportation systems and electrical systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІТРО- ЕНЕРГЕТИЦІ

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

### *Анотація*

*Показано необхідність використання хмарних технологій для розвитку вітроенергетики.*

**Ключові слова:** вітроенергетика, вітроенергетична установка, хмарні обчислення, хмарні технології.

### *Abstract*

*The paper shows necessity of using cloud technology for the development of wind power.*

**Keywords:** wind power, wind turbine, cloud computing, cloud technology.

### Вступ

З кожним роком вітроенергетика набуває все більшої популярності та розвитку, особливо у високорозвинених країнах. Одними з основних причин цього є бажання позбутись енергетичної залежності від викопного палива та все більш відчутні проблеми екології. Причому науковці шукають способи ефективного використання не лише природних повітряних потоків, але й антропогенних, як, наприклад, у задачі використання енергії вітрових потоків, створених рухом залізничних потягів [1].

Важливим та актуальним питанням у використанні енергії вітру для генерування електроенергії є використання можливостей хмарних технологій для збирання, обробки та зберігання важливих параметрів роботи вітроенергетичних установок (ВЕУ). В даній роботі вирішено проаналізувати хмарні платформи, які можуть бути використані для вітроенергетичних задач.

### Результати дослідження

Відомо [2], що хмарні технології – це парадигма, що передбачає віддалену обробку та зберігання даних. Ця технологія надає користувачам мережі Інтернет, доступ до комп'ютерних ресурсів сервера і використання програмного забезпечення як онлайн-сервісу, тобто якщо є підключення до Інтернету, то можна виконувати складні обчислення, опрацювати дані з використанням потужності віддаленого сервера.

Переваги використання [2]:

- непотрібні потужні комп'ютери;
- менше витрат на закупівлю програмного забезпечення і його систематичне оновлення;
- необмежений обсяг збереження даних;
- доступність з різних пристроїв і відсутня прив'язка до робочого місця;
- забезпечення захисту даних від втрат;
- економія коштів на утримання технічних фахівців.

Використання у вітроенергетиці хмарних технологій передбачає передачу на сервер даних про роботу вітроенергетичних установок, таких як: струм, напруга, швидкість та напрямок вітру, швидкість обертання вітроколеса тощо. Також можна передавати фото чи відеодані для зовнішньої оцінки стану ВЕУ. На віддаленому сервері (у хмарі) ці дані будуть обробляться та зберігатись.

В таблиці 1 наведені параметри популярних сервісів хмарних обчислень.

Таблиця 1 – Ціна та параметри сервісів хмарних обчислень

Назва	Ціна, євро/міс.	Параметри серверів
Microsoft Azure	155,72	5 IP адрес, Ресурси процесора 8,8 ГГц, Оперативна пам'ять 16 ГБ, Диск 100 ГБ
Amazon Web Services	155,34	5 IP адрес, Ресурси процесора 10 ГГц, Оперативна пам'ять 16 ГБ, Диск 100 ГБ

Назва	Ціна, євро/міс.	Параметри серверів
<i>IBM</i>	136,45	Пропускна здатність 100 Мбіт/с, 8 IP адрес, Ресурси процесора 8 ГГц, Оперативна пам'ять 8 ГБ, Диск 100 ГБ
<i>HostPro</i>	165,8	Пропускна здатність 100 Мбіт/с, Ресурси процесора 12 ГГц, Оперативна пам'ять 8 ГБ, Диск (SSD) 120 ГБ
<i>VoliaCLOUD</i>	146,56	Пропускна здатність 100 Мбіт/с, 11 IP адрес, Ресурси процесора 10 ГГц, Оперативна пам'ять 16 ГБ, Диск 100 ГБ
<i>Cosmonova</i>	98,05	Пропускна здатність 100 Мбіт/с, 1 IP адреса, Ресурси процесора 8 ГГц, Оперативна пам'ять 8 ГБ, Диск (SSD) 100 ГБ

При використанні даних технологій значно спростяться процеси аналізу та зберігання даних роботи вітроенергетичних установок. Ці дані будуть збиратись цілодобово 7 днів на тиждень. Їх можна буде переглянути у будь-який час у зручному вигляді з будь-якого комп'ютеру, планшета, смартфона тощо, під'єданого до мережі Інтернет, не обтяжуючи себе необхідністю купівлі та обслуговування спеціального обладнання.

Варто зауважити, що, як видно з таблиці 1, вартість послуг досить значна, як і пропоновані можливості, а отже подібні технології доцільно використовувати не для окремих ВЕУ, а для вітроферм.

### Висновок

Використання хмарних технологій у вітроенергетиці є актуальним та навіть необхідним. Проте діючі тарифи та можливості провідних хмарних платформ роблять їх доцільними лише для достатньо потужних вітроенергетичних проектів з великою кількістю ВЕУ. Що ж стосується забезпечення хмарними можливостями однієї або декількох ВЕУ, варто знайти або розробити більш дешеві рішення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mokin O.B, Mokin B.I., Bazalytskyi 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. Хмарні технології / Вікіпедія. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Хмарні\\_технології](https://uk.wikipedia.org/wiki/Хмарні_технології)

**Вадим Вікторович Горенюк** — студент групи ЕТЗ-16м, факультет електроенергетики та електро-механіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [gvv.ghost@gmail.com](mailto:gvv.ghost@gmail.com);

Науковий керівник: **Олександр Борисович Мокін** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри ВЕТЕСК, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Gorenyuk Vadym V.** — student of the Faculty of Electric Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [gvv.ghost@gmail.com](mailto:gvv.ghost@gmail.com);

Supervisor: **Mokin Oleksandr B.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of RETESC, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

## Перспективи використання асинхронізованих синхронних машин в якості генераторів малих ГЕС і ВЕС

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Виходячи з особливостей функціонування асинхронізованих синхронних машин, визначені перспективи їх використання в якості генераторів малих гідроелектростанцій та вітрових електростанцій і показано, яких переваг можна досягнути при їх використанні у порівнянні з синхронними генераторами і асинхронними.*

**Ключові слова:** мала гідроелектростанція, вітроелектростанція, генератор, асинхронізована синхронна машина, відновлювальна енергетика.

### Abstract

*Based on the operation characteristics of the asynchronized synchronous machines, the perspectives for their appliance as generators for small hydro and wind power plants were determined. The main benefits which can be achieved in comparison with synchronous and asynchronous generators were shown.*

**Keywords:** small hydro power plant, wind power plant, generator, asynchronized synchronous machine, renewable power generation.

### Постановка задачі

Нині на малих ГЕС і ВЕС встановлюються переважно асинхронні генератори, що обумовлює також встановлення на цих електростанціях батарей статичних конденсаторів для забезпечення асинхронних генераторів реактивною потужністю, необхідною для створення магнітного поля в зазорі між ротором і статором, за допомогою якого при обертанні ротора з коротко замкнутою обмоткою створюється електроорушійна сила в обмотці статора. І оскільки струм намагнічування асинхронних генераторів може досягати 50% від його номінального робочого струму, то реактивна потужність батарей статичних конденсаторів, що встановлюються на малих ГЕС і ВЕС, може досягати значних величин, а самі конденсаторні батареї можуть мати значні габарити і коштувати недешево.

Звичайно, в разі підключення малих ГЕС чи ВЕС до шин електромережі енергосистеми потрібну їх асинхронним генераторам реактивну потужність можна отримати і із електромережі, але при цьому втрати активної потужності у цій електромережі зі значення

$$\Delta P = I^2 r = I_p^2 r = \Delta P_p, \quad (1)$$

де  $I_p$  - активна складова струму  $I$  в лінії електропередачі, а  $r$  - активний опір відрізка цієї лінії від шин, до яких приєднано асинхронний генератор малої ГЕС чи ВЕС, до шин, до яких приєднано системне джерело реактивної потужності, зростуть до значення

$$\Delta P = (I_p^2 + I_Q^2) r = \Delta P_p + \Delta P_Q \quad (2)$$

І власникові малої ГЕС чи ВЕС за створення додаткових втрат активної потужності  $\Delta P_Q$  в лінії електропередачі, викликаних споживанням реактивного струму  $I_Q$ , необхідного для функціонування його асинхронних генераторів, доведеться платити власникові цієї електромережі.

Цього недоліку не мають синхронні генератори, магнітне поле яких в зазорі створюється за рахунок обмотки збудження, в яку подається струм від власного джерела постійного струму. Але синхронні генератори мають інший недолік – вони є чутливими до випадкових змін водяних чи вітрових потоків, які поступають на їх гідро- чи вітротурбіни, внаслідок чого при автономній роботі цих ВЕС чи ГЕС змінюється частота струму, що ними генерується, а при роботі на електромережу енергосистеми вони можуть випадати із синхронізму.

А тому важливою задачею є пошук компромісного варіанту генерації електроенергії на малих ГЕС і ВЕС, який мінімізував би негативні наслідки використання як синхронних так і асинхронних машин в якості їх генераторів. Ми бачимо цей компромісний варіант у

використанні в якості генераторів малих ГЕС і ВЕС асинхронізованих синхронних машин [1], в чому спробуємо переконати у наступних викладах.

### Розв'язання задачі

Як показано в роботі [1], асинхронізована синхронна машина (АСМ) конструктивно є варіантом синхронної машини, але не з однією, а з двома обмотками збудження на роторі, які можна використовувати у двох варіантах, за першим із яких можна подавати постійний струм в обидві обмотки - і тоді ця машина за принципом дії нічим не відрізнятиметься від синхронного генератора, а за другим постійний струм подається лише в одну із цих обмоток, а друга замикається накоротко – і тоді по одній із цих роторних обмоток ця машина за принципом дії є синхронним генератором, а по другій із цих роторних обмоток за принципом дії є асинхронною машиною, яка в залежності від знаку проковзування

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \quad (3)$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання поля статора, а  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора, буде працювати або в режимі асинхронного генератора, якщо

$$s < 0, \quad (4)$$

або в режимі асинхронного двигуна, якщо

$$s > 0 \quad (5)$$

Як відомо [2,3], електрична потужність синхронного генератора

$$P = mUI \cos \varphi, \quad (6)$$

де  $m$  – кількість фаз, а  $U, I, \varphi$  – фазні напруга і струм та кут між їх векторами, створюється його електромагнітним моментом  $M_E$ , в який в еквівалентній кількості перетворюється механічний момент  $M_T$  турбіни. І для того, щоб частота  $f_1$  генерованої синхронним генератором напруги, яка зв'язана з кутовою швидкістю обертання поля статора залежністю

$$f_1 = n\omega_1, \quad (7)$$

де  $n$  – число пар полюсів, була незмінною, необхідно, щоб виконувалась рівність

$$M_T = M_E \quad (8)$$

Тож в разі, якщо матимемо нерівність

$$M_T > M_E, \quad (9)$$

ротор розганятиметься, що приведе до збільшення кутової швидкості обертання поля статора, адже у синхронного генератора вона дорівнює кутовій швидкості обертання ротора, і частота  $f_1$  теж збільшуватиметься, а в разі, якщо матимемо нерівність

$$M_T < M_E, \quad (10)$$

з тих же причин частота  $f_1$  зменшуватиметься.

А тепер проаналізуємо, як змінюватиметься момент  $M_A$ , створюваний на валу АСМ її асинхронною складовою.

Як відомо [2,3], момент, створюваний на валу асинхронної машини (у нашому випадку – це  $M_A$ ), наближено можна визначити з виразу

$$M_A = \frac{cU_1^2}{\omega_1} \cdot \frac{sr_2}{r_2^2 + s^2x_2^2}, \quad (11)$$

в якому  $c$  – конструктивна паспортна константа, а  $r_2, x_2$  – активний і реактивний опори коротко замкнутої обмотки ротора, і який в функції проковзування графічно можна представити так, як показано на рисунку.

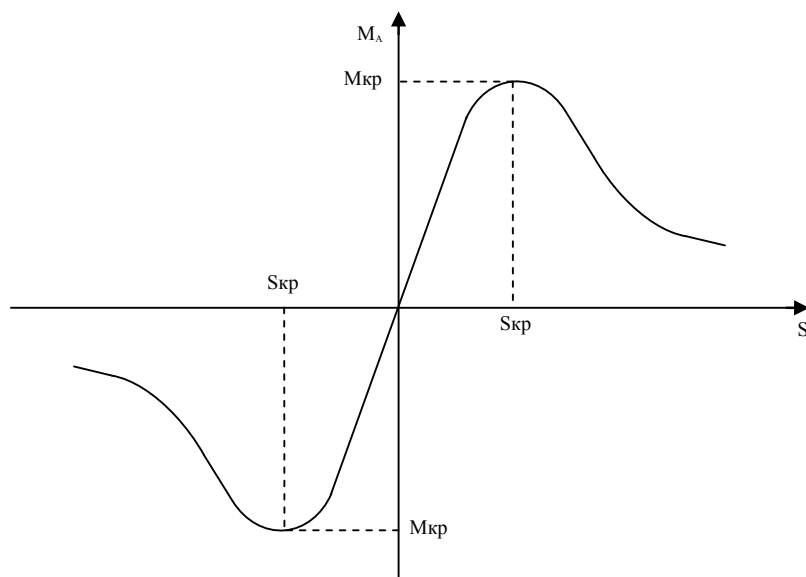


Рис. 1. Орієнтовний графік залежності моменту  $M_A$  на валу асинхронної машини від проковзування  $s$

Аналізуючи графік, зображений на рисунку, бачимо, що при настанні умови (10), яка виникає в разі зменшення швидкості вітру чи напору води і приводить до зменшення кутової швидкості обертання вала ротора АСМ, а тому їй відповідає умова (5), асинхронна складова АСМ починає працювати в режимі двигуна, і її момент  $M_A$  у цьому режимі додається до моменту турбіни  $M_T$ , сприяючи руху вала АСМ в напрямку виконання умови (8), тобто в напрямку стабілізації частоти  $f_1$ . А при настанні умови (9), яка виникає в разі збільшення швидкості вітру чи напору води і приводить до збільшення кутової швидкості обертання вала ротора АСМ, а тому їй відповідає умова (4), асинхронна складова АСМ починає працювати в режимі генератора, і її момент у цьому режимі протидіє моменту турбіни, знову ж таки, сприяючи руху вала АСМ в напрямку виконання умови (8), тобто в напрямку стабілізації частоти напруги і струму, які подаються в електромережу споживачам електричної енергії.

Якщо згадати про те, що на багатьох ВЕС з вітровими колесами з горизонтальною віссю для стабілізації швидкості обертання вала вітрового колеса встановлюються серійні системи регулювання кута повороту лопатей, які мають значну інерційність, то стає зрозумілим, що саме на такі ВЕС доцільно встановлювати АСМ в якості генераторів, адже вони починають реагувати на зміни, коли ті ще тільки починаються і до того ж реагувати практично миттєво,, тож за час реагування системи регулювання кута повороту лопатей на зміну швидкості вітру частота напруги і струму, які генеруватимуться цією ВЕС, практично не змінюватиметься, а це у свою чергу означає, що використання АСМ забезпечуватиме вищу якість електричної енергії, яка подається споживачам від цієї ВЕС ніж у випадку, коли на ній буде встановлено класичний синхронний генератор, і ця енергія буде дешевшою ніж та, яка генеруватиметься класичним асинхронним генератором.

Такі ж висновки можна зробити і стосовно малих ГЕС, на шляху водяного потоку в яких встановлюються системи регулювання його напору, котрі мають ще значнішу інерційність у порівнянні з системами регулювання кута повороту лопатей ВЕС, тож і у цьому випадку доцільно в якості генераторів використовувати АСМ.

### Висновок

Виходячи з особливостей функціонування асинхронізованих синхронних машин, визначені перспективи їх використання в якості генераторів малих гідроелектростанцій та вітрових електростанцій і показано, яких переваг можна досягнути при їх використанні у порівнянні з синхронними генераторами і асинхронними.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ботвинник М.М. Управляемая машина переменного тока. / М.М. Ботвинник., Ю.Г. Шакарян //М.: Наука. - 1969.- 245 с.
2. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины./ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович,В.С. Хвостов// М.: Высшая школа. – 1971. – 432 с.
3. Электротехнический справочник, т.2. Электротехнические устройства. Под общей редакцией проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – 6-е изд. , испр. И доп. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 640 с.

**Мокін Борис Іванович** – доктор технічних наук, професор, академік НАПН України, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету;

**Михайлюк Олег Борисович** – аспірант кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, e-mail: olegmm12@gmail.com;

**Mokin Borys I.** – Academician of NAPS of Ukraine, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

**Mikhailiuk Oleg B.** – Post-Graduate Student the Chair Renewable Energy and Transportation Systems and Electrical Systems, e-mail: olegmm12@gmail.com.



# ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ

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

## *Анотація*

*Проаналізовано сучасні підходи до стимулювання надійності в електроенергетиці. Запропоновано виконувати RAB-стимулювання надійності з врахуванням якості електроенергії.*

**Ключові слова:** управління надійністю, якість електроенергії, RAB-регулювання.

## *Abstract*

*Analyzes new approaches to stimulate reliability in power. A RAB-perform electrical stimulation of reliability with regard to power quality.*

**Keywords:** reliability management, quality electricity, RAB-regulation.

## Вступ

Надійність визначається як властивість об'єкта (обладнання, системи) виконувати задані функції в повному обсязі за певних умов функціонування, тобто за технічно допустимих діапазонів зовнішніх впливів на об'єкт і його експлуатаційні параметри [1-6].

Вимоги надійності держава регулює опосередковано через сформульовані в нормативних документах правила, виконання яких є обов'язковим (Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), Правила технічної експлуатації (ПТЕ) тощо).

У перехідний період в електроенергетиці доцільно поєднувати економічні та нормативні методи оцінки надійності. З накопиченням досвіду, можливий перехід на нормативний метод оцінки надійності, проте ці нормативи повинні бути обґрунтовані економічно з використанням такого показника, як втрати від порушення електропостачання споживачів [7, 8].

## Результати дослідження

З розвитком ринкових відносин існуюча система забезпечення надійності повинна бути переосмислена і реорганізована: по-перше – переведена в площину відповідальності господарюючих суб'єктів за надійність з чіткими правилами технологічної взаємодії; по-друге – гармонійно вбудована в ринкові відносини з використанням ринкових (економічних) і нормативних підходів, як в між-суб'єктних відносинах, так і у взаємодії з Регулятором ринку. При цьому повинні бути вироблені відповідні пріоритети і механізми їх використання в конкретних умовах.

Цільовим завданням в нових умовах є недопущення зниження надійності електропостачання з наступною поетапною адаптацією рівня надійності до запитів суб'єктів ринку, перш за все споживачів, і з урахуванням інтересів економіки і суспільства, узагальнено виражених нормативами надійності, встановленими законодавчо.

Для підвищення надійності електропостачання потрібно поєднати економічні результати функціонування підприємств електроенергетики в ринковому просторі з наслідками порушень енергозабезпечення споживачів.

Реформування системи тарифоутворення в сегменті розподілення електроенергії для України на думку голови НКРЕКП Д. Вовка, є безальтернативним, оскільки залишковий термін служби мереж становить 10-11 років. Після вказаного періоду електромережі прийдуть в настільки важкий стан, що фізично не буде можливості їх модернізувати, а політично не буде можливості підвищувати тарифи для виходу з ситуації, що створилася.

Вихід із ситуації експерти бачать у веденні стимулюючого регулювання галузі. RAB-регулювання є єдиним способом регулювання і організації електроенергетики у напрямку розподілення електроенергії, зокрема, приводячи в приклад систему, що діє у Великобританії з 1994 р. Це дозволить не тільки поліпшити роботу галузі, але й зберегти вітчизняну галузь розподілення електроенергії.

Мета роботи в області електромережевої надійності – оцінка потреби в інвестиціях в підвищення надійності електричних мереж до оптимального рівня, виявлення їх ефективності та впливу на величину тарифу на передачу електроенергії, порівняльний аналіз розрахунку тарифів на передачу електроенергії за методикою економічно обґрунтованих витрат і за методикою RAB.

Методологічно, для урахування надійності електропостачання споживачів при тарифному регулюванні, повинні бути об'єднані документи стратегічного прогнозування (схеми розвитку мереж) та поточного планування (довгострокового тарифного регулювання). При встановленні тарифів за методикою RAB валова виручка, що приймається для розрахунку тарифів, коригується з урахуванням надійності і якості товару і послуг. Може бути встановлено граничне перевищення необхідної валової виручки (НВВ) на передачу, наприклад, в розмірі 3% при економічно обґрунтованому рівні надійності електропостачання.

Підвищення рівня надійності проектної схеми розвитку розподільних електричних мереж 110-35-10 кВ до оптимального рівня повинні прийматися на основі компромісу: економічно обґрунтовані інвестиції в резервні елементи мереж обленерго запобігають збиткам в галузях економіки регіону завдяки зниженню частоти і тривалості перерв в електропостачанні.

Потрібно звернути увагу на взаємозв'язок надійності електропостачання та якості електроенергії. Очевидно, що при низькій надійності забезпечення високої якості електроенергії неможливо в принципі. І, навпаки, низька якість електроенергії в свою чергу, знижує надійність електрообладнання як кінцевих споживачів, так і ЕЕС. Крім того, провал напруги як параметр якості електроенергії безпосередньо межує з таким показником надійності як короточасні перерви електропостачання, а в європейському стандарті EN 50160 вважається показником якості електроенергії. Підвищення якості електроенергії повинно стимулюватися в рамках підвищення надійності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике / Воропай Н. И., Ковалёв Г. Ф., Кучеров Ю. Н. и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212 с.
2. Надёжность систем электроснабжения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – К. : Вища школа, 1984. – 192 с.
3. Фокин Ю. А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения [Текст] / Ю. А. Фокин. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
4. Гук Ю. Б. Расчет надёжности схем электроснабжения [Текст] / Ю. Б. Гук, М. М. Синенко, В. А. Тремясов. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.
5. Воропай Н. И. Надёжность систем электроснабжения. Конспект лекций. – Новосибирск: Наука, 2006. – 205 с.
6. Журахівський А. В. Надійність електричних систем і мереж: навч. посібник / А. В. Журахівський, Б. М. Кінаш, О. Р. Пастух. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.
7. Непомнящий В. А. Экономико-математическая модель надёжности энергосистем / В. А. Непомнящий // Электричество – 2011 - №2. - С. 5-16.
8. Проблемы надёжности электроснабжения и их влияние на экономику электроэнергетики / Непомнящий В. // Энергорынок. - 09(69) сентябрь. – 2009. – С. 22-26.

#### Висновки

Впровадження RAB-стимулювання дозволить забезпечити створення привабливого інвестиційного клімату, підвищення якості та надійності електропостачання та підвищення ефективності діяльності енергопостачальних компаній шляхом зниження неефективних операційних витрат.

*Мельничук Людмила Михайлівна* — канд. екон. наук, доцент кафедри ВЕТЕСК, Вінницький національний технічний університет

*Melnychuk Lyudmila M.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of VETESK, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ЛОКАЛЬНОЮ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15

### **Анотація.**

Проведено аналіз якості електроенергії та електромагнітної сумісності підключених до мережі однофазних фотоелектричних систем в розподільних мережах Прикарпаття. Результати вимірювання показали, що наявність фотоелектричних систем з'єднаних з мережею може привести до зниження параметрів якості напруги живлення, таких як коливання напруги, коефіцієнтів гармонійних спотворень, флікера напруги і коефіцієнта потужності. Згідно з виміряними експериментально миттєвими значеннями струмів і напруг, які генеруються за допомогою сонячних електростанцій підраховано струми вищих гармонік. Зроблено порівняння допустимих значень основних параметрів електричної енергії з експериментальними даними. Проведено експериментальні дослідження різних режимів локальної мережі з однофазною генерацією енергії сонячною електростанцією.

**Ключові слова:** сонячна електростанція, інвертор, показники якості, електромагнітна сумісність, реактивна потужність, енергоефективність.

### **Abstrakt.**

*This paper presents power Quality Analysis of single phase Grid-Connected Photovoltaic Systems in Distribution Networks Precarpathian region. After measuring proved that the presence grid-connected PV systems could cause power quality problems such as voltage raise, THD, voltage flicker, and power factor. According to the experimental instantaneous values of currents and voltages which are generated by solar power plants it is calculated currents of high harmonics. It is compared permissible values of electric energy main parameters with experimental data. According to the experimental instantaneous of various modes LAN with single-phase power generation solar power plant.*

**Key words:** solar power plant, inverter, quality index, electromagnetic compatibility, system stability, energy analysis, energy resources energy consumption, Grid impedance.

### **Вступ**

Сонячна електроенергетика має стати альтернативою традиційним видам енергетики, однак перехід на поновлювані енергоресурси вимагає фундаментальних змін енергетичного балансу енергосистем країн. Першочерговим завданням науковців є зменшення втрат електроенергії в електротехнічних комплексах, підвищення енергоефективності та пошук оптимального місця приєднання сонячних електростанцій, які при сумісній роботі в енергосистемі будуть працювати з максимальною ефективністю та мінімальним негативним впливом на інше електротехнічне обладнання. Крім того, зростання розгалуженості локальних електромереж з сонячними електростанціями зобов'язують розроблення методології щодо керування перетоками потужності та адекватних математичних моделей.

### **Результати досліджень**

Вплив сумісної роботи сонячних електростанцій в електромережі на якість електроенергії підтверджують результати досліджень та зумовлюють необхідність розгляду питань контролю основних параметрів показників якості електроенергії (ПЯЕ) та електромагнітної сумісності (ЕМС) [1].

Вирішення завдання аналізу та оптимізації процесу генерування електроенергії в локальній електромережі потребує розроблення адекватних математичних моделей, які зможуть враховувати змінність процесу генерування електроенергії сонячними електростанціями та перетоки потужностей через часто нелінійний характер навантаження в локальних електротехнічних комплексах, який змінюється в часі. Оцінку аспектів протікання енергетичних процесів за таких умов можна

здійснити на основі енергетичних властивостей функцій миттєвих значень потужностей  $P$ ,  $Q$ ,  $S = f(t)$  та завдяки аналізу форм кривих  $U$ ,  $I = f(t)$ .

Методика енергетичного обстеження, яку використовують для визначення ефективної роботи сонячної електростанції враховує переважно значення основних показників якості електроенергії, миттєві значення потужностей та кількість виробленої електроенергії, але не враховує показники електромагнітної сумісності  $THD$  (сумарний коефіцієнт гармонійних спотворень), реактивну потужність спотворення ( $T$ ), коефіцієнт пульсації та дозу флікера.

Для оцінки впливу СЕС на параметри якості електроенергії було вибрано дахову сонячну електростанцію в м. Івано-Франківськ. Потужність, яку генерує дана станція складає 2,5 кВт. За допомогою інвертора фірми Danfoss відбувається передача електроенергії змінного струму в одну з фаз електромережі підприємства, на якій відсутнє навантаження. За допомогою інформаційно-вимірювального аналізатора якості електроенергії [2] 10 вересня 2015 року о 12.00 проведено дослідження ПЯЕ та визначено сумарний коефіцієнт гармонійних спотворень для мережі підприємства. Сонячна активність в цей період була досить висока і збільшувалася за час експериментальних досліджень. На першому етапі досліджень було виміряно енергетичні параметри на виході інвертора, відповідно яких можна зробити висновок, що ПЯЕ відповідають встановленим нормам. На другому етапі досліджень проводилися вимірювання на ввіді розподільного пристрою даного підприємства та було проаналізовано енергетичні параметри сумісної роботи сонячної електростанції з мережею в різних режимах (генерація електроенергії в фазу, де відсутнє споживання, відмикання сонячної електростанції та генерування електроенергії в фазу, де кількість споживання рівна кількості генерування та присутня велика частка ємнісного навантаження. В режимі генерації в фазу В, до якої більше нічого крім неї не приєднано (період 12.30 – 12.43) сонячна електростанція виробляє 1,2 – 1,4 кВт. До фази А і С підключені малопотужні споживачі підприємства, більшість з яких створюють нелінійне навантаження (комп'ютери, принтери, освітлення та мікрохвильова піч). В період з 12.43 до 12.54 проведено відмикання сонячної електростанції від мережі. На третьому етапі досліджень (12.54 до 13.05) сонячну електростанцію було підключено до фази С, а сумарна потужність генерації та споживання цієї фази наблизилась до нуля, тобто кількість генерації в певні моменти ставала рівною кількості споживання. Графік зміни активної потужності в часі у трьох фазах підприємства та сумарної потужності (чорний колір) зображено на рисунку 1.

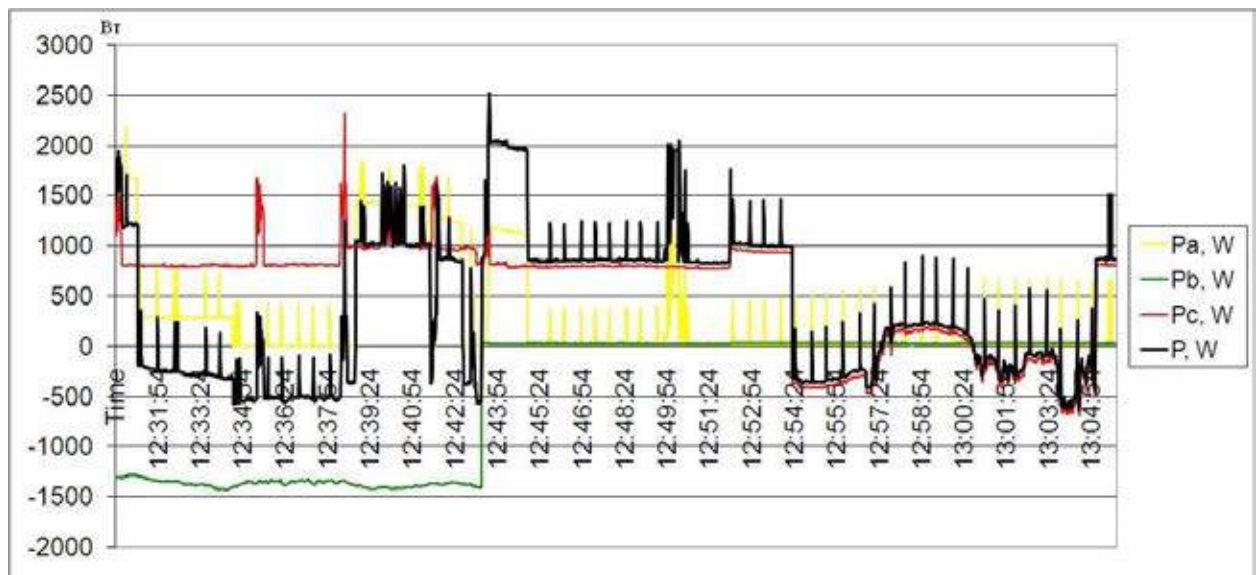


Рисунок 1 – Графік зміни активної потужності у трьох фазах підприємства

При дослідженнях на сонячній електростанції в Івано-Франківську коефіцієнт потужності і реактивна потужність практично не змінювалися від зміни величини сонячної інсоляції, однак при переключенні генерації в фазу С відбулося коливання значень реактивних потужностей зсуву та спотворення, яке припинилося після вимкнення інвертора (рис. 2). Крім того вимірювальний комплекс зафіксував таке ж коливання значення коефіцієнта потужності, що може призвести до

проблем з засобами компенсації реактивної потужності. Значення сумарного коефіцієнта гармонійних спотворень на першому етапі досліджень в фазі В під час генерації становило 5-7 %, а на третьому етапі під час генерації в фазу С THD струму збільшився до діапазону 21-31 %, що не відповідає нормованим значенням. Можна зробити висновок, що значний вплив на неї мають вищі гармонічні складові, що генеруються та зміна навантаження.

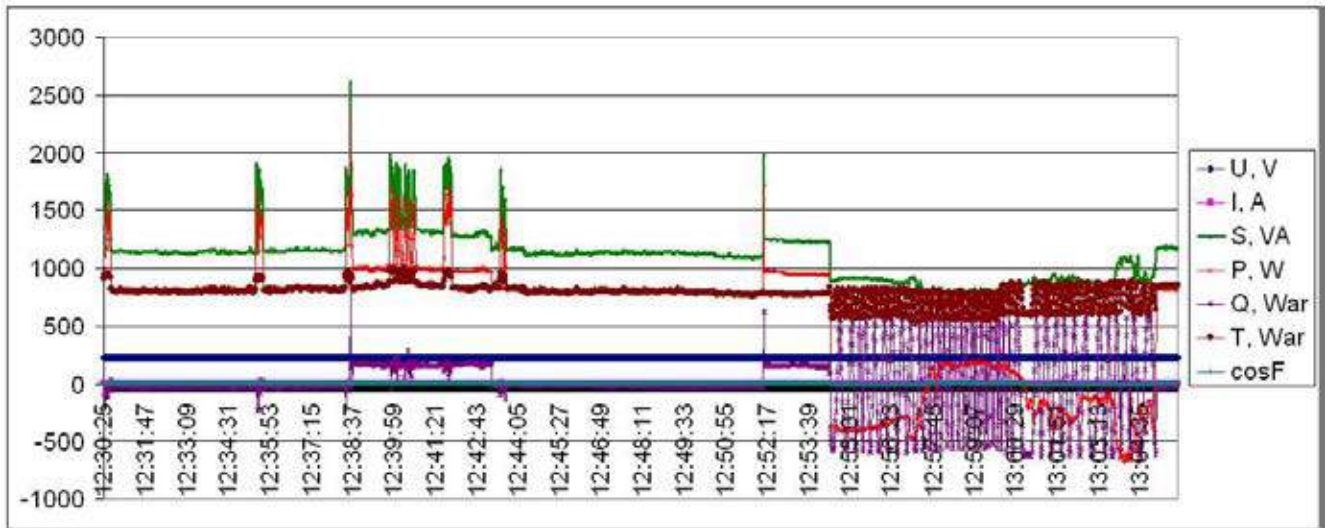


Рисунок 2 – Графік зміни енергетичних параметрів в фазі С

Основні причини виникнення гармонік напруги і струму досить різні та можуть бути створені навантаженням, яке оснащено електронними пристроями, що поглинають поточні височастотні складові. Ці гармонійні складові можуть бути зменшені тільки безпосередньо біля навантажень. Існують так звані «зони резонансу», коли вихідна потужність інвертора дорівнює потужності навантаження мережі, що призводить до небезпечних режимів роботи мережі. Цей ефект присутній у фотоелектричних установках через перемикання височастотних перетворювачів, де присутній емнісний зв'язок між фотоелектричними установками, кабелями, електронними пристроями і заземленням [3].

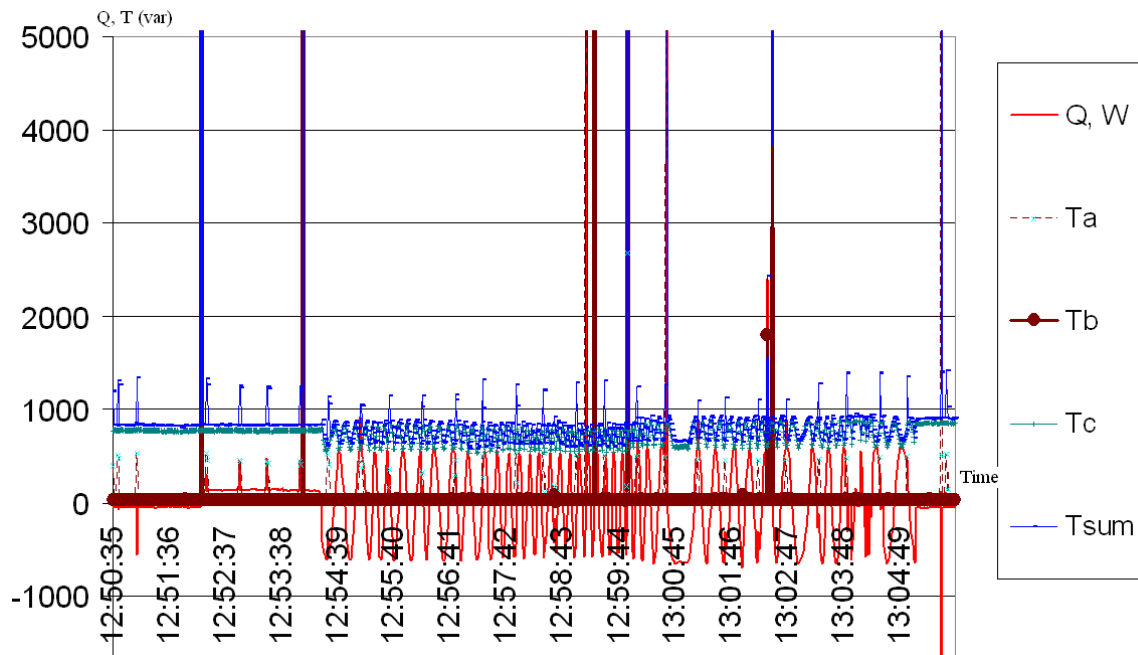


Рисунок 3 – Графік зміни реактивних потужностей зсуву та спотворення на ввіді підприємства

У ході досліджень також сформовано статистичну базу даних генерування електроенергії сонячною електростанцією в Прикарпатському регіоні в середовищах Microsoft Excel та Matlab, яка охоплює дані генерування за добу та кожні пів години. Створено програмний продукт та реалізовано алгоритм, який дозволяє отримувати значення кількості виробленої електроенергії електростанцією на основі даних про час генерування. Основним завданням даної програми є мінімізація втрат в електромережі та отримання максимального прибутку від генерації електроенергії локальними сонячними електростанціями.

$$\Delta S \rightarrow \min, \Pi \rightarrow \max.$$

Вирішення задачі узгодження параметрів електротехнічних комплексів, що містить джерело локальної генерації відновлювальної енергетики дозволить покращити роботу електротехнічного обладнання, систем релейного захисту та автоматики та підвищить надійність та енергоефективність елементів енергосистеми.

#### **Висновки.**

Врахування впливу електромагнітної складової на якість електроенергії дозволить більш адекватно розрахувати можливості підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу з відновлювальними джерелами. Використання інверторів при певних параметрах мережі може спричинити резонансні процеси та коливання реактивної потужності, що негативно впливає на роботу електротехнічного обладнання. Для запобігання аварійних режимів необхідно проводити експериментальні дослідження роботи сонячних електростанцій з симулюванням зміни характеру навантаження мережі та встановлювати спеціальні фільтри.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Бекиров Э.А. Анализ энергетических параметров систем электроснабжения при использовании возобновляемых источников энергии [Текст] / Э.А. Бекиров. – Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2013. №8 (114). – 230-237 с.
2. Гладь І. В. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції. [Текст] / Бацала Я. В., Гладь І. В., Николин У. М.// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. - № 4(49). – С 81-89 с.
3. Сиромаха С.С., Осипов Д.С., Черемисин В.Т. О необходимости учёта режима работы и импеданса системы электроснабжения при моделировании резонанса токов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. С 11-89 с.

**Гладь Іван Васильович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу,

**Бацала Ярослав Васильович** – асистент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу, e-mail: [batsala2012@gmail.com](mailto:batsala2012@gmail.com)

**Glad Ivan V.** – Cand. S c. (Eng.), Associate Professor, department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

**Batsala Yaroslav V.** - assistant department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

*Мережне наукове видання*

Матеріали XLVI науково-технічної конференції  
підрозділів Вінницького національного  
технічного університету (НТКП ВНТУ–2017)

**15-24 березня 2017 року**

**Збірник доповідей**

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 15. 06. 2017 р.  
Гарнітура Times New Roman.Обсяг 4,91 Мб.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 59-85-32, 59-81-59,  
press.vntu.edu.ua,  
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.