

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2020.**  
**Електротехнічний факультет**

Збірник тез доповідей щорічної  
науково-практичної конференції серед студентів,  
викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів

13–17 квітня 2020 року

Електронне видання комбінованого  
використовування на DVD-ROM

м. Запоріжжя

УДК 378:001.891  
Т39

*Рекомендовано до видання Вченою радою  
Національного університету «Запорізька політехніка»  
(Протокол №4/20 від 02.03.2020 р.)*

Упорядник Татарчук Т.В.

Редакційна колегія:

*Наумик В. В., д-р техн. наук, професор (відпов. ред.)  
Прушківський В. Г., д-р екон. наук, професор  
Кузькін О.Ф., канд. техн. наук, доцент  
Глушко В.І., канд. техн. наук, доцент  
Климов О.В., канд. техн. наук, доцент  
Антонов М.Л., канд. техн. наук, доцент  
Савченко В.О., канд. техн. наук, доцент  
Кабак В.С., канд. техн. наук, доцент  
Касьян М.М., канд. техн. наук, доцент  
Корольков В.В., канд. екон. наук, доцент  
Дєдков М.В., канд. іст. наук, доцент  
Васильєва О.О., канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Пуцина І.В., канд. пед. наук, доцент  
Філей Ю.В., канд. юр. наук, доцент  
Гайворонська Т.О., канд. філос. наук, доцент  
Сажєєв В. М., канд. техн. наук, доцент  
Висоцька Н. І., начальник патентно-інформаційного відділу*

Тези доповідей друкуються методом прямого відтворення тексту, представленою авторами, які несуть відповідальність за його форму і зміст.

**Т39 Тиждень науки-20 Електротехнічний факультет.** Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана. ISBN 978-617-529-261-7.

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, які проводяться на Електротехнічному факультеті Національного університету «Запорізька політехніка». Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців.

ISBN 978-617-529-261-7

© Національний університет  
«Запорізька політехніка»  
(НУ «Запорізька політехніка»), 2020

## ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА» .....	13
<i>Махлін П. В., Шрам О. А.</i> Дослідження статичної стійкості генератора без автоматичного регулювання збудження.....	13
<i>Немикіна О.В., Авдєєв І.В.</i> Про вибір кількості сонячних панелей при заданій потужності автономної сонячної електростанції .....	15
<i>Кулагін Д.О.</i> Воднева енергетика України .....	17
<i>Дьяченко В.В.</i> Аналіз проблеми розташування вузлів електричної мережі промислових підприємств з урахуванням енергозбереження .....	18
<i>Качан Ю.Г., Мищенко В.Ю.</i> Визначення інтервалів коливання електричних властивостей шихти та її компонентів в процесі одержання феромарганцю... ..	20
<i>Попов В.В., Прихно Д.С.</i> Розробка методики для оцінки ефективності електропостачання у цехових мережах промислових підприємств .....	22
<i>Заболотний А.П., Тіхінська Т.Д.</i> Формування структури систем електропостачання з розподіленою генерацією електроенергії .....	23
<i>Шрам О. А., Голоднюк В. М., Козак Є. М., Цимбалюк О. В.</i> Імітаційне моделювання перехідних процесів .....	25
<i>Шрам О. А., Кавун А. С., Коваленко Є. В.</i> Математична модель іонно-плазмової обробки поверхні скла.....	27
<i>Махлін П.В., Яценко П.М., Гапон О.В., Підпригора А.В.</i> Дослідження Режиму самозапуску загальмованого навантаження власних потреб електростанції.....	29
<i>Махлін П.В., Бубліков С.С., Матусевич Ю.Ю.</i> Дослідження режимів роботи системи електропостачання титаномангнієвого комбінату .....	30
<i>Немикіна О.В., Демченко Б.І.</i> Аналіз електромагнітних процесів в мережі, яка живить частотно-регульований привод кранових установок .....	32
<i>Кулагін Д.О., Жогло В.В.</i> Аналіз розвитку вітрової енергетики в Україні .	34
<i>Братковська К.О., Ліуш Ю.Б., Біленький В.В.</i> Аналіз ефективності конденсатора енергоблока АЕС .....	35
<i>Братковська К.О., Волкова К.О., Овчаренко М.В.</i> Прогнозування обсягів споживання електроенергії.....	37
<i>Братковська К.О., Горбенко В.І., Куляс А.О.</i> Поширення застосування геліосистем для енергозабезпечення будівель .....	38
<i>Братковська К.О., Ізуменов Б.А.</i> Підвищення ефективності електроспоживання в процесі проходження гірничих виробок на підприємствах гірничої промисловості .....	39

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»..... 43

<i>Яримбаи Д.С., Яримбаи С.Т.</i> Вплив гармонійного складу струмів намагнічування на визначення гістерезисних характеристик електротехнічних сталей.....	43
<i>Коцур І.М.</i> Розробка імітаційної моделі вітрового потоку в пакеті MATLAB SIMULINK.....	45
<i>Куланіна Є.В.</i> Розрахунок параметрів неробочого ходу в однофазному трансформаторі за допомогою комп'ютерного моделювання .....	46
<i>Літвінов Д.О.</i> Дослідження динаміки електромагнітних процесів при повороті ротора асинхронного двигуна потужністю 75 кВт .....	47
<i>Солодовнікова Т.П.</i> Використання віртуальної лабораторної установки для дослідження асинхронної машини з короткозамкненим ротором .....	49
<i>Дівчук Т.С., Савельєв В.Г.</i> Зменшення просторової розмірності моделі електромагнітного поля .....	50
<i>Боровіков А.К., Гуразда А.В., Шестов Л.Є., Коцур І.М.</i> Контроль технічного стану внутрішньої ізоляції силових трансформаторів.....	52
<i>Воложанін С.О., Волощук О.С., Гаврилова М.В., Коцур І.М.</i> Методи діагностування пошкоджень обмоток асинхронних двигунів.....	54
<i>Слободян А.С., Солодов В.Ю., Тихоновський О.С., Куланіна Є.В.</i> Моделювання аварійного режиму роботи силового трансформатора за допомогою комп'ютерного моделювання.....	56
<i>Доля Б.О., Сердюк Д.О., Терєбінова О.М., Шовкопляс В.Є., Літвінов Д.О.</i> Визначення пускових характеристик асинхронного двигуна потужністю 55 кВт при насиченості зубців осердя ротора.....	57
<i>Горовий А.О., Зубков І.В., Колесник Б.О., Савенко М.В., Літвінов Д.О.</i> Визначення ізоляційних характеристик діелектрика у маслонаповненому трансформаторному уводі 110 кВ.....	59
<i>Левенкова О.І., Оніпко А.Д., Панченко Н.С., Солодовнікова Т.П.</i> Розподіл електродинамічних зусиль в залежності від розміщення регульовальних витків вздовж обмотки .....	61
<i>Гарьковенко В.С., Лавринєць А.В., Павленко А.О., Куланіна Є.В.</i> Дослідження режиму неробочого ходу однофазного трансформатора при низьких частотах .....	62
<i>Губарєв В.І., Левченко А.І., Маслій В.К., Солодовнікова Т.П.</i> Залежність характеристик синхронного генератора від схеми живлення обмотки збудження.....	63

<i>Петров К.В., Савін Р.В., Подус О.Р., Дівчук Т.Є.</i> Удосконалення класичної методики розрахунку силового трансформатора з використанням програмного засобу FEMM .....	65
<i>Дубров Є.П., Петров З.Г., Верхованов С.Д., Семивол В.В., Дівчук Т.Є.</i> Аналіз використання схемного моделювання при дослідженні силових тансформаторів .....	67
<i>Хацаревич М.В., Яримбаи Д.С.</i> Моделювання електромагнітних процесів в індукторі калібру мундштука пресу .....	69
<i>Мордзинський Р.Б., Яримбаи Д.С.</i> Аналіз електромагнітних і теплових процесів в шинних пакетах електропечей опору для виробництва карбіду кремнію .....	72
<i>Василенко Д.С., Яримбаи Д.С.</i> Особливості розподілу питомої потужності в робочому просторі печі для виготовлення карбіду кремнію .....	75
<i>Олійник Є.С., Яримбаи Д.С.</i> Підвищення ефергоефективності бічного шинопакету печі для виготовлення карбіду кремнію .....	77

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ І ЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ»..... 80

<i>Petro Andrienko, Ivan Zhezhera</i> General Li-ion battery model with overcharge protection .....	80
<i>Поляков М.О.</i> Освіта в НСТ (ОАЕ) .....	82
<i>Мухаїло Поліаков</i> Application of peripheral devices simulators .....	83
<i>Василевський В.В., Шило С.І., Каплієнко О.О.</i> Застосування 3D друку для прототипування та виробництва деталей електротехнічних пристроїв .....	84
<i>Антонова М.В.</i> Аналіз існуючих систем компримування .....	85
<i>Животченко О.В., Коцур М.І.</i> Дослідження енергетичних процесів в системі асинхронного електроприводу в умовах тривалого режиму роботи механізму.....	87
<i>Зацерковний Д.Р., Коцур М.І.</i> Дослідження теплового навантаження асинхронного двигуна в умовах змінної тривалості циклу механізму .....	88
<i>Сіпко О.В., Коцур М.І.</i> Дослідження електромагнітних процесів асинхронного двигуна на етапі проектування .....	89
<i>Хоменко Д.Б., Коцур М.І.</i> Дослідження теплового навантаження асинхронного електроприводу в умовах частих пусків .....	90
<i>Андрієнко П.Д., Скрупская Л.С., Санников М.Р.</i> Моделирование и исследование частичных разрядов в изоляции шунтирующего реактора..	91
<i>Афанасьєв О.І., Івахненко І.В., Соловійов В.М., Фурса С.В., Гончаренко Д.В.</i> Дослідження впливу конструктивних рішень на розподіл напруженості електричного поля в обладнанні ВРП 330-750 кВ.....	93

<i>Афанасьев О.И., Вороница И.В., Ждан В.В., Юртаев Д.С., Бубновец М.В.</i> Дослідження ефективності зниження втрат потужності в електричних мережах .....	95
<i>Афанасьев О.И., Биков Б.В., Башиков В.В., Дряпак О.А., Волков В.В.</i> Особливості оцінки надійності ізоляційних конструкцій на класи напруги 10-35 кВ .....	97
<i>Афанасьев А.И., Биков Б.В., Башиков В.В., Дряпак А.А., Волков В.В.</i> Классификация трансформаторных подстанций .....	99
<i>Афанасьев А.И., Вороница И.В., Ждан В.В., Юртаев Д.С.</i> Обоснование необходимости модернизации ОРУ – 35 кВ .....	101
<i>Ozirskiy Volodymyr, Ludmila Zhornya, Sobol Yuliya</i> Analysis of external insulation of optic - fiber 35 kv current transformer.....	102
<i>Anastasiia Fylymonenko, Volodymyr Vasylevskiy</i> Optical current and voltage sensors .....	104
<i>Dmytro Honcharenko, Yuliya Sobol</i> Sulfur hexafluoride gas benefits in relation to oil and cellulose insulation in voltage transformers .....	106
<i>Serhii Yatsura, Volodymyr Vasylevskiy</i> Benefits of fiber optic current transformer .....	107
<i>Антонова М.В., Лапишинов Є.Д., Максименко В.О.</i> Захист ліній електропередач .....	109
<i>Антонова М.В., Маслов Д.П., Попов Є.Д.</i> Головний привод стану горячої прокатки .....	111
<i>Антонова М.В., Мікулін Д.А., Маслов Д.П.</i> Система керування електроприводом насосної установки зрошування системи туманоутворення .....	113

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД» .....

<i>Казурова А.Є.</i> Ідентифікація параметрів керованої механічної системи в реальному часі .....	116
<i>Мельник О.В., Антонов М.Л.</i> Електрогідрравлічні пристрої дроблення ....	117
<i>Мелешко І.А., Назарова О.С.</i> Огляд систем автоматичного керування технологічними об'єктами з транспортним запізнюванням.....	118
<i>Брилистый В.В., Осадчий В.В., Назарова О.С.</i> Комп'ютерне моделювання динаміки розгону чотириприводного електричного транспортного засобу	120
<i>Васильєва Є.В., Жежера І.І.</i> Future of electric mobility .....	121
<i>Калабуха Є.І., Крисан Ю.О.</i> Лабораторний стенд дослідження систем керування металорізальними верстатами з використанням датчиків швидкості .....	123
<i>Куц М.О., Крисан Ю.О.</i> Векторне керування асинхронними двигунами	125

<i>Кроль О.В., Крисан Ю.О.</i> Малогабаритний комп'ютеризований стенд дослідження електропривода постійного струму.....	126
<i>Данчевський Є.В., Андріяс І.А.</i> Синтез енергозберігаючих систем регулювання режимів дугових металургійних печей.....	128
<i>Алтарьов А.С., Крисан Ю.О.</i> Використання Вентильно-індукторних двигунів в прецизійних слідкуючих системах електроприводів.....	129
<i>Лозицький О.А., Андріяс І.А.</i> Векторно-матричний аналіз параметрів Електромеханічної системи регулятора потужності дугових металургійних печей .....	131
<i>Нагорний М.О., Крисан Ю.О.</i> Удосконалення систем керування електроприводами постійного струму механізмів кар'єрних екскаваторів.....	133
<i>Зіновкін В.В., Номерюк М.П., Беспалый М.К., Шевченко В.О.</i> Принципові основи автоматизованого аналізу поточного стану потужного електротехнічного обладнання.....	135
<i>Денисенко К.О., Андріяс І.А.</i> Динаміка багатозв'язкового регулювання енергетичних процесів горіння низькотемпературної плазми електричної дуги .....	136
<i>Зіновкін В.В., Губарьов В.П., Беспалый М.К., Пшеничний Д.С.</i> Математична модель однофазного асинхронного двигуна з урахуванням електромагнітного перевантаження.....	138
<i>Зіновкін В.В., Яценко М.М., Васильев Б.П., Літвін В.А.</i> Експлуатаційна надійність перемикаючих пристроїв при різкозмінних навантаженнях ..	139
<i>Зіновкін В.В., Пунда М.О., Мельник М.Т.</i> Методи дослідження електромагнітного поля в потужному електротехнічному обладнанні....	140
<i>Зіновкін В.В., Новік Д.В., Яценко М.М., Снігарь Д.Є.</i> Втрати від вихрових струмів в феромагнітних деталях електротехнічного обладнання .....	142
<i>Пирожок А.В., Снадчук О.В.</i> Застосування курсовертикалі при модернізації авіаційної техніки (малої авіації).....	143
<i>Адамцев П.П., Ураков А.А., Пирожок А.В.</i> Лабораторний стенд дослідження регульованого електропривода вентилятора .....	144
<i>Ткаченко Д.І., Бочаров А.М., Лисенко В.О., Пирожок А.В.</i> Діагностика електродвигуна під час його роботи і передбачення його ресурсу .....	146
<i>Лбабуз М.Ш., Пирожок А.В.</i> Система керування рухом мобільної платформи з омні-колесами.....	147
<i>Шулев А.І., Пирожок А.В.</i> Система керування електроприводами подачі станини порталного типу .....	149
<i>Казурова А.Є., Драпак К.М.</i> Регулятор зміни витрат палива в камері згоряння. порівняння методів налаштування.....	151
<i>Казурова А.Є., Лисенко В.О.</i> Система автоматичного регулювання продуктивності стрічкового дозатора.....	153

<i>Залужний М.Ю., Тимошенко Д.О.</i> Розробка стенду дослідження законів частотного регулювання .....	155
<i>Десев С.Г., Бережний О.Ю.</i> Створення БПЛА планерного типу з електроприводом .....	156
<i>Залужний М.Ю., Шульга С.О.</i> Дослідження системи керування антеною на базі вентильного двигуна .....	158
<i>Кулинич Е.М., Назарова О.С., Гончаров Д.В., Чернишев С.Г.</i> Лабораторний стенд з бездротовим інтерфейсом для дослідження електроприводу постійного струму .....	160
<i>Осадчий В.В., Назарова О.С., Олейников М.О.</i> Фізичне і комп'ютерне моделювання системи автоматичного керування позиційного електропривода двомасової системи .....	162
<i>Назарова О.С., Горецька А.Є.</i> Процес обробки виробу на поздовжньо-стругальному верстаті .....	163
<i>Назарова О.С., Яцун О.О.</i> Опис технологічного процесу приготування бетонної суміші на ПАТ «Запоріжсталь» .....	165

## СЕКЦІЯ «ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ» . 168

<i>Тиховод С. М., Паталах Д.Г.</i> Метод розрахунку перехідних процесів з використанням розкладання похідної функції за поліномами .....	168
<i>Волков В.О.</i> Розрахунок електрогідравлічного підсилювача .....	172
<i>Волков В.О.</i> Швидкодіючі слідкові приводи з гідропідсилювачем сопло-заслонка .....	174
<i>Афанасьєва І.О.</i> Дослідження електричної міцності ізоляційної трансформаторної бумаги типу ТВУ-085 .....	175
<i>Козлов В.В., Набокова О.В.</i> Аналіз електричного кола постійного струму за допомогою електронних таблиць Excel .....	177
<i>Козлов В.В., Набокова О.В.</i> Аналіз Перехідного процесу при підмиканні коливального контуру до джерела постійної напруги за допомогою електронних таблиць Excel .....	181
<i>Романіченко Г.М.</i> ГРАДІЄНТИ ФАЗОВИХ ШВИДКОСТЕЙ ВЕКТОРІВ НАПРУЖЕНОСТІ Електричного і магнітного полів ближньої зони випромінювання диполя Герца .....	184
<i>Тиховод С.М., Гончаров Д.В.</i> Моделювання технологічного процесу формування поверхневого шару оброблюваних деталей з урахуванням наступних операцій .....	187
<i>Тиховод С.М., Драпак О.М.</i> Особливості моделювання електромагнітних процесів в трансформаторах .....	189
<i>Тиховод С.М., Олейников М.О.</i> Застосування повного факторного експерименту для навчання нейронної мережі .....	191



<i>Тиховод С.М., Ігуменов П.В.</i> Розрахунок нелінійних кіл постійного струму з застосуванням дискретних струмових моделей .....	193
<i>Козлов В.В., Піскун В.В.</i> Аналіз резонансних явищ у послідовному коливальному контурі за допомогою електронних таблиць excel .....	196
<i>Набокова О.В., Дикусар І.С.</i> Мікропроцесори – призначення, типи, переваги та недоліки .....	199
<i>Набокова О.В., Бурлай Д.А.</i> Eddy currents - main characteristics, advantages and disadvantages .....	201
<i>Набокова О.В., Колісник Д.А.</i> The Application of Laplace-Transform Method to Finding Circuit Solutions .....	202
<i>Набокова О.В., Вовк В.А.</i> Потяги на магнітній подушці – транспорт, здатний змінити світ .....	205
<i>Афанасьєва І.О., Капленко Р.Р.</i> Актуальність вітрових електричних станцій .....	207
<i>Набокова О.В., Безродній О.Є.</i> Нелінійні електричні кола постійного струму .....	208
<i>Афанасьєва І.О., Дідух Д.С.</i> Застосування світлодіодів .....	210
<i>Афанасьєва І.О., Вечера Е.С.</i> Застосування сухих трансформаторів .....	211
<i>Афанасьєва І.О., Нечибой Л.П.</i> Електрична дуга .....	212
<i>Романіченко Г.М., Баранов В.А.</i> Магнітне поле колового струму .....	213

## СЕКЦІЯ «ФІЗИКА»..... 216

<i>Золотаревський І.В., Щетініна М.О., Золотаревський О.І.</i> Вплив сильних імпульсних магнітних полів на мартенситне перетворення у сплавах заліза. Статистичні закономірності .....	216
<i>Манько В.К.</i> ДЕМОНСТРАЦІЯ Перевантаження та невагомості.....	218
<i>Золотаревський О.І., Сейдаметов С.В.</i> Дослідження амплітудно-частотної характеристики RC-фільтра.....	219
<i>Золотаревський І.В., Золотаревський О.І., Щетініна М.О.</i> Магнітний фазовий перехід першого роду у сплавах заліза інварного типу .....	220
<i>Павленко Д.В., Щетініна М.О.</i> Вплив кручення під високим тиском на твердість силуміну, отриманого селективним лазерним спіканням .....	223
<i>Єршов А.В., Зеленіна О.А., Залозецький В.В.</i> Деформація зразка після нанесення плазмового покриття.....	225
<i>Єршов А.В., Зеленіна О.А., Залозецький В.В.</i> Напружений стан плазмового покриття та жорсткої основи.....	227
<i>Кубишкін А.А., Герасін Ю.В.</i> Вплив інфрачервоного випромінювання на електролюмінісценцію цинк сульфідних люмінофорів .....	229
<i>Tatarchuk T.V., Havrov A.I.</i> The environment Mathcad is using for technical calculations .....	231

<i>Bondarenko A.O., Lushchin S.P.</i> Prospects for using solar panels .....	233
<i>Demidenko I.V., Lushchin S.P.</i> Alternative energy development in Ukraine ..	234
<i>Pidlisniy O.S., Lushchin S.P.</i> Methods of reducing load losses in transformer windings .....	235
<i>Лозовенко О.А., Задоян М.К.</i> Розв'язок задачі про умову зрушення з місця	236
<i>Nazarko N. N., Lushchin S.P.</i> Some aspects of the use of wind turbines in ukraine .....	241
<i>Гуляєва Л.В., Дібров Я.А.</i> Завдання для самостійної роботи під час виконання лабораторних робіт майбутніми інженерами .....	242
<i>Stepanov V.V., Lushchin S.P.</i> Safety of peaceful atom .....	244
<b>СЕКЦІЯ «АНГЛІЙСЬКА МОВА» .....</b>	<b>246</b>
<i>Адаменко О.В.</i> Бізнес кореспонденція: гендерний аспект .....	246
<i>Войтенко С.В.</i> Особливості навчання написання есе англійською мовою .	247
<i>Yuliya Bykova</i> Навчання професійно-орієнтованого письма студентів немовних спеціальностей .....	248
<i>Valentyna Kuzmenko</i> Writing in professional communication .....	250
<i>Yuliya Sobol</i> Combating plagiarism in writing scientific papers .....	252
<i>Olena Syvachuk</i> Strategies for helping english language students throughout the writing process .....	254
<i>Суворова Т.М.</i> Основні принципи формування ефективного іншомовного писемного спілкування .....	256
<i>Danyl Burlay, Ivan Dikusar, Tetyana Suvorova</i> Renewable energy in the US and China .....	258
<i>Daniil Kolisnyk, Tatyana Suvorova</i> Nuclear power is gaining momentum again .	259
<i>Danil Komarov, Oleksandr Bezrodnii, Tetyana Suvorova</i> Inconvenient facts about the "green" energy .....	261
<i>Iryna Demidenko, Tatyana Suvorova</i> Mean world syndrom .....	263
<i>Danylo Kushnirenko, Valentyna Kuzmenko</i> History of software engineering.	264
<i>Danylo Ermakov, Valentyna Kuzmenko</i> Web design in progress .....	266
<i>Yaroslav Shevchenko, Valentyna Kuzmenko</i> Improvement of video editing procedure .....	268
<i>Aleksandr Dukov, Svitlana Voitenko</i> The specificity of system analysis as a method of political science .....	270
<i>Dmitro Kondratov, Svitlana Voitenko</i> Boosting confidence as a business analyst	272
<i>Anita Zaytseva, Valentyna Kuzmenko</i> Information security .....	273
<i>Alexandr Slastnikov, Svitlana Voitenko</i> The emergence of new english words and expressions on YouTube and Twitter .....	275
<i>Pavlo Tarasov, Svitlana Voitenko</i> Bachelor contribution to the creation projects and development .....	277

<i>Oleksii Pestov, Olga Adamenko</i> Windows: the birth, the rise, the fall .....	279
<i>Dmytro Demchan, Olga Adamenko</i> The future of virtual reality .....	281
<i>Maksym Sloniev, Olga Adamenko</i> Cybersecurity issues.....	282
<i>Герасін Ю.В., Адаменко О.В.</i> Структурно-граматичні особливості неологізмів сфери ІТ .....	283
<i>Andrii Khrapko, Olga Adamenko</i> Face recognition technology .....	285
<i>Yevhenii Minchenko, Olga Adamenko</i> 3D printing in medical sphere.....	287
<i>Artem Palamarchuk, Yuliya Bykova</i> C++ language.....	288
<i>Kostiantyn Kuhtin, Olga Adamenko</i> A look back at computer monitors .....	289
<i>Philipp Dolzhenko, Yuliya Bykova</i> Digital audio workstation.....	290
<i>Viacheslav Tomin, Yuliya Bykova</i> PC History in facts.....	291
<i>Danylo Hvozdylo, Yuliya Bykova</i> History of software engineering .....	292
<i>Oruna Rud, Yuliya Bykova</i> Computer engineering graphics .....	293
<i>Ilya Lavrenko, Yuliya Bykova</i> The main stages of website development .....	294
<i>Ilya Lavrenko, Yuliya Bykova</i> Lat plane crankshaft.....	296
<i>Oleksandr Panas, Yuliya Bykova</i> Pros and cons of being a mechanical engineer .	297
<i>Vladyslav Maksymenko, Olena Syvachuk</i> Electromagnetic waves and their effects on human body.....	299
<i>Yevhen Popov, Olena Syvachuk</i> Willpower training and electric current .....	300
<i>Dmytro Maslov, Olena Syvachuk</i> Future vehicle electrification perspectives .	301
<i>Dmytro Mikulin, Olena Syvachuk</i> Application of technologies in everyday life	302
<i>Yevhenii Lapshynov, Olena Syvachuk</i> Active-adaptive smart grids .....	304
<i>Yevhenii Lapshynov, Olena Syvachuk</i> Use and method of controlling an electric ARC.....	305
<i>Svetlana Yeromina, Yuliya Sobol</i> Function of the arcing in magnetic launcher..	306
<i>Yevhenii Peklov, Yuliya Sobol</i> The impact of calculations DC contactor on the choosing winding parameters .....	307
<i>Artem Kozachenko, Yuliya Sobol</i> DC contactor selection depending on nominal voltage and current values .....	308
<i>Serhii Leoshchenko, Yuliya Sobol</i> Adaptive mechanisms of the neuroevolution method for neural network synthesis .....	309
<i>Opanas Melnyk, Yuliya Sobol</i> Electrohydraulic crushing devices.....	311
<i>Evgeniya Vafina, Yuliya Sobol</i> The value of the criminal law text in the interpretation of norms of criminal law by the constitutional court of Ukraine	312
<i>Kateryna Laikova, Yuliya Sobol</i> Decentralization as one of the elements of spatial development of a state .....	314
<i>Dmytro Honcharenko, Yuliya Sobol</i> Sulfur hexafluoride gas benefits in relation to oil and cellulose insulation in voltage transformers .....	316
<i>Pavlo Anikin, Yuliya Sobol</i> Overview of modern-day cad/cam/cae software capabilities for metal additive manufacturing simulation.....	317
<i>Yatsura Serhii, Yuliya Sobol</i> Benefits of fiber optic current transformer .....	319

<i>Volodymyr Ozirskyi, Ludmila Zhornyak, Yuliya Sobol</i> Analysis of external insulation of optic- fiber 35 kv current transformer.....	321
<i>Anastasiia Fylymonenko, Yuliya Sobol</i> Optical current and voltage sensors....	322
<i>Kostiantyn Paziuk, Yuliya Sobol</i> SF <sub>6</sub> -GAS insulation factory-assembled switch-gear .....	324
<i>Oleksandr Bilan, Yuliya Sobol</i> Voltage measuring transformer .....	325
<i>Igor Olenchenko, Yuliya Sobol</i> Convolutional neural network for image recognition.....	327
<i>Danil Aleksieiev, Nataliia Zhukova</i> Foldit, a Very Smart Approach to Solving the Secrets of Viruses .....	329
<i>Alexander Meleshko, Nataliia Zhukova</i> What Is A Fingerprint Scanner? .....	330
<i>Anna Shylo, Denys Romaniuk, Galina Shilo, Nataliia Zhukova</i> Wireless indoor positioning technologies .....	332
<i>Roman Movchan, Nataliia Zhukova</i> Intelligent home robots .....	334

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА»

УДК 621.313.322

Махлін П. В., Шрам О. А.

канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ГЕНЕРАТОРА БЕЗ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ

Дослідження електромеханічних перехідних процесів в електричних системах дозволяє передбачити протікання будь-якого перехідного процесу, не допускаючи можливих негативних наслідків [1, 2].

Статична стійкість – це здатність заданого усталеного режиму самовстановлюватися після закінчення дії малих збурень параметрів цього режиму, а не “сповзати” від них, а також протистояти малим збуренням при поступовому погіршенні режиму впритул до граничного. Малі збурювальні впливи завжди супроводжують експлуатацію системи і вони пов’язані, в основному, із змінами навантаження, а також з реакцією на це регулюючих пристроїв; з включенням і відключенням окремих генераторів або зміною їх потужності; із змінами в нормальних експлуатаційних схемах при комутаціях тощо.

Задача аналізу статичної стійкості системи вирішується визначенням залежностей, які характеризують зміну параметрів заданого вихідного режиму в часі при малих збуреннях цього режиму. В більшості випадків достатньо визначити зміну кута вибігу ротора СГ з часом. Для цього необхідно розв’язати нелінійне диференційне рівняння (1) (або систему диференційних рівнянь), яке описує цей режим. Знайти розв’язок рівняння (1) у загальному вигляді неможливо. Тому дослідження стійкості проводиться або шляхом інтегрування лінеаризованого диференційного рівняння з використанням метода малих коливань, або прямим інтегруванням вихідного нелінійного диференційного рівняння з використанням чисельних методів.

$$\frac{T_j}{\omega_0} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \frac{P_d}{\omega_0} \cdot \frac{d\delta}{dt} = P_0 - \frac{E_q \cdot U_c}{X_c} \cdot \sin \delta, \quad (1)$$

де  $T_j$  – постійна інерції ротора, с ;

$P_d$  – демпферний коефіцієнт, в.о. ;

$P_0$  – потужність турбіни вихідного усталеного режиму, в.о. ;

$\delta$  – кут вибігу ротора генератора, рад ;

$\omega_0$  – синхронна швидкість обертання ротора, рад/с,  
 $E_q$  – поперечна синхронна ЕРС генератора, в.о. ;  
 $U_c$  – напруга на шинах приймальної системи, в.о. ;  
 $X_c$  – сума опорів елементів електропередачі від точки прикладення ЕРС  $E_q$  до шин приймальної системи з напругою  $U_c$ , в.о.

Імітаційна модель руху синхронного генератора з колами вимірювання розроблена в роботі показана на рис. 1.

В результаті проведених досліджень була вирішена задача аналізу статичної стійкості синхронного генератора без автоматичного регулювання збудження в широкому діапазоні змін вихідних параметрів. Були отримані залежності куту вибігу ротора синхронного генератора у часі.

Розроблений програмний комплекс використовується в навчальному процесі кафедри електропостачання промислових підприємств Національного університету «Запорізька політехніка» при вивченні дисципліни «Електромеханічні перехідні процеси» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

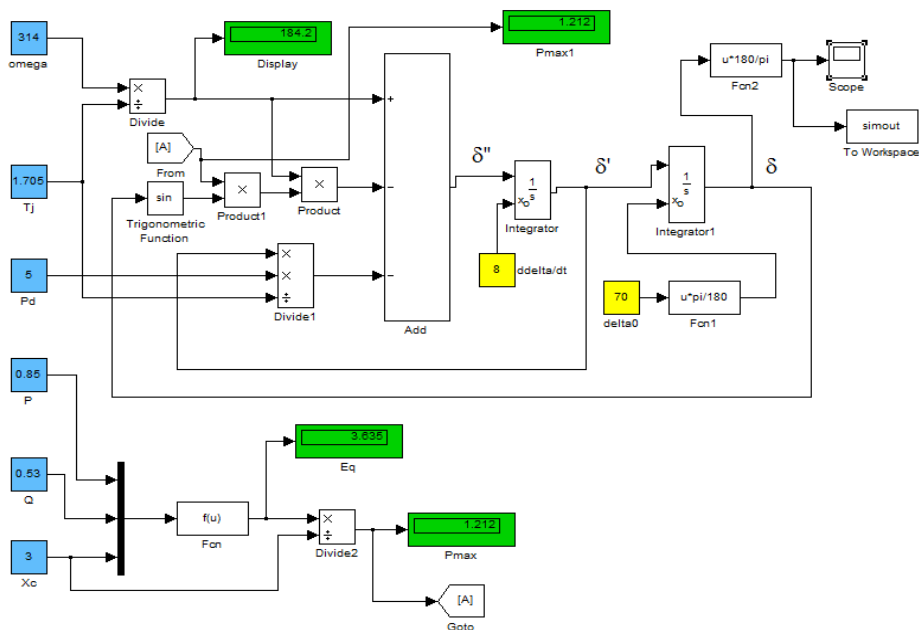


Рисунок 1 – Імітаційна модель руху синхронного генератора.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папайка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.

2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

УДК 621

Немикіна О.В., Авдєєв І.В.

канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

### ПРО ВИБІР КІЛЬКОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ЗАДАНОЇ ПОТУЖНОСТІ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Структура автономної сонячної електростанції (АСЕ) показано на рис. 1. АСЕ складається з фотобатареї, акумулятора, інвертора, контролера заряду-розряду. Навантаження АСЕ: споживачі змінної та постійної напруги.

Фотоелектричні (сонячні) модулі або панелі збирають з фотоелементів, а з модулів відповідно фотобатареї або сонячні батареї. Фотобатареї, які працюють на спільне навантаження, утворюють електростанції.

Для акумулювання електричної енергії використовується акумуляторна батарея. Для живлення споживачів змінним струмом або генерації енергії в мережу на виході АСЕ використовується інвертор напруги.

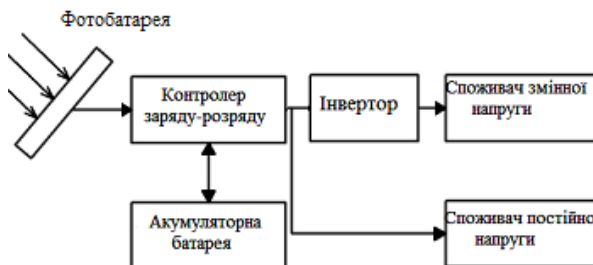


Рисунок 1 - Структура автономної сонячної електростанції.

Основною складовою АСЕ є модулі, ефективність яких, залежить від рівня сонячної радіації, кута нахилу та ін. Ефективність фотобатареї залежить від виду з'єднань між собою панелей (паралельне або послідовне).

Розрахунок сумарної потужності сонячної батареї необхідний для правильного вибору кількості та потужності модулів. Потужність сонячної батареї повинна забезпечити необхідною кількістю електроенергії для будинку, ферми або ін. з урахуванням значення сонячної радіації для даного району.

При виборі типу фотоелектричних модулів для АСЕ вирішальним критерієм, як правило, є вартість одного Вт пікової потужності. Зазвичай модулі розташовують на дахах будинків, або вбудовують в фасадні стіни, що дозволяє економити будівельні матеріали, а також робить модулі сучасним елементом дизайну будівель.

Кількість необхідних сонячних модулів та їх потужність залежить від розміру майданчика для розміщення модулів та значення сонячної радіації.

Значення сонячної інсоляції різне і залежить від району та пори року. Слід враховувати орієнтування майданчика, який сприймає енергію сонця. Рекомендується щоб майданчик для кріплення модулів був направлений на південь. Для підвищення рівня генерації використовують зміну орієнтації панелей на сонце впродовж року та впродовж дня. Зміну можна проводити за допомогою сонячних трекерів або вручну. Для окремих будинків, ферм найбільш поширене стаціонарне встановлення сонячних панелей на даху будівлі ): Для м. Запоріжжя нахил сонячних панелей дорівнює  $47^{\circ} + 15^{\circ} = 62^{\circ}$  (в тих випадках, коли АСЕ працює цілий рік панелі розташовують під кутом до горизонту більшим широти місцевості на  $15^{\circ}$  ).

Обираємо розміщення модуля - менша сторона модуля паралельна землі на даху будинку з розмірами: площа  $S=90\text{м}^2$  (  $A = 15\text{м}$ ;  $B = 6\text{м}$  ).

Сумарна потужність фотоелектричних модулів з урахуванням балансу потужностей розраховується за формулою [2]. Значення сонячної радіації наведено в довідковій літературі [1]. Сумарна потужність сонячних модулів АСЕ у разі цілорічного використання обирається коли сонячна інсоляція мінімальна - це зимовий період (грудень). Обираємо декілька варіантів кількості та потужності модулів. Розміщення необхідної кількості модулів виконується в один ряд, в декілька рядів (відповідно до розмірів даху будинку) що забезпечує встановлену потужність АСЕ. ( $P_{\text{вст}}=4,5\text{кВт}$ ). Шляхом перебору вартості модулів, які мають різні співвідношення між потужністю та вартістю одного модуля з декількох варіантів обираємо один що забезпечує парну кількість модулів та найменшу вартість .

В результаті аналізу даних можна встановити, що розміщення 14 модулів на даху будівлі з потужністю модуля 335 Вт забезпечує вартість модулів – 3584у.о., та характеризується сумарною потужністю модулів 4,7 кВт. Модулі з'єднуються паралельно. Напруга шини постійного струму (напруга основної шини живлення) дорівнює напруги обраного модуля.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Солнечная инсоляция – справочные таблицы [Электронный ресурс]. // Альтернативная энергетика: сайт URL: <http://alternativenergy.ru/solnechnaya-energetika/312-solnechnaya-insolyaciya.html> (дата обращения: 27.12.2019).
2. Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Поновлювальні та альтернативні джерела енергії" та контрольні завдання для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» всіх форм навчання /Укл.: О.В. Немикіна,- Запоріжжя: ЗНТУ, 2019 – 43 с.

УДК 629.92

Кулагін Д.О.

канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

## ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ

На наших очах набирає чинності нова галузь промисловості-воднева енергетика і технологія. Потреба економіки у водні йде по наростаючій. Адже це найпростіший і найлегша речовина може використовуватися не тільки як паливо, а й як необхідний елемент сировинної у багатьох технологічних процесах. Він незамінний в нафтохімії для глибокої переробки нафти, без нього не обійтися, скажімо в хімії при отриманні аміаку і азотних добрив, а в чорній металургії з його допомогою відновлюється залізо з руд.

Такі існуючі види органічного палива, як газ, нафту і вугілля, теж служать сировиною у цих чи подібних процесах, але ще корисніше витягти з них самий ощадливий і чистий енергоносіє-той же водень. Водень - ідеальний екофільний вид палива. Дуже висока і його калорійність - 33 тис.Ккал/кг, що в 3 рази вище калорійності бензину. Він легко транспортується по газопроводах, тому що у нього дуже мала в'язкість. По трубопроводу діаметром 1,5 м з ним передається 20тис. Мегават потужності. Перекачування якнайлегшого газу на відстань в 500км. майже вдсятеро дешевше, ніж передача такої ж кількості електроенергії по лініях електропередачі. Як і природний газ, водень придатний на кухні для приготування їжі, для опалення та освітлення будівель. Щоб продемонструвати його можливості, американські вчені побудували "водневий дім", в якому для освітлення використовувався водень. Передавати водень у рідкому вигляді-задоволення дуже дороге, тому що для його зрідження потрібно витратити майже половину енергії, що міститься в ньому самому. Крім того, повинна бути забезпечена ідеальна теплоізоляція трубопроводу, тому що темпера туру рідкого водню дуже низька.

Як паливо водень спалюється в двигунах ракет і в паливних елементах для безпосереднього отримання електроенергії при з'єднанні водню і кисню. Його можна використовувати і як паливо для авіаційного транспорту.

Воднева енергетика обіцяє ряд переваг. Тому з'явилася багато ентузіастів водневої енергетики, виникли їх асоціації, у тому числі міжнародна.

Зараз у світі отримують близько 30 мільйонів тон водню на рік, причому в основному з природного газу. Згідно з прогнозами за 40 років виробництво водню має збільшитися в 20-30 разів. Має бути за допомогою атомної енергетики замінити нинішній джерело водню - природний газ-на більш дешеве і доступне сировину - на воду. Тут можливі два шляхи.

Перший шлях - традиційний, за допомогою електрохімічного розкладу води.

Другий шлях менш відомий. Якщо нагріти пари води до 3000-3500 С, то водні молекули розваляться самі собою.

Обидва способи отримати водень із води поки дорожче, ніж з природного газу. Однак природний газ дорожчає, а методи розкладання води удосконалюються. Через якийсь час водень із води подешевшає. В окремих випадках і зараз вигідно одержувати водень за допомогою електролізу в нічні години, коли є зайва і дешева електроенергія.

Воднева енергетика бурхливо розвивається, але дарма все частіше говорять про атомно-водневої енергетики. Потрібні великі енергетичні витрати для одержання водню. ТанDEM "ядерний реактор-водневий генератор" - нині претендує на роль енергетичного лідера в економіці ХХІ століття.

УДК 621.311

Дьяченко В.В.

канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ РОЗТАШУВАННЯ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Однією з основних задач, що вирішуються при проектуванні систем електропостачання промислових підприємств є задача вибору місця розташування вузлів електричних мереж на всіх рівнях ієрархії системи. Коректне рішення цієї задачі зумовить якісний відгук на проблему пошуку раціональних зв'язків між вузлами електричної мережі. Причому вузол мережі виконує подвійну роль: по відношенню до приймачів (або

споживачів) електроенергії він є джерелом живлення (ДЖ), а відносно живильної його мережі цей вузол вже становиться споживачем.

Розподіл приймачів електроенергії в плані підприємства найчастіше зумовлено технологіями, а розташування вузлів мережі допускає деяке варіювання, яке може (або не може) привести їх в раціональну зону на плані підприємства. Так, аналіз діючих внутрішньозаводських електричних мереж деяких енергоємних підприємств показав, що зміщення вузла мережі на 100 метрів від оптимальної (незадіяної) зони призвело до збільшення капіталовкладень на 20%, а втрат електричної енергії - в 2 рази [1]. Тут оптимальна зона визначалася за загальноприйнятим критерієм в енергетиці - «мінімум річних наведених витрат». Наведені числові показники не є узагальнюючими. Безсумнівно, що вони будуть індивідуальні, так як залежать від конструктивно-енергетичного відображення мережі, яке включає в себе сукупність таких параметрів: кількість приймачів, конструктивні характеристики вузла і провідників живильної та розподільної електричних мереж, електричні навантаження споживаючих вузлів (або приймачів) й їхнє розподілення в плані підприємства та ін.

З огляду на те, що в сучасних умовах розвитку енергетики пріоритетним є енергозберігаючий фактор, то він також повинен бути задіяний й у розглянутій проблемі. Безсумнівно, що урахування енергозбереження у зазначеній задачі призведе до рішень, відмінним від тих, які вийдуть з використанням критерію, що містить певну частку капітальних вкладень. Наприклад, оцінюючи відхилення одного з вузлів внутрішньозаводської електричної мережі підприємства щодо оптимальній зони на плані підприємства з використанням критерію «мінімум річних наведених витрат» і «мінімум втрат електроенергії» були отримані наступні результати. За першим критерієм відхилення становить 200 метрів, втрати електроенергії при цьому зросли в 2,5 рази; за другим - 600 метрів, а втрати зросли в 5 разів. Результати досліджень можна пояснити тим, що в існуючій практиці до сьогоднішнього дня під час проектування систем електропостачання не враховано енергозберігаючий фактор у повному обсязі [2].

Аналіз існуючих методів вирішення даної задачі показав наступне:

- використання центру електричних навантажень (за активною, повною й за струмом) призводить до неефективних рішень з точки зору енергоефективності;
- об'єктивність і ефективність критерію може бути забезпечена використанням умовного токового моменту [1];
- ефективність рішення залежить від врахування подвійності вузла електричних мереж.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Скоробогатова В.И. Методологическая концепция формирования рациональной электрической схемы системы промышленного электроснабжения / В.И.Скоробогатова, В.В. Дьяченко // Электрический журнал, 1995 - №1. – С.40 – 47.

2. Качан Ю.Г. Об оценке потенциала энергосбережения в системах электроснабжения / Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко //Інтегровані технології та енергозбереження: Щоквартальний наук.-практ. журн. – Харків : НТУ «ХП», 2005. – №2 – С.154-156.

УДК 621.3

Качан Ю.Г.<sup>1</sup>, Міщенко В.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> асист. НУ «Запорізька політехніка»

### **ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ КОЛИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШИХТИ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ В ПРОЦЕСІ ОДЕРЖАННЯ ФЕРОМАРГАНЦЮ**

Феросплави виплавляють в руднотермічних печах (РТП) різної конструкції та потужності, електричні і геометричні параметри яких визначаються характером протікаючих в них процесів. В агрегатах невеликої потужності ця обставина була мало помітною. Подібність електричних режимів робило можливим використання однієї і тієї ж ванни у різних випадках. Технологічні процеси, що відбуваються у ванні руднотермічної печі є енергоємними і дуже різноманітними. Деякі з них протікають безперервно, а інші функціонують циклічно і потребують повного проплавлення завантажених матеріалів. Найважливішим параметром печі є електричний опір ванни, який залежить від значної кількості факторів: питомого опору шихтових матеріалів, що знаходяться у ній, геометричних розмірів, а також кількості та параметрів електродів.

Майже всі РТП відносяться до об'єктів прямого нагріву. Теплова енергія виділяється безпосередньо в їх ваннах у результаті активного опору шихти електричному струму, який підводиться за допомогою вугільних або графітових електродів. Шихта для виплавки феромарганцю складається з: марганцевої руди або концентрату, коксу, вапняку та залізовмісних металічних додавань [1]. Як було зазначено вище головним енергетичним показником є питомий електричний опір (ПЕО) шихти, який змінюється в залежності від її складу та значення температури.

Визначенню залежності питомого електричного опору шихти та шихтових матеріалів від температури присвячені праці таких науковців як Гасик М.И., Жданов А.В., Мисик В.Ф. та Толымбеков Л.Б. Систематизувавши дані, що були отримані експериментальним шляхом вище зазначеними науковцями можна зробити наступні висновки:

- залежність питомого електричного опору марганцеворудних матеріалів від температури сильно відрізняються, що обумовлено різними родовищами та вмістом чистого марганцю. Також з підвищенням температури спостерігається зменшення електроопору матеріалів та шихт. А для останнього має вплив співвідношення провідних та непровідних частин, що визначається хімічним складом сировини та ПЕО марганцевої руди [2].

- якщо розглядати питомий електричний опір окремо марганцевої руди, то її значення зменшується при нагріванні, що пояснюється фазовим перетворенням. Для вуглецевих компонентів шихти (кокс, полукокс) в залежності від різних місць добування цей показник при відносно невеликих температурах (до 1273-1473 К) дуже різниться, однак при більш високих температурах ( $\geq 1473$  К) близький один до одного [3].

- також при металургійних технологічних розрахунках рекомендується використовувати сталі значення ПЕО шихтових матеріалів [4].

Отже, як зазначалося вище питомий електричний опір шихтових матеріалів та шихти в цілому змінюється при підвищенні температури. В залежності від географії розташування родовищ марганцевих та вуглецевих компонентів шихти та їх співвідношення має місце і різноманітний характер залежності ПЕО від температури. Також, як зазначено в наукових публікаціях, при певних розрахунках параметрів роботи руднотермічної печі для виплавки феромарганцю можливо приймати це значення константою. Однак в зазначеній літературі є достатньо інформації для проведення більш точних технологічних розрахунків з врахуванням зміни показників при збільшенні температури та при різних складових шихти для виплавки феромарганцю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гасик, М. И. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев. – М. : СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 764 с.
2. Жданов А.В. Исследование металлургических характеристик марганцеворудного сырья различных месторождений [Текст]: дис. канд. техн. наук/ А.В. Жданов. – Екатеринбург, 2008. – 139 с.
3. Толымбеков Л.Б. Разработка технологии выплавки ферросиликомарганца из окомкованого высококремнистого марганцевого

сырья [Текст]: дис. канд. техн. наук/ Л.Б. Толымбеков. – Екатеринбург, 2014. – 114 с.

4. Мысик В.Ф. Металлургия ферросплавов: технологические расчеты : учебное пособие /В. Ф. Мысик, А. В. Жданов, В. А. Павлов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 536 с.

УДК 621.311

Попов В.В.<sup>1</sup>, Прихно Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> асп. НУ «Запорізька політехніка»

## **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ У ЦЕХОВИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

У статті розглядається питання формалізації процесу розрахунку зведених витрат на цехову мереж, оскільки розрахунок зведених витрат при техніко-економічному порівнянні варіантів є трудомісткою задачею

Методом дослідження є моделювання процесу розробки цехового електропостачання і визначення техніко-економічних показників цехової мережі. Ефективність цехових мереж визначається за допомогою мінімізації зведених витрат, які мають дві складові, обумовлені капітальними витратами і витратами від втрат електроенергії у цих мережах. Визначення зведених витрат забезпечує застосування оптимального варіанта схеми цехового електропостачання.

Капітальні витрати складаються з витрат на провідниковий матеріал живлячої і розподільної цехової мережі і витрат на розподільні пристрої (розподільні шафи, розподільні або магістральні шинопроводи, шафи розподільного пристрою 0,4 кВ комплектної трансформаторної підстанції (КТП)). Капітальні витрати визначаються прийнятою схемою цехової мережі, а також залежать від вартості провідникового матеріалу і розподільних пристроїв цехової мережі. Експлуатаційні витрати визначаються величиною втрат активної електроенергії і вартості активної електроенергії.

Таким чином, функція зведених витрат на спорудження цехової мережі залежить від виду схеми цехової мережі, який визначає величину капітальних витрат і величину втрат активної потужності, режиму електроспоживання електроприймачів цехової мережі, а також від співвідношення вартості електроенергії і питомої вартості елементів цехової мережі.

Визначення втрат активної електроенергії доцільно визначати за методом середньої потужності [1], оскільки цей метод дає меншу похибку

ніж метод з використанням максимального розрахункового навантаження і величини часу максимальних втрат, які визначаються з певними припущеннями. Точність визначення втрат електроенергії за методом середньої потужності залежить від вибору коефіцієнта використання  $K_v$  і коефіцієнта потужності  $\cos\phi$ , які відображають режим електроспоживання окремих електроприймачів, а також від коефіцієнта форми графіка навантаження  $K_f$ , який застосовується для визначення втрат електроенергії при сумісному живленні електроприймачів у живлячій мережі.

На основі проведених досліджень розроблена методика вибору цехового електропостачання за критерієм мінімальних зведених витрат. Запропонована методика розрахунку зведених витрат на спорудження цехової мережі дозволяє формалізувати процес розрахунку при врахуванні конструктивних особливостей виконання цехової мережі. Отримана у процесі дослідження залежність дозволяє підвищити точність розрахунку при врахуванні режиму електроспоживання електроприймачів, а також визначити як зміняться зведені витрати при зміні співвідношення питомих витрат на спорудження цехових мереж і тарифу на електроенергію.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. Электроснабжение / Под. общ. ред. А. А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 586 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения: Т. 1. Электроснабжение / Под общ. ред. Ю. Г. Барыбина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 588 с.

УДК 621

Заболотний А.П.<sup>1</sup>, Тіхінська Т.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> асп. НУ «Запорізька політехніка»

## **ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

У світі нарастають глобалізаційні зміни в економіці, в тому числі в енергетиці – для України системоутворюючій галузі – централізований спосіб існування енергосистем вичерпав себе, що особливо помітно при навіть побіжному погляді на стан українського енергогосподарства: затратно-екстенсивний принцип сировинної (передусім вуглецеві та уранові) енергетики завів галузь в глухий кут, у замкнуте коло неефективних, але

невідворотно зростаючих затрат на підтримання обладнання і фінансів хоча б у тому напівзруйнованому стані, який дозволяє хоч якось продовжувати їх експлуатацію.

Тенденції зростання тарифів на електричну енергію обумовлюють пошук, споживачами, альтернативних джерел генерації електричної. Завдяки використанню поновлювальної та рекупейованої енергії споживачі можуть створювати джерела електричної енергії за місцем розташування поновлювальної та (або) рекупейованої енергії. Такі джерела електричної енергії утворюють розподілену генерацію, яку не враховують існуючі: підходи до формування структури систем електропостачання, способи оцінки потенціалу енергозбереження, методи визначення графіків навантажень. А отже неможливо під час проектування, реконструкції, оцінки потенціалу енергозбереження сформулювати систему електропостачання з урахуванням розподіленої генерації електроенергії, та визначити її вплив на структуру і енергоефективність системи електропостачання.

В енергетиці України розвиваються нові технології, впроваджуються інформаційні і діагностичні системи, сучасні засоби вимірювань і управління. В наш час перед споживачами стоїть вибір: орієнтуватися на централізовані джерела або використовувати автономну енергетику. В Україні впроваджується розподілена генерація на основі активного використання альтернативних джерел енергії: води, сонця, вітру і т.п.

Розподілені джерела енергії поділяються за рівнем впливу неконтрольованих факторів навколишнього природного середовища та первинними енергоносіями на :

відновлювані джерела з слабо-керованим генеруванням – використовують відновлювані ресурси, але генерування значно відрізняється залежно від часу доби та погодних умов (вітрові електростанції (ВЕС), сонячні електростанції (СЕС));

відновлювані джерела з керованим генеруванням – використовують відновлювані ресурси, мають стабільне генерування протягом встановленого проміжку часу (малі гідроелектростанції (МГЕС), геотермальні, біогазові установки тощо);

не відновлювані джерела з керованим генеруванням – використовують здебільшого традиційні джерела енергії, але мають абсолютно керований процес генерування (когенераційні установки (КГУ), парогазові та газотурбінні установки (ПГУ, ГТУ) та ін.). [1]

Впровадження альтернативних джерел енергії в електроенергетичних системах, крім зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище і вирішення проблем, що пов'язані з забруднення відходами під час виробітку електричної енергії, знизить використання природних ресурсів та розвантажить системоутворюючі і розподільні лінії електропередач. Однак



відновлювальні джерела енергії мають і ряд недоліків. Так як електричні мережі проектувалися за умови централізованого електропостачання, то розбудова в них ВДЕ породжує нетипові для попереднього періоду проблеми і питання. В першу чергу, велику роль відіграє нестабільне генерування ВДЕ через залежність від погодних умов. Отже виникає необхідність вдосконалення систем релейного захисту та автоматики з метою узгодження електропостачання від ВДЕ та живильних підстанцій електроенергетичної системи. Вплив ВДЕ на режими РЕМ суттєво залежить від значення сумарного розосередженого генерування в ній, від одиначної встановленої потужності ВДЕ та їх типу, а також від їх місця під'єднання в електричній мережі (це можуть бути шини нижчої напруги підстанцій або відгалуження ліній електропередачі). [2]

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Красовский А.А. Справочник по теории автоматического управления. – М.: Наука. –1987. – 712 с.
2. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах // Технічна електродинаміка. — 2011. — № 1. — С. 46.

УДК 621.311.001.57

Шрам О. А.<sup>1</sup>, Голоднюк В. М.<sup>2</sup>, Козак С. М., Цимбалюк О. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Ез-119м НУ «Запорізька політехніка»

### **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ**

Розрахунок перехідних процесів – це необхідна умова рішення багатьох задач, які виникають під час проектування і експлуатації систем електропостачання [1]. Ці задачі пов'язані із дослідженням електромагнітних перехідних процесів, вибором принципів дії автоматичних засобів протиаварійного керування, аналізом електромеханічних перехідних процесів з метою розробки методів для забезпечення безперервної роботи промислових підприємств в різних режимах системи електропостачання [2]. На прикладі системи електропостачання досліджено параметри перехідних процесів електричної мережі при симетричних та несиметричних коротких замиканнях за допомогою пакета програм імітаційного моделювання. Застосування подібних програмних пакетів дозволяє покращити точність розрахунків і може застосовуватися для розв'язку наступних задач: проектування та налагодження засобів релейного захисту і автоматики

системи електропостачання (СЕП), вибору електричних апаратів електроустановок за умов термічної та електродинамічної стійкості, визначення умов роботи споживачів при можливих коротких замиканнях і допустимих режимів, оцінки і вибору схем електричних з'єднань СЕП.

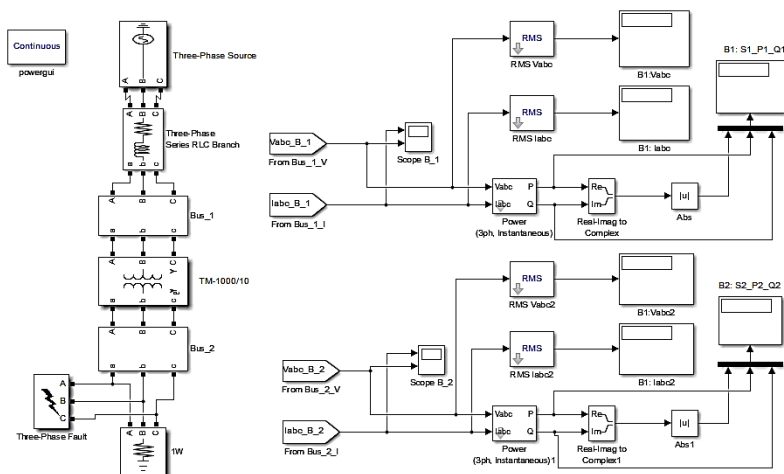


Рисунок 1 – Модель трансформаторної підстанції з колом вимірювання електричних величин від шин Bus\_1 та Bus\_2.

Осцилограми амплітудних значень струмів і напруг короткого замикання на шинах низької напруги підстанції показано на рис. 2.

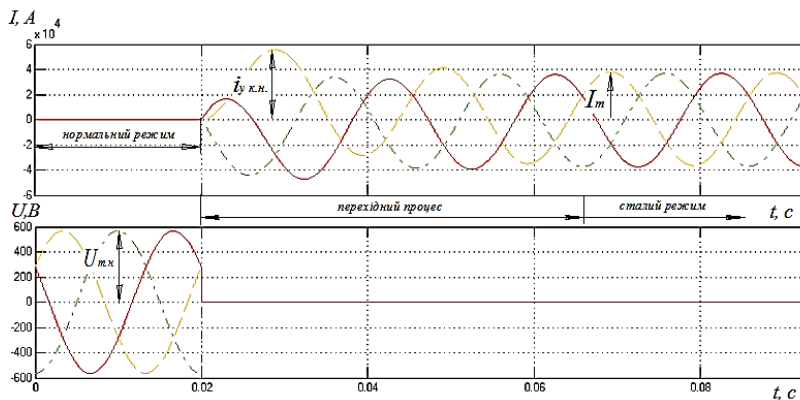


Рисунок 2 – Осцилограма струмів та напруг трифазного короткого замикання на низькій стороні підстанції.

Перевагами розробленої імітаційної моделі є можливість розрахунку та аналізу симетричних та несиметричних коротких замикань на шинах підстанції, швидка зміна вихідних даних розрахунку (клас напруги, опори елементів мережі), зміна електричних з'єднань моделі а також доповнення її іншими елементами (струмообмежувальні реактори, вимикачі, роз'єднувачі, компенсуювальні пристрої тощо).

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

2. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем. Диалог-МИФИ. 2003.

УДК 621.31:004.94

Шрам О. А.<sup>1</sup>, Кавун А. С.<sup>2</sup>, Коваленко Є. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-519м НУ «Запорізька політехніка»

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІОННО-ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ СКЛА**

Мала вивченість процесу іонно-плазмової модифікації поверхні скла та скловиробів при атмосферному тиску, складна залежність процесу від багатьох взаємопов'язаних параметрів (величини струму електричної дуги, витрати плазмоутворювального газу, геометричних параметрів плазмотрона тощо) не дозволяють отримати аналітичну залежність, яка описувала б процес обробки. Тому для побудови математичної моделі використовувалися методи планування багатофакторного експерименту [1, 2].

Вибір і корегування режимів електротехнологічного процесу обробки є типовою оптимізаційною задачею, метою якої є визначення найкращих значень параметрів обробки скловиробів при заданому критерію якості.

Технологічним параметром оптимізації була обрана сукупність характеристик одержуваного покриття (коефіцієнт пропускання в діапазоні довжин хвиль від 315 нм до 400 нм (ближній ультрафіолет UVA), коефіцієнт напрямленого пропускання світла, шорсткість поверхні обробленого зразка (середнє арифметичне відхилення профілю Ra, нм)). При дослідженні процесу іонно-плазмової модифікації поверхні скла в планування експерименту були включені п'ять факторів. В результаті проведених експериментальних досліджень і конструктивних особливостей розроблених

плазмотронів за середні (нульові) значення факторів прийняті: витрата розчину 160 мг/сек, величина струму 105 А, час обробки 10 с, витрата плазмоутворювального газу 1.5 м/сек, дистанція обробки 90 мм.

Залежність коефіцієнта пропускання ультрафіолетового випромінювання UVA від витрати розчину, величини струму і дистанції обробки показано на рис. 1.

Так, при збільшенні витрати розчину вихідного матеріалу від 140 мг/сек до 180 мг/сек коефіцієнт пропускання ультрафіолетового випромінювання UVA зменшується на 10.3%, коефіцієнт направленого пропускання світла збільшується на 13.9%, середнє арифметичне відхилення профілю Ra (шорсткість обробленого зразка) зменшується на 48.7%.

Зменшення дистанції обробки зі 110 мм до 70 мм призводить до зменшення коефіцієнта пропускання ультрафіолетового випромінювання UVA на 15.6%, коефіцієнта направленого пропускання світла на 25.4%, збільшення середнього арифметичного відхилення профілю Ra на 38.8%.

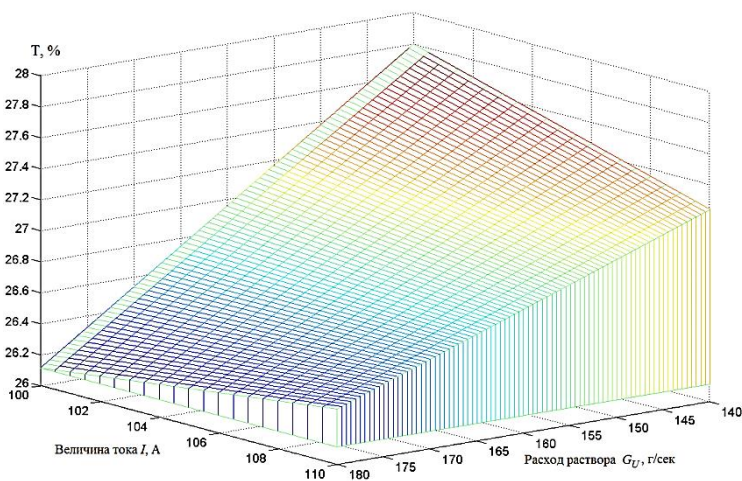


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта пропускання UVA від витрати розчину і величини струму ( $G = 2$  г/с ;  $t = 10$  с;  $h = 70$  мм).

Розроблена математична модель іонно-плазмової обробки поверхні скла при атмосферному тиску дозволяє визначити оптимальний діапазон зміни технологічних параметрів процесу обробки (витрата розчину матеріалу впровадження, величина струму, потужність, дистанція обробки, витрата плазмоутворювального газу, час обробки) для формування проникаючих покриттів із заданими оптичними властивостями (коефіцієнт пропускання

ультрафіолетового випромінювання UVA, коефіцієнт направленої пропускання світла) при мінімальній шорсткості поверхні обробленого зразка.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чередник В. И. Регрессионный анализ: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2009. – 170 с.

2. Гареев А. Г. Основы обработки и визуализации экспериментальных данных : [учеб. пособие] / А. Г. Гареев. – Уфа : УГНТУ, 2004. – 82 с.

УДК 692.92

Махлін П.В.<sup>1</sup>, Яценко П.М.<sup>2</sup>, Гапон О.В.<sup>2</sup>, Підопригора А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup>студ. гр. Ез-119м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup>студ. гр. Е-119м НУ «Запорізька політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ САМОЗАПУСКУ ЗАГАЛЬМОВАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Само запуск електродвигунів власних потреб електростанції є одним з найважливіших експлуатаційних режимів, що забезпечує безперервність технологічного процесу та безперебійну роботу енергетичного обладнання ВП при перервах постачання і повторної подачі напруги.

Неуспішний само запуск електродвигунів власних потреб може призвести до аварійної зупинки синхронних генераторів, що пов'язано з великим економічним збитком через недовідпуск електроенергії, відключення відповідальних споживачів, а також до пошкодження основного обладнання.

Оцінка успішності само запуску електродвигунів власних потреб проводиться за значенням початкової напруги само запуску. напруги мережі в точці включення трансформатора власних потреб в момент само запуску, а також напруги обмотки низької напруги, та напруги відгалуження обмотки вищої напруги, при якому здійснюється само запуск. . Основною умовою при цьому є те, що напруга на шинах  $U_{ш} > 0,6U_{ном}$

Для розрахунку значення напруги при само запуску загальмованого навантаження власних потреб складаємо розрахункову схему, та розраховуємо напругу живильної мережі.

На основі отриманих даних розраховуємо напругу на секціях ВП при само запуску. Для визначення допустимої потужності електродвигунів побудуємо залежність напруги на шинах ВП від сумарної потужності

електродвигунів, що запускаються. Як показують проведені дослідження само запуск буде успішним якщо загальна потужність електродвигунів, які підключені до секцій ВП не буде перевищувати 18 МВт. При цьому напруга на шинах  $U_{ш} > 0,6U_{ном}$ .

Для того щоб підвищити сумарну потужність електродвигунів, які підключаються до секцій, збільшимо напругу на низькій стороні трансформатору ВП на 10%. При цьому допустима потужність електродвигунів 21 Вт.

На основі проведених досліджень виявлена допустима сумарна потужність електродвигунів, що само запускаються для забезпечення безперебійної роботи енергетичного обладнання при перервах постачання навантаження ВП електростанції після повторної подачі напруги.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Правила улаштування електроустановок. вид. 3-тє, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2017. – 736 с.

2. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Корнеева, Т.В. Т.В. Чиркова. М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448с.

УДК 692.92

Махлін П.В.<sup>1</sup>, Бубліков С.С.<sup>2</sup>, Матусевич Ю.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup>студ. гр. Ез-119м НУ «Запорізька політехніка»

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТИТАНОМАГНІЄВОГО КОМБІНАТУ**

Технологічний процес виробництва продукції титаномангнієвого комбінату є дуже енергоємним. Завдання, забезпечення надійності електропостачання феросплавного виробництва з найменшими втратами електроенергії є актуальною задачею.

Система електропостачання титаномангнієвого комбінату є складною, а джерелом електроенергії є підстанція «Д — Д», «Запорізька -330кВ» і гідроелектростанція «Дніпрогес — 1», та «Дніпрогес — 2». В залежності від часу доби, пори року, положення в енергосистемі режими роботи і гідроелектростанції можуть бути різними.

Проведено аналіз можливих режимів роботи системи електропостачання при живленні від підстанції

«Д — Д», коли секції та між шинні вимикачі на підстанції «Д — Д» включені і живлення здійснюється з трьома паралельно включеними автотрансформаторами, а також коли секційні вимикачі відключені, і живлення кожної з ліній проводиться від окремого автотрансформатора; при включеному і відключеному положенні секційного вимикача на головній знижувальній підстанції комбінату. Дослідження проведені при максимальному і мінімальному режимі електроспоживання.

Проведені також дослідження при частково і повному включенні в роботу гідроелектростанції «Дніпрогес — 1». У зазначених режимах проведено розрахунок потоків потужності електроенергії по різних лініях зв'язку, визначені втрати потужності в елементах електромережі, знайдений оптимальний режим роботи.

Для проведення досліджень системи електропостачання в аварійному режимі роботи проведено розрахунок струмів трифазних і однофазних к.з. при різних схемах електропостачання феросплавного заводу.

Рівень струмів к.з. вийшов дуже високий, причому рівень однофазних к.з. перевищив к.з. Для зниження рівня трифазних к.з. розглянута можливість використання ділильної автоматики, що діє на відключення секційних вимикачів на шинах 150 кВ, в результаті чого зменшувалась кількість ланцюгів підживлення к.з.

Для зниження рівня струмів однофазних у нейтралі автотрансформаторів включалися заземлюючі реактори. Для вибору оптимального значення опору заземлюючого реактору проведені дослідження зниження рівня струмів однофазних к.з. від його опору.

В результаті дослідження обрано оптимальне значення опору реактора.

На основі проведених досліджень обраний оптимальний режим роботи системи електропостачання феросплавного заводу з точки зору мінімальних втрат потужності, проведені дослідження аварійних режимів роботи системи електропостачання та обрані заходи для зниження струмів к. з.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Правила улаштування електроустановок. вид. 3-тє, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2017. – 736 с.
2. Прихно В.Л. Программный комплекс КОСМОС оперативных расчетов режимов энергосистем на основе телеметрической информации /В.Л. Прихно. Тр. Института электродинамики НАНУ. Энергоэффективность: Зб. Киев: ИЭД НАН Украины, 2000. - С. 118-127.
3. Крылов В.А. Программный комплекс V-VI-50ПЗ автоматизированных расчетов на ПЭВМ аварийных режимов и уставок РЗ в сложных электрических сетях / В.А. Крылов. Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. 2005. – Ч.1. – с 17-18.

## АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В МЕРЕЖІ, ЯКА ЖИВИТЬ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ПРИВОД КРАНОВИХ УСТАНОВОК

Близько 70% електроенергії, що виробляється, споживають електродвигуни змінного струму. Велике розповсюдження електродвигунів змінного струму для приводу механізмів різних систем обумовлене простотою, надійністю і відносно невеликою вартістю цих машин.

Продуктивність сучасних машин і агрегатів багато в чому залежить від технічного рівня розвитку автоматизованого електроприводу, до якого висуваються все зростаючі вимоги. Однією з основних вимог є плавне регулювання швидкості обертання. Найекономічнішим способом плавного регулювання швидкості короткозамкнутих асинхронних двигунів, які забезпечують необхідні статичні і динамічні характеристики приводу є частотне регулювання.

В останній час спостерігається підвищений інтерес до створення і дослідження частотно-регульованого приводу. Одним з перспективним є двофазний перетворювач частоти (ПЧ) з автономним інвертором напруги (АІН-ШІМ). В роботі для кранів з ЧРП, що працюють в повторно-короткочасному режимі, во вхідній ланки ПЧ використовується загальний випрямляч з рекуперацією електричної енергії за схемою «прозорого».

Мережа живлення кранових установок, імітується послідовними  $R_i L_i$  ланцюжками з відповідними індуктивністю і активним опором: трансформатора -  $R_{TR} L_{TR}$ , кабельною лінією -  $R_{KL} L_{KL}$ , ділянками шин  $R_T L_T$ . Імітаційну модель ПЧ крана було розроблено в середовищі MatLAB/Simulink, рис. 2. Встановлена потужність крана  $P_{уст.} = 342$  кВт (вантажопідйомністю 16т).

Аналіз електромагнітних процесів в живильній мережі виконувався на основі моделювання з урахуванням наступних припущень [1]:

а) високочастотні пульсації напруги на конденсаторі фільтра від струмів інверторів, що живлять двигуни, не враховуються;

б) m- АІН-ШІМ та відповідно m- двигунів замінені загальним (еквівалентним) джерелом струму в режимі споживання або в режимі генерації;

в) IGBT-транзистори з діодами розглядаються як ключі, з двосторонньою провідністю.



В процесі моделювання виявлено, що у режимі споживання максимальне значення вхідного струму має п'ята гармоніка, а у режимі рекуперації – сьома гармоніка. Значення вищих гармонійних вхідного фазного струму в режимі споживання (при струмі інвертора  $I_i = 500$  А)  $I_5 = 39\%$ ;  $I_7 = 12\%$  при індуктивності мережі  $U_{кз} (S_{лч}) = 3,1 \%$

Найпростішим та найдешевшим пристроєм по зниженню вищих гармонійних в живлячій мережі є реактор.

Встановлення реакторів з  $U_{кз} \approx 4,5\%$  на крані суттєво знижує значення вищих гармонійних і покращує коефіцієнт гармонік  $THD_I$  в живлячій мережі.

Також було досліджено електромагнітні процеси в мережі, що живить групу кранів. Електроживлення чотирьох порталних кранів здійснюється від ПС з трансформатором ТМ-1600/10. З'єднання довжиною 150 м між трансформатором і початком шин з виконано через 12 кабельних ліній ( $3 \times 185 + 1 \times 150$ ) мм<sup>2</sup>. По довжині шин перерізом  $2(120 \times 10)$   $I_{ном} = 3200$  А розташовані колонки (№1-№4) через 35-40 м. Розрахункова потужність яка живить нелінійне навантаження (ПЧ кранів)  $P_{розр} = 70\%$  від потужності трансформатора ПС.

Значення  $THD_I$  на розподільному пункті - 0,4 кВ сягає до 27,6% та 31,5% в режимі споживання та рекуперації номінального струму інвертора та при встановлення вхідного реактору з  $U_{кз} \approx 4,5 \%$  на кожному крані. Коефіцієнт спотворення напруги ( $K_U$ ) сягає 5,3 та 7,9 %, відповідно в режимі споживання та рекуперації що відповідає умовам стандарту МЕК, та ГОСТ 13109-97 [2-4].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Немикіна О. В. Підвищення ефективності системи електроживлення кранів з частотно-регульованим приводом [Текст]: дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн. наук : 05.09.03 / Немикіна Ольга Володимирівна. – Одеса, 2016. – 148 с.
2. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Издание официальное. Киев: Госстандарт Украины, 1999.- 31С.
3. Electromagnetic Compatibility (EMC) of Technical Equipment, IEC 61800-3:2012 International Standard, 2012.
4. Limitation of Emission of Harmonic Currents in low Voltage Power Supply Systems for Equipment with rated Current Greater than 16 A Per Phase, IEC 61000-3-12:2004 International Standard, 2004.

УДК 629.92

Кулагін Д.О.<sup>1</sup>, Жогло В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-119м НУ «Запорізька політехніка»

## АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Вітроенергетика є способом отримання електричної енергії за допомогою вітру. Засоби отримання енергії вітру - вітротурбіни (вітрогенератори, вітрові установки), які об'єднують у так звані вітроелектростанції (ВЕС). Вітроенергетика - галузь відновної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Це один з тих способів використання енергії навколишнього середовища, що був відомий з давніх часів. Джерело вітроенергетики - Сонце, оскільки саме його активність спричинює утворення вітру. Атмосфера Землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідність її поверхні та різний кут падіння світла у різних широтах у різні пори року. Повітря розширюється та підіймається угору, утворюючи потоки. Там, де повітря нагрівається більше, ці потоки піднімаються вище і зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря залишається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря ми і називаємо вітром. Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру залежно від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також мати статистичні дані. Хоча б за останні 20 років. Від загальної кількості енергії Сонця лише 1-2 % перетворюється на енергію вітру. Ця кількість вп'ятеро перевищує річну світову енергетичну потребу. Сучасна технологія дає змогу використовувати тільки горизонтальні вітри, що розміщені близько до поверхні Землі і мають швидкість від 12 до 65 км/год. Основна відмінність такої електростанції від традиційних (теплових, атомних) полягає у повній відсутності сировини та відходів. Єдина основна вимога - високий середньорічний рівень вітру. Потужність сучасних промислових вітрогенераторів досягає 6 МВт. Людство використовує енергію вітру вже більше 5000 років. Одним з найперших винаходів, який застосовував використання енергії вітру, було вітрило. Ще у 3500 р. до н. е. мореплавці використовували силу вітру, щоб іти під вітрилами. Вітрильні човни ходили Нілом у Давньому Єгипті. Тобто вітрило було першою лопатевою машиною, що використовувала енергію вітру. Звичайні вітрові млини були вже в Китаї 2200 років тому. На Середньому Сході, у Персії, близько 200 р. до н. е. почали застосовувати вітряні млини з вертикальною

віссю для перемелювання зерна, їх виготовляли з в'язанок очерету, прикріплених до дерев'яної рамки, що оберталася, коли дув вітер. Стіна, що оточувала вітряк, спрямовувала потік вітру проти лопатей. Найпростіші вітрові млини мали досить низький ККД, незважаючи на те, що лопаті виготовлялись з досить легкого дерева чи матерії. Причиною неефективності було те, що сила вітру, яка штовхала одну половину вітроколеса, одночасно гальмувала іншу частину. У Радянському Союзі перша вітрова електростанція потужністю 8 кВт була споруджена у 1929-1930 рр. під Курськом.

Через рік у Криму було побудовано більшу ВЕС потужністю 100 кВт, що на той час була найбільшою у світі. Вона успішно працювала до 1942 р., але під час війни була зруйнована. Проте найшвидше вітроенергетика розвивалася у США - ще у 1941 р. там побудували першу ВЕС потужністю 1250 кВт. Останніми роками вітер все ширше використовується для одержання електроенергії. Створюються вітряки великої потужності і встановлюються на місцевості із частими й сильними вітрами. Кількість і якість таких двигунів зростає щорічно, налагоджено серійне виробництво. Наприклад, у Нідерландах спостерігається так званий мірошницький бум. Уряд запропонував великі субсидії усім, хто відкрив вітряк. Навіть парламент країни, що дбайливо охороняє "характерний національний пейзаж" і виступає проти надмірного шуму, цього разу не заперечував проти використання екологічно чистої вітрової енергії. Нині на території Нідерландів, що позбавлені запасів вугілля, нафти й газу, діють близько тисячі вітрогенераторів струму, що задовольняє потреби всієї країни в електроенергії приблизно на 10 %. Вітер є стихією потужною і практично всюдишною. Проте вона має і недоліки, що завадило їй поширитися як основне джерело забезпечення.

УДК 629.92

Братковська К.О.<sup>1</sup>, Ліуш Ю.Б.<sup>1</sup>, Біленький В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. екон. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-519м НУ «Запорізька політехніка»

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДЕНСАТОРА ЕНЕРГОБЛОКА АЕС

Конденсаційна установка призначена для зниження параметрів пари за турбіною, що є одним з основних способів досягнення високого термічного ККД паротурбінної установки, оскільки відомо, що при зміні тиску за турбіною на 1 кПа економічність паротурбінних установок АЕС змінюється приблизно на 1,5-2%.

Технічний стан конденсаційних пристроїв паротурбінних установок значною мірою визначає величину втрат електричної енергії. Порушення в роботі конденсаторів призводять до вимушеного зниження електричної потужності енергоблоку і погіршення надійності, а також до істотного недовиробітку електроенергії. За оцінками фахівців Південноукраїнської АЕС через забруднення конденсаторів на енергоблоці №1 в місяць в середньому втрачалось 20-30 млн кВт·год, на блоці №2 5-15 млн кВт·год, що відповідає простоюванню енергоблоку протягом півдоби або добу. Зниження виробітку електроенергії відбувається як внаслідок погіршення вакууму в конденсаторах, так і через розвантаження енергоблоків для пошуку присосів води. Модернізацією конденсаторів парових турбін можна досягти суттєвого приросту генерації електричної енергії при відносно невисоких капітальних вкладеннях порівняно з витратами на будівництво нових енергоблоків АЕС, а оцінка їх технічного стану дозволить вчасно вжити необхідні заходи.

В Україні діють 4 атомні електростанції з 15-ю енергоблоками, 12 з яких на 2020р. мають термін експлуатації понад 30 років, модернізація наявного обладнання необхідна для забезпечення енергобезпеки України, виконання Енергетичної стратегії країни, а також дає можливість роботи обладнання АЕС спільно з енергосистемами європейських країн. На двох енергоблоках з 15 останнім часом (№ 2 ВП «Південноукраїнська АЕС» та № 3 ВП «Запорізька АЕС») проведена модернізація конденсаторів паротурбінних установок за принципом «блочно-модульного» виконання, які можуть працювати при різних умовах експлуатації енергоблоків АЕС потужністю 1000 МВт. Унікальна конструкція конденсаторів забезпечила підвищення теплової потужності реакторної установки енергоблоків до 107 %.

Тиск в конденсаторі залежить від наступних основних параметрів: температури охолоджуючої води на вході, кратності охолодження, коефіцієнта теплопередачі і питомого парового навантаження. Тому дослідження зміни електричної потужності турбоустановки на затискачах генератора при зниженні витрати пари в конденсаторі та при появі забруднень поверхні теплообміну, є актуальним.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин, Ю.М. Бродов, В.К. Купцов, И.Д. Ларионов, М.А. Ниренштейн, П.Н. Плотников, А.Ю. Рябчиков, С.И. Хаев// Екатеринбург, УрФУ 2015. [Електронний ресурс]

2. Заміна конденсаторів турбін на ЮУАЕС: заплановане вдалося Дата публикации: 12.2019. Ю. Дікусар, О. Резник [Електронний ресурс] Режим

доступу до даних: <https://www.sunpp.mk.ua/ru/publications/8318/> – 30.01.2020 р.  
– Заголовок з екрану.

3. Конденсатор нового поколения «блочно-модульной» конструкции для турбоустановки К-1000-60/1500-2 Запорожской атомной электростанции / А.Н. Усс, С.Т. Пацюк, А.В. Панченко, А.В. Шавлаков, Д.Х. Харлампиди // Проблемы машинобудовання. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 4-10.

УДК 629.92

Братковська К.О.<sup>1</sup>, Волкова К.О.<sup>2</sup>, Овчаренко М.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> канд. екон. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-119м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-519м НУ «Запорізька політехніка»

## ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Споживання електроенергії населенням і промисловими підприємствами залежить від багатьох факторів: стан економіки, температурний режим, час доби, погодні умови і т.д. В разі перевантаження мережа може вийти з ладу, що спричинить тяжкі наслідки.

Постійна необхідність постачання електроенергією населення і промислових підприємств породжує необхідність серйозного захисту від поломок. Припинення надходження енергії на життєво важливі об'єкти може стати причиною катастрофи і привести до настільки величезних фінансових втрат, що в більшості випадків доцільніше витратити гроші на запобігання кризових ситуацій.

Вирішення цього питання може бути проведено двома шляхами. Перший полягає у вивченні та постійному моніторингу стану обладнання, а також в прогнозуванні стану на кілька періодів вперед. Цей підхід вимагає створення системи збору інформації та тривалої роботи експертів і аналітиків. Результат досягається через досить великий проміжок часу і вимагає значних фінансових витрат. Але тим не менш, він стабільний і дозволяє в довгостроковій перспективі повністю убезпечити себе від ризиків.

Альтернативним способом є прогнозування споживання електроенергії. Як правило, фахівці знають про потенційні можливості електромереж та інформації про споживання їм буде достатньо для передбачення експертним шляхом можливих поломок. Цей шлях вимагає незначних фінансових витрат або значного часу на збір репрезентативних вибірок. Інформація, необхідна для прогнозування, як правило, збирається датчиками на електростанції або комунальними службами. Даний підхід дає менш стабільні результати, але вони проявляються в значно коротший період часу.

Максимального ефекту в захисті від збоїв і мінімізації ризику можна досягти застосовуючи обидва підходи в комплексі. При цьому для підвищення ефективності споживання електричної енергії промисловим підприємством, зокрема, для визначення основних факторів, що впливають на обсяги споживаної електроенергії в технологічному процесі, та побудови математичних моделей споживання електроенергії підрозділами підприємства, можуть застосовуватись засоби енергетичного менеджменту.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Сагайда, П.І. Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для прогнозування споживання електроенергії / П.І. Сагайда, Е.В. Мікаелян // Научный вестник ДГМА. – 2018. – № 1 (25Е). – С.24-31.

УДК 629.92

Братковська К.О.<sup>1</sup>, Горбенко В.І.<sup>2</sup>, Куляс А..О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> канд. екон. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-517 НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-519м НУ «Запорізька політехніка»

## **ПОШИРЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ**

Враховуюче стрімке зростання тарифів та цін на ПЕР та витрат на їх оплату, актуальним залишається підвищення ефективності споживання ПЕР та використання енергії з відновлюваних джерел на підприємствах різного профілю, що також є безпосередньо необхідними для зниження енергетичної залежності країни.

Враховуючи зростання актуалізації використання сонячної енергії, для оцінювання доцільності встановлення геліосистем можна використовувати дворівневі нечіткі моделі. Для цього необхідно за допомогою експертного оцінювання методом ранжування сформувати матрицю прийняття рішення щодо категорій параметрів та матрицю пріоритетності цих параметрів. Наступним кроком є за даними, отриманими з матриць, встановити питому вагу кожного критерія зазначених параметрів та пріоритетність самих параметрів, відповідно яких і визначається доцільність встановлення геліосистем. Серед вищезазначених критеріїв найбільшу пріоритетність мають клас енергоефективності будівлі, опалювальна площа будівлі, середньоденний рівень сонячної радіації на території розташування будівлі, технічні характеристики обладнання, термін окупності та термін експлуатації.

В рамках реалізації системи сонячного теплопостачання (ССТ) в офісній будівлі розглянуто два варіанти геліоколекторної системи: з плоским сонячним колектором (СК) SCF-2.5A Pro або вакуумним Altek SC-LH2-20. Відповідно загальній оцінці доцільності встановлення ССТ визначені вихідні множини даних характеризуються нечітким термом  $D = \text{«Добрий рівень доцільності»}$ . Позитивний результат підтвердив доцільність встановлення ССТ як з плоским СК, так і з вакуумним. Але все ж пріоритетність надається ССТ з плоским СК, що характеризується достатнім рівнем генерації теплової енергії та кращим терміном окупності.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Грабовецький, Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання [Текст]: монографія / Б. Є. Грабовецький. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 171 с.

УДК 629.92

Братковська К.О.<sup>1</sup>, Ігуменов Б.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. екон. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-119сп НУ «Запорізька політехніка»

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В ПРОЦЕСІ ПРОХОДЖЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

У процесі розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин виникає потреба в забезпеченні максимальної ефективності систем енергопостачання. Це стосується в першу чергу електричної енергії. Однак дана галузь потребує забезпечення ефективності у вкрай специфічних умовах.

Специфічні умови експлуатації електрообладнання на гірничих підприємствах спонукають до використання спеціального виконання рудникового обладнання. Розрізняють рудникове нормальне виконання обладнання (РН), рудникове обладнання підвищеної надійності проти вибуху (РП), рудникове вибухобезпечне обладнання (РВ), рудникове особливо вибухобезпечне обладнання (РО). Виходячи з цих даних треба розуміти, що різні види обладнання мають певні особливості, що також треба ураховувати під час проектування системи електропостачання для певних умов конкретного підприємства.

Живлення споживачів електричної енергії на підприємствах гірничої галузі промисловості, що приймають участь безпосередньо у проходженні гірничих виробок, виконано напругою до 1000 В.

Важливу роль в системі електропостачання споживачів у підземних умовах відіграє правильний розрахунок та вибір кабельних ліній. Низьковольтні кабельні лінії за даних умов розраховують за тривало допустимим навантаженням та за допустимою втратою напруги. Втрати напруги в кабельній лінії [2]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot \ell \cdot \cos \phi \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U_n}, \% \quad (1)$$

де  $I$  – сила струму, А;  $U_n$  – номінальна напруга мережі, В;  $\ell$  – довжина кабелю, м;  $\cos \phi$  – коефіцієнт потужності;  $\gamma$  – питомий опір провідника, м/Ом·мм<sup>2</sup>;  $S$  – площа поперечного перерізу провідника, мм<sup>2</sup>.

Для електропостачання споживачів у підземних умовах з часом напруга мережі 660 В стала переважати над напругою 380 В. Для перевірки переваг напруги мережі 660 В над 380 В у заданих умовах виконано розрахунок мережі електропостачання для живлення одного зі споживачів дільниці підприємства з проходження гірничих виробок. У якості споживача було обрано шахтну навантажувально-транспортну машину Sandvik LH409E, що має електричний привід від одного двигуна типу K11R315S4.

Основні дані щодо переваг напруги 660В над 380В зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунку

Sandvik LH409E	Величина напруги	
	380В	660В
Перетин гнучкого кабелю, мм <sup>2</sup>	95	35
Сумарні втрати напруги в нормальному режимі, В	39,07 > ΔU <sub>доп</sub>	59,64 < ΔU <sub>доп</sub>
Фактична напруга на затискачах двигуна при пуску, В	236,17 < U <sub>доп.мін.п</sub>	439,07 > U <sub>доп.мін.п</sub>
I <sub>к(3)</sub> в точці К1, кА	12,832	7,486
I <sub>к(2)</sub> в точці К1, кА	8,020	4,679

Точка К1 – клеми ввідного автоматичного вимикача РП-0,66кВ (низьковольтне відділення підстанції КТПВ-250/6).

Виходячи з даних порівняльної таблиці напруг, можна зробити висновок, що перехід до напруги 660 В обумовлений:



1) величиною перетину фідерного та гнучкого кабелів. При напрузі 380 В для електропостачання гірничих машин необхідні кабелі значно більшого перерізу, ніж при напрузі 660 В, що призводить до погіршень умов використання машин та більших економічних витрат;

2) величиною втрат напруги. Сумарні втрати напруги мережі в нормальному режимі при напрузі 380 В перевищують допустиму величину втрат напруги, що погіршує якість передачі електроенергії;

3) нестачею напруги на затискачах двигуна. Фактична напруга на затискачах двигуна в пусковому режимі при напрузі 380 В менша, ніж мінімальна допустима напруга при пуску. Це означає, що здійснити пуск двигуна K11R315S4 ВДМ TORO-400E при напрузі 380 В неможливо;

4) величиною струмів короткого замикання. При напрузі 380 В струми короткого замикання мають більше значення, що впливає на подальший вибір апаратури, кабельних ліній, визначення чутливості апаратури керування та захисту.

Слід зазначити, що на даний момент часу напруга 35 кВ теж отримала переваги перед 6 кВ для використання в підземних умовах у зв'язку з тим, що з міркувань надійності необхідно прагнути до зменшення кількості елементів систем електропостачання, в тому числі і ліній, які живлять центральну підземну підстанцію. Здійснення таких схем можливо шляхом підвищення напруги, що подається на центральну підземну підстанцію.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Правила улаштування електроустановок [Текст]: ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

2. Півняк, Г.Г. Електропостачання гірничих підприємств. Довідковий посібник [Текст] / Г.Г. Півняк, М.М. Білий, Г.М. Бажін – Дніпропетровськ, НГУ, 2008. – 550с.

УДК 628

Заболотный А.П.<sup>1</sup>, Куляс А.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорожская политехника»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-519м НУ «Запорожская политехника»

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Система уличного освещения Запорожья является неотъемлемой частью городского хозяйства. По состоянию на 01.01.2013 в Запорожье насчитывалось более 40 тыс. работающих и почти 2 тыс. неработающих

уличных светильников. Подавляющее большинство светильников города оборудованы лампами старых типов, которые имеют высокий уровень потребления электроэнергии и сравнительно незначительный срок службы. Средний годовой объем потребления электроэнергии системой уличного освещения Запорожье составил в 2012 году более 13 млн кВт·ч. На протяжении последних 5 лет расходы из бюджета города на уличное освещение выросли в 3 раза (что связано с ростом тарифов на электроэнергию) и в 2012 году составили 5,3 млн гривен [1].

В рамках Муниципального энергетического плана Запорожья предлагается проект модернизации системы уличного освещения Запорожья путем замены 42 000 существующих светильников на экологически чистые и энергоэффективные светодиодные светильники с модернизацией системы их диспетчерского управления.

Кроме того, свойство светодиодных источников света фактически мгновенно генерировать номинальный световой поток при включении, наряду с реализацией режима редукции потребляемой мощности, дает возможность регулировать освещенность перекрестков посредством установки датчиков движения пешеходов.

Дополнительно проектом предусматривается установка солнечных станций на отдельных наземных площадках и крышах бюджетных зданий суммарной мощностью 10 МВт с целью обеспечения электроснабжения уличных светильников Запорожья с использованием преимуществ «зеленого тарифа». Таким образом, коммунальное предприятие "Запорожгорсвет" начнёт эксплуатировать собственные солнечные электростанции, располагаемые, как на отдельно выделенных площадках, так и на крышах бюджетных зданий. Предварительные расчёты показывают, что предлагаемая модернизация позволяет принципиально изменить финансовое состояние коммунального предприятия "Запорожгорсвет" - из дотационного, по отношению к городскому бюджету, оно становится доходным предприятием. Дополнительный источник дохода от продаж электроэнергии в дневное время по "зелёному тарифу" на энергорынок позволит покрыть затраты, связанные с содержанием персонала, автотехники и других эксплуатационных затрат, а также получить небольшой, но постоянный доход для городского бюджета [1].

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Степаненко В.А. Муниципальный энергетический план Запорожья, //Энергосвет №2. - 2014.

## СЕКЦІЯ “ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ”

УДК621.318.1

Яримбаш Д.С.<sup>1</sup>, Яримбаш С.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

### **ВПЛИВ ГАРМОНІЙНОГО СКЛАДУ СТРУМІВ НАМАГНІЧУВАННЯ НА ВИЗНАЧЕННЯ ГІСТЕРЕЗИСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СТАЛЕЙ**

На сучасному етапі для розрахунку проектних параметрів і характеристик силових трансформаторів широко застосовується польове моделювання процесів електромагнітного перетворення енергії у дослідних і експлуатаційних режимах роботи. Відомо, що достовірність і точність даних моделювання силових трансформаторів значною мірою визначається, точністю завдання властивостей феромагнітних матеріалів. Тому значна увага має приділятися точності математичних описів їх гістерезисних властивостей. Проте застосування відомих поширених моделей гістерезису [1, 2] для визначення характеристик намагнічування сучасних марок електротехнічних сталей призводить до істотних похибок, значення яких для напруженості магнітного поля може перевищувати 25-30%. Тому задача підвищення точності математичних описів гістерезисних властивостей сучасних марок електротехнічних сталей є актуальною для удосконалення теорії і практики проектування силових трансформаторів.

Математичні моделі Джилса-Аттертона або Чана [1, 2], що описують ефекти гістерезису, потребують розв'язання нелінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь на кожному часовому кроці моделювання. Це збільшує похибки і час розрахунків, особливо для токів намагнічування несинусоїдної часової форми.

Метою роботи є побудова узагальненої математичної моделі, що із високою точністю і обчислювальною ефективністю описує гістерезисні властивості сучасних марок електротехнічних сталей на основі даних експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження магнітних характеристик електротехнічної сталі марки 3408 проводилися на апараті Епштейна, завантаженому стальними пластинами товщиною 0,27 мм, які шихтувалися у рамку із прямими стиками у кутах. Загальна маса завантаження електротехнічної сталі склала 1,032 кг. Апарат Епштейна було обладнано обмотками збудження і вимірювання, кількість витків яких склала 300 і 100 витків відповідно. Обмотка збудження була підключена до джерела

живлення змінного струму з регульованою напругою синусоїдної часової форми. За допомогою багатоканального цифрового осцилографу синхронізовано у часі здійснювалася реєстрація струмів обмотки збудження і напруги вимірювальної обмотки. Також визначався їх гармонійних склад, а саме: амплітуди і фази гармонійних складових.

На основі гармонійного аналізу цифрованих експериментальних даних було встановлено, що напруга вимірювальної обмотки була синусоїдною у часі, а на струм збудження найбільший вплив мали непарні гармоніки: 1-а (63.21%), 3-я (30.61%), 5-а (4.77%) і 7-а (1.91%). Шляхом інтегрування синусоїдної напруги вимірювальної обмотки із врахуванням числа її витків та активної площі поперечного перерізу зразків електротехнічної сталі була визначена часова функція магнітної індукції. Часова функція напруженості магнітного поля визначалася для числа витків обмотки збудження і сумарної довжини осевих ліній прямокутного контуру зразків електротехнічної сталі.

Це дозволило визначити математичний опис гістерезисних нелінійних характеристик намагнічування електротехнічної сталі у параметричній гармонійній формі:

$$\begin{cases} B(\tau) = B[H((\tau))], & B(\tau) = B_{m,1} \cdot \cos(2\pi f \tau + \varphi_B), \\ H(\tau) = \sum_{i=1}^4 H_{m,2i-1} \cdot \sin[2(2i-1)\pi f \tau + \varphi_{H,2i-1}] \end{cases} \quad (1)$$

де поточний час  $\tau$  є параметром, перший індекс  $m$  позначає амплітуди гармонік індукції  $B$  і напруженості  $H$ , а другий індекс – номер гармоніки.

Верифікація розрахункових характеристик намагнічування і експериментальних даних дозволила встановити, що для 1-ї гармоніки напруженості максимальне значення відносної похибки розрахунків гістерезисної характеристики намагнічування складає 37%, для 1-ї і 3-ї гармонік це значення зменшується до 4%, для 1-ї, 3-ї та 5-ї гармонік – до 1,56%, а додавання 7-ї гармоніки дозволяє обмежити похибку на рівні 0,64%.

Обчислення гістерезисної характеристики у параметричній гармонійній формі виключає додаткові процедури числового інтегрування. Так для миттєвого значення  $B$  достатньо визначити параметр часу

$$\tau_\delta = \{\arccos(B/B_m) - \varphi_B\} / (2\pi f)$$

і відповідне йому значення напруженості магнітного поля  $H=H(\tau_p)$ . З урахуванням 1,3,5, і 7-ї гармонійних складових точність такого визначення не буде перевищувати 1%, що повністю задовольняє практичним потребам

точності проектування силових трансформаторів із застосуванням спеціалізованим програм 3D польового моделювання.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Modeling Hysteresis Effects. – 13 p. – режим доступу <https://www.comsol.ru/forum/thread/attachment/64177/hysteresisloss-comsol3.5a-10327.pdf>
2. J. P. Bastos, A.N. Sadowski, Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods. Boca Raton: CRC Press, 2003. ISBN 9780203911174. DOI: 10.1201/9780203911174
3. Iványi, A. Hysteresis Models in Electromagnetic Computation, Akademia Kiadó, Budapest, 1997

УДК 621.316.71

Коцур І.М.

канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВІТРОВОГО ПОТОКУ В ПАКЕТІ MATLAB SIMULINK**

Вітрові електростанції (ВЕС) за популярністю займають друге місце (після сонячних електростанцій) в генерації електроенергії з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). На вересень 2019 року їх загальна потужність склала 860 МВт. Лише в 2019 році введено 326 МВт нової потужності. В січні-вересні 2019 року ВЕС виробили більше 1 млрд кВт-год електроенергії. Це на 300 млн кВт-год більше обсягу спожитої електроенергії всіма будівельними компаніями України за той же період. Найближчими роками встановлена потужність ВЕС в Україні може зрости в шість разів.

Наразі готуються до будівництва, або вже будується, десятки нових вітропарків, загальною встановленою потужністю 6,4 тис. МВт [1].

Коефіцієнт використання встановленої потужності для ВЕС в Україні складає приблизно 30%. Це пов'язано з тим, що виробництво електроенергії з ВДЕ прив'язано до погодних умов. Тому розробка імітаційної моделі вітрового потоку для підвищення ефективності використання вітрового потенціалу є актуальною задачею.

Моделювання швидкості вітру являє собою досить складну задачу, тому що дане джерело енергії постійно змінюється в часі і просторі. В результаті досліджень було виділено чотири основних моделі швидкості вітру: детермінована, ймовірна, спектральна і нечітка. Кожна з них знаходить свою область застосування. Так, з енергетичної точки зору, на рівні техніко-

економічних розробок найбільш застосовна імовірнісна модель або розподіл Вейбулла. Детермінована модель дозволяє визначити потужність, яку вироблено вітроенергетичними установками (ВЕУ) при заданій середньої швидкості вітру. В дослідженнях, де необхідний облік поривів і різких змін вітру, звертаються до спектральної моделі. Нечітка ж модель вітру зручна і найбільш актуальна при моделюванні процесів керування ВЕУ, так як дозволяє сформувати досить гнучку систему керування.

В рамках даної роботи була розроблена імітаційна модель вітрового потоку в пакеті Matlab Simulink яка близька до спектральної моделі і може бути використана для рішення задач керування ВЕУ.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Бізнес Цензор. Энергетика [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://biz.censor.net.ua/r3157247>.

УДК 621.527.2

Куланіна Є.В.

канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

### **РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НЕРОБОЧОГО ХОДУ В ОДНОФАЗНОМУ ТРАНСФОРМАТОРІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Трансформатори малої потужності (ТМП) широко використовуються в різних електротехнічних установках, різноманітних пристроях для передачі і переробки інформації, в різних системах автоматики. До малопотужним трансформаторів належать трансформатори, номінальна потужність яких знаходиться в межах від одиниць, десятків вольт-ампер до 1000 ВА. Найбільше застосування серед ТМП мають силові трансформатори. Силові трансформатори малої потужності зазвичай виконуються однофазними і мають повітряне охолодження.

Фізичний процес роботи ТМП по суті такий же, як в трансформаторах середньої і великої потужності, але деякі параметри і величини, що пов'язані з потужністю трансформатора, є значно відмінними. До них відноситься струм неробочого ходу, який є важливим фактором ТМП і може сягати 50% значення первинного робочого струму трансформатора. Відрізняється і величина номінальної напруги короткого замикання і його структура (тобто співвідношення активної і реактивної складових) - в ТМП відносно більше падіння напруги в обмотках. Основними електричними параметрами

силового трансформатора, що характеризують економічність його роботи, є втрати неробочого ходу і короткого замикання.

Проводиться дослідження режиму неробочого ходу однофазного трансформатора за допомогою програмного засобу Femm. В ході роботи в декілька ітерацій розраховано струми, що необхідні для створення напруг на клеммах при розімкнутій вторинній обмотці. Ітераційний розрахунок використовується за рахунок скрипту в Octave.

Математичне моделювання та дослідження параметрів неробочого ходу проводиться на прикладі однофазного трансформатора ТБС2-0.1. Зазначений вище підхід до розрахунку доцільно та актуально використовувати для дослідження трифазних силових трансформаторів.

УДК 621.313

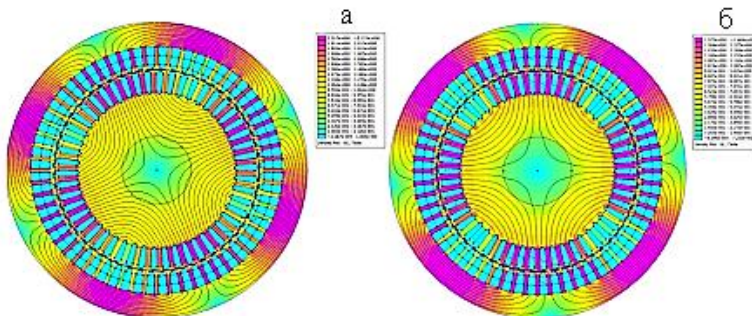
Літвінов Д.О.

старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПОВОРІ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПОТУЖНІСТЮ 75 КВТ**

В процесі дослідження динаміки було проведено математичний аналіз електромагнітних явищ, що відбуваються в асинхронному двигуні потужністю 75 кВт із використанням загальновідомих припущень, а також математичне моделювання двигуна з урахуванням втрат в осерді. Проаналізовано метод просторового вектора, який дозволяє спростити систему рівнянь для потокозчеплення статора та ротора. Виконано аналітичний розрахунок параметрів Г-подібної схеми заміщення для подальшого схемно-польового моделювання електромеханічних процесів. Приведено моделювання електромагнітних полів у двигуні із врахуванням повороту ротора відносно напрямку осі основної МРС. Проведено порівняльний аналіз аналітичного розрахунку та моделювання двигуна на базі математичної моделі засобами FEMM.

В результаті схемно-польового моделювання засобами FEMM було визначено, що у номінальному режимі при  $t = 0$  магнітне поле локалізується у магнітній системі, найбільшого значення воно приймає в зубцях статора й ротора біля фази В та у спинці статора біля фази А та С.



а – при номінальному режимі ( $t = 0$ ); б – при куті повороту ротора  $\alpha = 90^\circ$   
Рисунок 1– Картина розподілу модуля магнітної індукції магнітного поля у структурі засобів FEMM.

У зубцях статора індукція магнітного поля лежить в інтервалах 1.465 Тл...2.123 Тл; у зубцях ротора 1.38 Тл...1.98 Тл; у спинці статора 0.9 Тл...1.7 Тл. (рис.1а). При заданому повороті ротора на кут  $\alpha = 90$  у зубцях статора індукція магнітного поля лежить в інтервалах 0.85 Тл...1.43 Тл; у зубцях ротора 0.68 Тл...1.28 Тл; у спинці статора 0.4 Тл...1.12 Тл.(рис.1б).

Порівняльний аналіз кривих фазного струму показує, що в перехідних процесах похибка не перевищує 2,2%, а у сталому режимі - 0,35%. Аналіз кривих миттєвої споживаної потужності показує, що найбільші відхилення кривих спостерігаються при переході від початкового етапу пуску до сталого режиму й не перевищують 1,6%; 1.1% і 0,55% відповідно. Після переходу в усталений режим значення похибок не перевищують сотих часток відсотка.

Результати порівняльного аналізу робочих характеристик показали, що при використанні схемно-польового моделювання та дослідження динаміки електромагнітних процесів (поворот ротора) максимальна відносна похибка за струмом статора, коефіцієнту корисної дії не перевищує 1,76%, по споживаній активній потужності та коефіцієнту потужності не перевищує 1.15%.

Таким чином, застосування схемно-польового моделювання та дослідження динаміки електромагнітних процесів при повороті ротора, дозволило істотно підвищити точність моделювання електромагнітних процесів у трифазному АД.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов [Текст] /И. П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев – М: Изд. Юрайт, 2011. – 767 с.



2. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин [Текст] /И. П. Копылов – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

3. Макаров, В.Г. Применение теории обобщенной электрической машины к трехфазному асинхронному двигателю [Текст]/ В.Г. Макаров// Известия вузов: Проблемы энергетики, 2009.– № 11-12.– С. 84-97.

4. Ярымбаш, Д.С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания [Текст] /Д.С.Ярымбаш, М.И. Коцур, С.Т. Ярымбаш, И.М. Коцур // Электротехника и электроэнергетика: ЗНТУ – 2017. – №1– С.24 – 30.

УДК 621.313

Солодовнікова Т.П.

старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ З КОРОТКОЗАМКНЕНИЕМ РОТОРОМ**

Асинхронні машини є одними з самих розповсюджених електротехнічних пристроїв. MATLAB разом з Simulink і Power System Blockset дозволяють досліджувати процеси й параметри електричних машин, які найчастіше недоступні в реальних об'єктах. Набори віртуальних елементів у бібліотеках цих пакетів дозволяють змоделювати й досліджувати електричні кола будь-якої складності.

Для розробки навчальних програм на алгоритмічних мовах високого рівня необхідні фахівці-багатофункціонали, що однаково розбираються як у програмуванні, так і в електромеханіці. Зважаючи на це в навчальному процесі доцільно застосовувати такі математичні програми як MATHCAD, MAPLE, MATLAB.

За допомогою програми SIMULINK була створена універсальна віртуальна модель асинхронної машини (АМ) з можливістю перемикання між конструктивними виконаннями з фазним і короткозамкненим роторами. У ході розрахунку параметрів схеми заміщення було прийнято ряд допущень у зв'язку з тим, що АМ є, по суті, системою з розподіленими параметрами та нелінійністю рівнянь руху.

Для серії АД за допомогою дослідів були визначені параметри схем заміщення, отримані природні й штучні механічні та робочі характеристики в режимах двигуна й генератора та в режимі скалярного керування швидкістю, визначено сімейство залежностей ККД двигуна з фазним ротором від навантаження при різних величинах опорів ланцюга ротора. Визначено

величину додаткового опору ланцюга ротора двигуна, що забезпечує діапазон регулювання швидкості його обертання.

Отримані осцилограми перехідних процесів по струмах, моментах, швидкостях обертання та ін. дозволяють візуально спостерігати досліджувані процеси в динаміці та передавати результати спостережень у програми з більшими можливостями щодо оформлення результатів та подальших розрахунків.

Віртуальні лабораторні роботи дуже зручно, швидко й наочно виконувати в середовищі пакета MATLAB. Це дозволяє підвищити інформативність навчального процесу і якість сприйняття інформації.

За допомогою програми SIMULINK була створена універсальна віртуальна модель асинхронної машини з можливістю перемикання між конструктивними виконаннями з фазним і короткозамкненим роторами.

Отримані осцилограми перехідних процесів по струмах, моментах, швидкостях обертання та ін. дозволяють візуально спостерігати досліджувані процеси в динаміці та передавати результати спостережень у програми з більшими можливостями щодо оформлення результатів та подальших розрахунків.

Віртуальні лабораторні роботи дуже зручно, швидко й наочно виконувати в середовищі пакета MATLAB. Це дозволяє підвищити інформативність навчального процесу і якість сприйняття інформації.

Практична цінність наукової роботи полягає в тому, що завдяки можливості відтворення, моделювання складних перехідних процесів в комп'ютерних програмах є можливість порівняння результатів дослідів з реальними в рамках одного предмету.

УДК 621.313

Дівчук Т.Є.<sup>1</sup>, Савельєв В.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> доц. НУ «Запорізька політехніка»

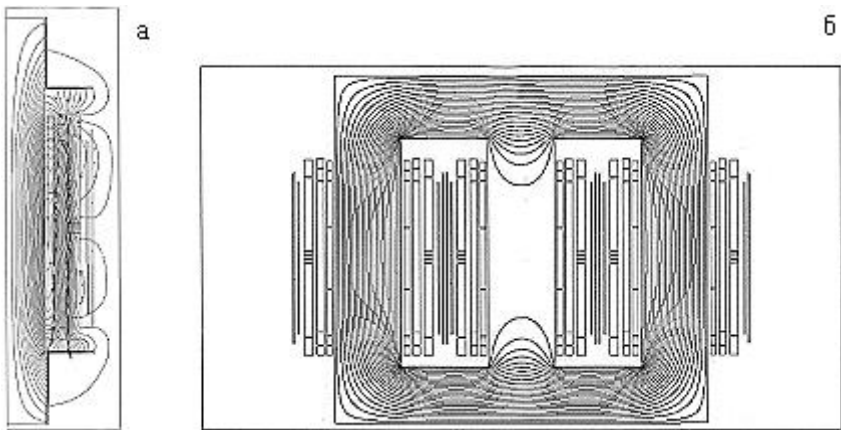
## **ЗМЕНШЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗМІРНОСТІ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ**

Електромагнітні процеси в активній частині силового трансформатора можна визначити шляхом розв'язання рівнянь диференціальної моделі Максвелла у частотному формулюванні відносно векторного магнітного потенціалу [1-3]

$$\left\{ \nabla \times \left[ \left( \mu_0 \mu_{ej} \right)^{-1} \nabla \times \mathbf{A}_j \right] + \right. \\ \left. + j\omega \sigma_j \left( \theta_j \right) \left( \mathbf{A}_j + \mathbf{V}_j \right) \right\} = \mathbf{J}_{ej}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{A}$  – векторний магнітний потенціал;  $\mathbf{V}$  – електричний потенціал;  $\sigma(\theta)$  – питома електропровідність;  $\mathbf{B}_j = \nabla \times \mathbf{A}_j$  – індукція магнітного поля;  $\mu_e$  – ефективна відносна магнітна проникність;  $\theta$  – температура;  $\omega$  – кутова частота;  $\mathbf{J}_e$  – густина стороннього джерела струму; індекс  $j$  відповідає розрахунковій підобласті.

Чисельну реалізацію математичної моделі (1) з умовами калібрування Кулона, спряження та граничними умовами було здійснено методом скінченних елементів для силового трансформатора типу ТДТН-40000/110-У1. Зменшення просторової розмірності моделі електромагнітного поля (1) є її реалізація методом скінчених елементів для вісесиметричних і плоскопаралельних полів. Таке моделювання здійснюється в поперечних перерізах активної частини силового трансформатора вертикальною площиною, що проходить через осі стрижнів магнітної системи (рис. 1б) для режиму неробочого ходу, а для режиму короткого замикання – вертикальною площиною, що проходить через вісь фази трансформатора перпендикулярно до площості його магнітної системи (рис. 1а).



а – вісесиметрична модель активної частини трансформатора у режимі КЗ; б – плоскопаралельна модель активної частини трансформатора у режимі НХ.

Рисунок 2 – Еквіпотенціальні лінії модуля векторного магнітного потенціалу.

Для завдання властивостей усіх провідникових, феромагнітних і електроізоляційних середовищ, а також граничних умов і побудови сітки скінченних елементів виконуються розрахунки і здійснюється візуалізація картини поля для вісесиметричної та плоскопаралельної задачі (рис. 1).

Реалізація математичної моделі просторового електромагнітного перетворення енергії змінного струму в активній частині силового трансформатора методом скінчених елементів для її взаємоперпендикулярних перерізів дозволяє істотно зменшити вимоги до програмного забезпечення і обмежити дослідження моделями вісесиметричного і плоскопаралельного поля у відповідності до дослідного режиму.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Yarymbash, D. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Subbotin, A. Oliynyk // IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, Zilina, Slovakia. 2017 – Catalog Number CFP17CDT-USB – pp. 452-457. doi: **10.1109/DT.2017.8024332**

2. Yarymbash, D. The features of magnetic flux distribution of the idling mode of the power transformers [Text]/ D.Yarymbash, S. Yarymbash, T. Divchuk,, I. Kylymnik // Electrical Engineering And Power Engineering, 2016. Issue 2, pp. 5-12. doi: **10.15588/1607-6761-2016-2-1**

3. Yarymbash, D. Determination features of the power transformer short circuit parameters through field modeling [Text]/ D.Yarymbash, S. Yarymbash, T. Divchuk,, I. Kylymnik // Electrical Engineering And Power Engineering,, 2016, Issue 1, pp.12-17. doi: **10.15588/1607-6761-2016-1-2**

УДК 621.313

Боровіков А.К.<sup>1</sup>, Гуразда А.В.<sup>1</sup>, Шестов Л.Є.<sup>1</sup>, Коцур І.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

### **КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВНУТРІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

Основні причини важких ушкоджень силових трансформаторів в експлуатації пов'язані в першу чергу з ушкодженнями обмоток, високовольтних вводів, пристроїв РПН як через розвиток дефектів під впливом експлуатаційних факторів, так і через помилкові або недостатні дії при монтажі, ремонті та експлуатації. Слід також відзначити проблему

старіння ізоляції обмоток, пов'язану із загальною проблемою старіння парку силових трансформаторів.

Аналіз застосування діючих нормативно-технічних документів, рекомендацій та МЕК виявили необхідність проведення значного комплексу досліджень, розробок нових методів і критеріїв та вдосконалення існуючих для оцінки технічного стану силових трансформаторів, причому у першу чергу, з тривалими термінами експлуатації, в тому числі, для забезпечення оцінки їх граничного стану, обґрунтування продовження їх терміну експлуатації та забезпечення надійності роботи.

У зв'язку з цим важливо провести аналіз наявних традиційних і нових методів випробувань ізоляції і на цій основі зробити вибір раціональної системи контролю технічного стану внутрішньої ізоляції силових трансформаторів, що дозволяє підвищити ефективність оцінки технічного стану трансформаторів і автотрансформаторів.

Розроблена класифікація випробувань внутрішньої ізоляції силового трансформатора при різних режимах роботи. Для вибору раціональної системи випробувань ізоляції важливо виявити ефективні методи контролю, стосовно до кожного з режимів експлуатації силового трансформатора.

Складено перелік випробувань і вимірювань, що проводяться при різних режимах трансформатора.

Трансформатор відключено і розшиновано:

- відбір проб масла з бака трансформатора, бака контактора РПН і вводів для фізико-хімічних і хроматографічних аналізів;
- вимірювання струму і втрат неробочого ходу при зниженій напрузі;
- вимірювання  $\tan \delta$ , R і C ізоляції обмоток;
- вимірювання опору короткого замикання ( $Z_k$ );
- вимірювання опору обмоток постійному струму;
- розрахункова оцінка вологовмісту та залишкового ресурсу твердої ізоляції;
- вимірювання коефіцієнта трансформації (при необхідності, наприклад, після проведення ремонтних робіт);
- контроль РПН у відповідності з інструкціями заводу-виробника.

Трансформатор під робочою напругою, неробочий хід:

- тепловізійне обстеження бака та інших вузлів трансформатора;
  - вібраційне обстеження бака трансформатора;
  - вимірювання параметрів ЧР і інших розрядів електричним методом;
  - акустичне обстеження і локація електричних розрядів акустичним методом;
  - вимірювання  $\tan \delta$  і C ізоляції вводів (при наявності можливості).
- Трансформатор під робочою напругою навантаження:
- тепловізійне обстеження бака та інших вузлів трансформатора;

- вібраційне обстеження бака трансформатора;
- вимірювання параметрів ЧР та інших розрядів електричним методом;
- акустичне обстеження і локація електричних розрядів акустичним методом.

При подальшому розвитку даної роботи планується проаналізувати методи випробувань ізоляції трансформаторів при різних режимах його роботи, виявити найбільш інформативні методи з урахуванням нових розробок в цій області.

УДК 621.313

Воложанін С.О.<sup>1</sup>, Волощук О.С.<sup>1</sup>, Гаврилова М.В.<sup>1</sup>, Коцур І.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ОБМОТОК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ**

Асинхронні двигуни(АД) часто працюють при підвищеній температурі, вологості, запиленості та загазованості робочого середовища, комутаційних перенапруженнях та технологічних перевантаженнях, що знижує ресурс їх роботи. У переважній більшості випадків відмови АД відбуваються через пошкодження обмоток статора і ротора. Тому своєчасне виявлення місця та ступеню пошкодження дозволить уникнути їх розвитку, зменшити час відновлення, скоротити витрати на обслуговування, уникнути простоїв обладнання, підвищити ефективність роботи двигунів та виробничих механізмів.

На сьогоднішній день відомі наступні методи діагностики АД:

- метод безперервного контролю стану обмоток статора і ротора АД заданими вимірювань фазних струмів і напруги. Для оцінки технічного стану АД використовуються симетричні складові струмів і напруги статора, а також споживана активна потужність і кут нахилу механічної характеристики електродвигуна в області робочих ковзань. Метод дозволяє уникнути похибки діагностування за наявності пульсацій та гармонійних складових в напрузі живлення. Недолік: результати вимірювання оцінюються за комплексним критерієм діагностування, що не дозволяє проводити локалізацію пошкодження;

- метод передбачає вимірювання фазних значень струму і напруги обмоток статора, і за величиною пульсацій третьої гармоніки робиться висновок про ступінь пошкодження обмоток. Для реалізації методу необхідне вимірювання значень струмів і напруги нульової послідовності, що

можливо лише при підключенні обмоток у схему "зірка", яка не використовується у потужних АД;

- метод заснований на аналізі пускового струму в статорі в одній з фаз двигуна. В процесі діагностики відбувається порівняння кожного попереднього амплітудного значення струму фази з подальшим, і за отриманою різницею можна судити про наявність дефектів обмотки. Недоліки: реалізується лише в пусковому режимі;

- метод з вимірюванням миттєвих значень двох фазних струмів в сталому режимі роботи під навантаженням. Наявність пошкодження визначається за виглядом фазних миттєвих значень, що визначає залежність між миттєвими значеннями фазних струмів АД. Недолік: діагностика проводиться під навантаженням, не вказані чіткі критерії визначення пошкодження обмоток ротора;

- метод на основі аналізу зовнішнього магнітного поля (ЗМП) полягає у аналізі зміни магнітної індукції ЗМП АД, яке представляє собою сумарне магнітне поле, що створюється різними частотами магнітного поля двигуна та екрану. Наявність пошкоджень обмотки ротора викликає появу у ЗМП просторової гармоніки, порядок якої нижче порядку основної, та яка значною мірою визначає рівень ЗМП АД. Недолік: складність дослідження та низька точність результатів дослідження;

- згідно методу, до випробовуваного стрижня підводиться електромагніт змінного струму, що має обмотку намагнічування і вимірювальну обмотку. Діагностичною ознакою стану стрижня виступає величина МРС при постійній напрузі живлення. Недолік: необхідність виводу АД з технологічного процесу і його розбирання для встановлення вимірювальної апаратури;

- метод, заснований на тепловій дії електричного струму та підводі до кілець ротора напруги, при якій значення струму в стрижнях перевищує номінальне. В якості спостерігача за тепловим станом стрижнів ротора використовується тепловізор. Про стан стрижнів ротора судять по температурі нагріву під час протікання по ним струму: неущкожені стрижні нагріваються сильніше обірваних. Недоліки: необхідність підведення струмів великих значень, необхідність розбирання двигуна;

- метод на основі аналізу спектру електромагнітного моменту. Метод передбачає вимірювання фазних струмів статора в режимі холостого ходу АД, визначення електромагнітного обертового моменту та порівняння значного числа гармонік спектру, які змінюються для певного діапазону частот. Недолік: необхідність врахування втрат у сталі двигуна для обчислень, що обумовлює складність розрахунку електромагнітного моменту.

Аналіз методів діагностики пошкоджень обмоток АД показав, що кожен з методів має як переваги, так і недоліки. Неефективними можна вважати методи, які потребують встановлення спеціального обладнання, виведення об'єкту діагностики з технологічного процесу, розбирання двигуна та неодноразової перевірки результатів діагностики кількома методами обробки діагностичних сигналів.

УДК 621.313

Слободян А.С.<sup>1</sup>, Солодов В.Ю.<sup>1</sup>, Тихоновський О.С.<sup>1</sup>, Куланіна Є.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

В життєвому циклі трансформатора можна виділити найбільш відповідальні моменти функціонування – це періоди, що пов'язані зі зміною режиму роботи, так звані перехідні процеси. Для контролю стану пристроїв та зниження ризику виходу з ладу створюються математичні моделі об'єктів в відповідних станах, методики розрахунку перехідних процесів та комплекси для діагностики.

В умовах експлуатації коротке замикання зазвичай виникає раптово в результаті різних несправностей (погіршення або руйнування ізоляції, несправність захисних пристроїв та інше). При цьому в трансформаторі виникає різкий перехідний процес, що супроводжується великими струмами, які можуть призвести до несправностей трансформатора. Тому дослідження та розрахунок динамічних режимів при короткому замиканні є актуальною темою.

Робота присвячена дослідженню трьохфазного короткого замикання силового трансформатора. У середовищі програмного пакета MatLab побудовано модель для реалізації короткого замикання трьохфазного силового трансформатора, що складається з джерела трьохфазного струму, блоку трансформатора з параметрами та блоку реалізації короткого замикання. Визначено параметри обмоток трансформатора та намагнічуючої гілки. Отриманні осцилограми перехідного процесу та визначенню діючих значень синусоїдальних напруг і струмів в сталому режимі методом математичного моделювання в пакеті MatLab.



УДК 621.313

Доля Б.О.<sup>1</sup>, Сердюк Д.О.<sup>2</sup>, Теремінова О.М.<sup>2</sup>, Шовкопляс В.Є.<sup>2</sup>, Літвінов Д.О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПОТУЖНІСТЮ 55 КВТ ПРИ НАСИЧЕНОСТІ ЗУБЦІВ ОСЕРДЯ РОТОРА**

Потреби господарства задовольняються головним чином двигунами основного виконання єдиних серій загального використання для привода механізмів, які не висувають особі вимоги до пускових характеристик, ковзання, енергетичним показникам, шуму. Міняючи частоту напруги, підведеної до статора, або змінюючи вид з'єднання обмоток статора можна міняти швидкість обертання й величину моменту на валу двигуна.

При проектуванні необхідно враховувати існуючі недоліки асинхронних двигунів, зокрема їх малий пусковий момент на валу й великий пусковий струм, який в 4.5-7 разів перевищує робочий; низький ККД у режимі часткових навантажень; неможливість контролю швидкості без втрат потужності; зменшення моменту обертання двигуна при його перевантаженнях. Отже, створення високоєфективних та надійних асинхронних двигунів є одним з найважливіших господарських завдань країни, а правильний вибір двигунів, їх експлуатація та високоякісний ремонт відіграють першочергову роль в економії матеріалів й трудових ресурсів.

Для визначення значень пускового струму та пускового моменту (або їх кратностей) було проведено дослідження електромагнітних процесів в асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором типу 4А225М4У3 потужністю 55 кВт на базі схемно-польового моделювання. Прийняті та розраховані головні розміри дослідного двигуна, його обмоткові параметри. Розраховані параметри Г-подібної схеми заміщення двигуна. Проаналізовано змінення електромагнітного моменту при зміні активного опору обмотки ротора та частоти живлення мережі. Приведено моделювання електромагнітних полів у двигуні з урахуванням насичення зубців статора та ротора.

Обчислення струмів статора і ротора в момент часу  $t = 0$  (момент пуску асинхронного двигуна), а також обчислення та збір необхідних результатів електромагнітного розрахунку проводилися за допомогою роботи програми FEMM автоматично із використанням спеціально написаного скрипта на мові Lua, вбудованому у програму FEMM.

В результаті розрахунку пускових параметрів асинхронного двигуна було визначено (табл.1) номінальний момент 350.17 Н·м, максимальний момент 770.4 Н·м при критичному ковзанні 0.109, пусковий момент 420.2 Н·м (або кратність 1.2), пусковий струм 688.55 А (або кратність 6.11).

Таблиця 1 – Значення механічного моменту

№	s	M, Н·м
1	0	0
2	$0.5 \cdot s_H$	159
3	$s_H$	350.17
4	$1.5 \cdot s_H$	525
5	$s_{кр}$	770.4
6	0.6	423.7
7	0.8	413.2
8	1.0	420.2

У відповідності із отриманими значеннями індукцій в результаті схемно-польового моделювання асинхронного двигуна, надалі був проведений розрахунок параметрів магнітного ланцюга, для режиму неробочого ходу асинхронного двигуна потужністю 55 кВт, при якому для нього характерно відносно сильне насичення сталі зубців статора та ротора.

Насичення зубцевої зони приводить до сплюснення кривої поля у повітряному зазорі. При визначенні магнітної напруги ділянок магнітного ланцюга з нелінійними магнітними характеристиками вплив сплюснення був врахований спеціальними кривими намагнічування для зубців і ярем асинхронних двигунів (сталь 2013), побудованими по основній кривій намагнічування з урахуванням вказаних залежностей.

За допомогою електромагнітного моделювання отримані значення моментів та уточнені параметри Г-подібної схеми заміщення надали змогу більш детальніше та точніше визначати параметри індукцій у зубцях ротора, при визначенні його геометричних параметрів, й відповідно точніше визначити пускові параметри двигуна ( $M_p/M_{ном}$ ,  $I_p/I_{ном}$ ) потужністю 55 кВт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов [Текст] /И. П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев – М.: Изд. Юрайт, 2011. – 767 с.
2. Васильковский, Ю.Н. Определение интегральных характеристик электрических машин методами теории электромагнитного поля [Текст]

УДК 621.313

Горовий А.О.<sup>1</sup>, Зубков І.В.<sup>1</sup>, Колесник Б.О.<sup>1</sup>, Савенко М.В.<sup>1</sup>, Літвінов Д.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВИЗНАЧЕННЯ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДІЕЛЕКТРИКА У МАСЛОНАПОВНЕНОМУ ТРАНСФОРМАТОРНОМУ УВОДІ 110 КВ**

Будь-яка ізоляція нагрівається у разі прикладення до неї напруги. Причиною нагрівання є: наскрізні струми через ізоляцію, нагрів за рахунок уповільнених видів поляризації, іонізація газових включень в твердій ізоляції та неоднорідність структури ізоляції. Діелектричними втратами називають потужність нагріву ізоляції за рахунок прикладеної до неї напруги. Тангенс кута діелектричних втрат  $[\operatorname{tg}(\delta)]$  – це характеристика ізоляційних властивостей діелектриків та конденсаторів, яка визначається як співвідношення між активною потужністю нагріву ізоляції та реактивною ємнісною потужністю в ізоляції. Кутом діелектричних втрат ( $\delta$ ) називають кут, що доповнює до  $90^\circ$  кут зсуву фази між напругою на ізоляції та струмом через ізоляцію.

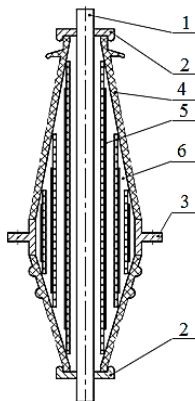
Для визначеності ємності реальних конденсаторів або ізоляції використовують схеми заміщення. Найчастіше використовують дві найпростіші схеми заміщення, що складаються із ємнісного та резистивного елементів: послідовну та паралельну.

Для визначення кута діелектричних втрат та ємності ізоляції (багатошарової з алюмінієвих обкладинок) трансформаторного уводу конденсаторного типу на 110 кВ була застосована пряма схема вимірювання за допомогою моста змінного струму Шерінга. Зовнішньою ізоляцією є фарфорова покривка. Внутрішня – це ділянки ізоляції (обкладинки із алюмінієвої фольги та технічне масло) у тілі уводу. Масло-бар'єрні уводи (110÷150 кВ) конденсаторного типу (рис. 1) застосовуються для підвищення пробивної напруги ( $U_{пр}$ ), й отже для збільшення електричної міцності, а й також для зменшення нагріву. У конструктивному плані увід конденсаторного типу:

- розбивають внутрішній ізоляційний проміжок на  $n$  малих проміжків бар'єрами 5;

- вирівнюють поле металевими прокладками (фольга, що накладається на бар'єри).

В результаті  $U_{\text{пр}}$  підвищується в  $\sim 2,5$  рази.



1 – струмопровід (стрижень); 2 – високоевольтний фланець; 3 – заземлений фланець; 4 – фарфорове тіло; 5 – бар'єри із обкладками, 6 – технічне масло

Рисунок 1 – Трансформаторний увід конденсаторного типу на 110 кВ.

Обкладки вирівнюють поле у радіальному та аксіальному напрямках. Найбільш важливо вирівняти поле в аксіальному напрямку для зменшення довжини уводу, для цього уступи роблять однаковими. На рис. 2 наведені епюри розподілу напруженостей електричного поля у радіальному (а) та аксіальному (б) напрямках масло-бар'єрного уводу.

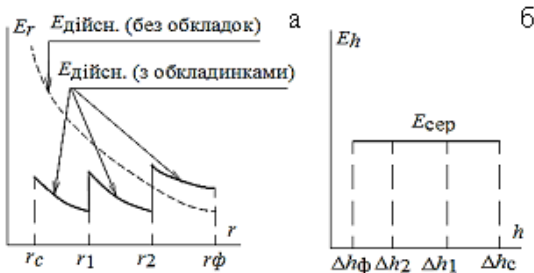


Рисунок 2 – Розподіл напруженості електричного поля у радіальному (а) та аксіальному (б) напрямках уводу.

Струмоведучий стрижень обмотується декількома шарами паперу. Основну електричну міцність ізоляції уводу забезпечує масло, що знаходиться усередині фарфорової покритишки.

У результаті проведеної експериментально-дослідної роботи з трансформаторним уводом конденсаторного типу на 110 кВ (який вже був в експлуатації) було визначено його основні ізоляційні характеристики:  $C_x = 235.2$  мкФ (відповідає паспортному значенню 235 мкФ) тобто можна зробити висновок про неушкодженість алюмінієвих обкладинок внаслідок теплових та механічних навантажень та  $\text{tg}(\delta) = 0.05$ , що характеризує достатню електричну міцність ізоляції та можливість подальшої експлуатації даного уводу.

УДК 621.313

Левенкова О.І.<sup>1</sup>, Оніпко А.Д.<sup>2</sup>, Панченко Н.С.<sup>2</sup>, Солодовнікова Т.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-227сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РОЗМІЩЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ВИТКІВ ВЗДОВЖ ОБМОТКИ**

Потреба у збільшенні потужності енергоблоків призвела трансформаторобудівників к більш складним завданням, бо зі збільшенням потужності трансформаторів збільшуються, як струми обмоток (і, відповідно, зростає інтенсивність полів розсіяння), так і потужності та геометричні розміри охолоджуючих пристроїв.

Збільшення струмів обмоток зумовлює виникнення значних вихрових струмів у всіх провідних елементах та додаткових втрат енергії – підвищення нагрівання.

У декотрих, спроектованих раніше, трансформаторах електродинамічні зусилля, які виникають в обмотках при коротких замиканнях можна суттєво зменшити при більш раціональній конструкції обмоток та розміщенню регулювальних витків. Ці зусилля водночас приводять і до локальних порушень температурних режимів у конструктивних елементах.

На базі розрахунку трифазного триобмоткового трансформатора було проведено дослідження розподілу індукції та електродинамічних сил при роботі трансформатора при трьох різних розміщеннях регулювальних витків в обмотці високої напруги. Всі регулювальні витки при досліді ввімкнено, тобто трансформатор працює на максимальну напругу. Достатньо значна різниця в висотах обмоток додала несприятливі умови для розподілу індукції та сил, діючих на обмотки.

Графіки залежності індукції обмотки ВН в радіальному напрямку показують що пікові значення індукції спостерігаються при розміщенні регулювальних витків в середині обмотки ВН.

Максимальні зусилля стискування або розтягування в концтрах при дослідженнях пар обмоток, однією з яких є обмотка ВН, спостерігаються при розташуванні регулювальних витків на  $\frac{1}{4}$  та  $\frac{3}{4}$  висоти обмотки ВН.

Максимальний тиск в прокладках та реакції на верхній та нижній опорах приймають найбільші значення при розташуванні регулювальних витків на  $\frac{1}{4}$  та  $\frac{3}{4}$  висоти обмотки ВН.

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки. За рахунок того, що обмотки НН та СН мають меншу висоту ніж обмотка ВН у верхній частині графіка електродинамічні сили обмотки ВН змінюють напрямлення, що є недоліком. Для уникнення такого невірвноваженого розподілу електрорушійних сил бажано передбачити при конструюванні обмоток НН та СН таке виконання при якому обмотки будуть мати висоти рівні висоті обмотки ВН:

- для обмотки НН за рахунок виконання більшої кількості транспозицій, або виконання обмотки двоходовою;

- для обмотки СН за рахунок збільшення кількості котушок та вибору іншого дроту.

УДК 621.313

Гарьковенко В.С.<sup>1</sup>, Лавриниць А.В.<sup>1</sup>, Павленко А.О.<sup>1</sup>, Куланіна Є.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ НЕРОБОЧОГО ХОДУ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ НИЗЬКИХ ЧАСТОТАХ**

Робота трансформатора при напругах і частотах, що перевищують номінальні значення, може призвести до збільшення щільності магнітного потоку та втрати потужності в осерді. Таких режимів слід уникати. Однак є випадки, коли така робота необхідна, особливо для малих трансформаторів в лабораторіях під час конкретних експериментів. Цікавим є випадок роботи трансформатора на частотах, нижчих від номінальної. Утримання напруги на номінальному рівні та зменшення частоти призведе до збільшення густини магнітного потоку в осерді. Це може призвести до насичення осердя та значного збільшення втрат. Однак у відповідній науковій літературі немає істотних повідомлень про цей ефект. Найпростіший спосіб спостереження за насиченням осердя - проведення випробування без навантаження

трансформатора і вимірювання струму без навантаження та втрати потужності. Такий дослід описаний у міжнародному стандарті і коротко обговорено в літературі. Зазвичай це частина комплексних досліджень силових трансформаторів. Наскільки відомо, в даний немає достовірних результатів такого тесту на частотах, нижчих від номінальних.

Тому доцільно провести дослід неробочого ходу однофазного трансформатора на низьких частотах за допомогою комп'ютерного моделювання. Під час проведення досліді необхідно отримати значення струму та втрат без навантаження.

УДК 621.313

Губарев В.І.<sup>1</sup>, Левченко А.І.<sup>2</sup>, Маслій В.К.<sup>2</sup>, Солодовнікова Т.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-227сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **ЗАЛЕЖНІСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВІД СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ**

Синхронні генератори є одними з самих розповсюджених електротехнічних пристроїв. Їх проектування, як правило, здійснюється на основі апробованих класичних інженерних методик. Але, завдяки великій кількості спрощень, які лише частково враховують процеси і явища, що відбуваються у синхронних генераторах, вони мають суттєві недоліки, що зменшують точність розрахунків та не потребують подальшої розробки вже існуючих конструкцій.

Сучасним програмним забезпеченням можливо вирішити ці проблеми та провести розрахунки на більш високому рівні без урахування деяких спрощень та додаючи нові граничні обмеження.

При проектуванні синхронних генераторів з самозбудженням з однаковими вихідними даними та конструкцією, але з різними способами живлення обмотки збудження були побудовані характеристики холостого ходу, векторні діаграми для номінального навантаження і часткові характеристики намагнічування. Було проведено оцінку масогабаритних характеристик спроектованих машин, втрат потужності та ККД, розраховано та побудовано основні характеристики синхронних генераторів.

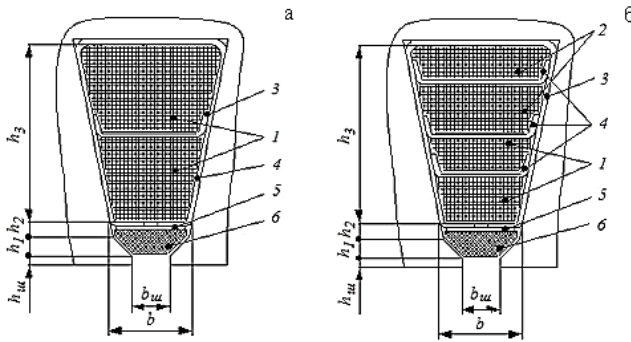
У проєктованому синхронному генераторі за рахунок застосування додаткової (рис. 1) обмотки статора для живлення обмотки збудження вдалося зменшити витрати активних матеріалів, в порівнянні з генератором з живленням обмотки збудження від однієї загальної обмотки статора.

Критерієм оптимізації було прийнято сумарні витрати активних матеріалів. У витрати активних матеріалів увійшли: маса електротехнічної сталі статора, ротора та полюсних наконечників; маса міді обмоток статора, обмотки збудження, стрижнів демпферної обмотки з короткозамкненими.

На базі виконаних розрахунків було отримано результати, які дозволяють зробити висновок, що синхронний генератор із живленням обмотки збудження від незалежної обмотки статора має кращі техніко-економічні характеристики, такі як:

- більше значення ККД;
- меншу вагу активних матеріалів;
- живлення обмотки збудження від незалежної обмотки статора

дозволяє зменшити та відокремити безпосередній вплив загальної обмотки на струм живлення блока керування збудження, тому такий генератор більш стабільним під час його роботи в перехідних режимах.



а – генератор 1; б – генератор 2;

1 – дріт загальної обмотки ПЕТВ; 2 – дріт додаткової обмотки ПЕТВ; 3, 4 – плівкопласт (ізофлекс); 5 – плівкосинтокартон; 6 – клин.

Рисунок 1– Розміщення всіпної обмотки в пазу генератора.

Характеристики обох видів генератора можна покращити використавши нові марки електротехнічної сталі з кращими магнітними характеристиками та меншими питомими втратами на перемагнічування. Це дозволить зменшити магнітну насиченість статорів, що в свою чергу дозволить зменшити габарити та вагу генераторів. Використання нових видів діелектриків дозволить зменшити товщину ізоляції провідників та пазів. Це буде сприяти кращому відводу тепла із пазів.



УДК 621.313

Петров К.В.<sup>1</sup>, Савін Р.В.<sup>1</sup>, Подус О.Р.<sup>2</sup>, Дівчук Т.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИЧНОЇ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ FEMM**

Однією з основних задач проектування силового трансформатора є вибір конструктивної схеми магнітної системи. При її розрахунку в першу чергу повинні бути передбачені можливості зменшення втрат та струмів неробочого ходу, мінімальні витрати електротехнічної сталі. Для пласкої шихтованої магнітної системи визначають: план шихтування пластин, кількість ступенів в перерізі стрижнів та ярма, розміри пакетів – ширина пластин та товщина пакетів, розташування та розміри охолоджуючих каналів, повні та активні перерізи стрижня та ярма, висота стрижня, відстань між вісями стрижнів. Геометричні розміри магнітної системи обираються у відповідності з попереднім розрахунком, спираючись на оптимальний варіант співвідношення параметрів неробочого ходу та розмірів її конструктивних елементів, та, як наслідок, витрат активних матеріалів, що є актуальним питанням сьогодення.

Класичні методи розрахунку конструкції трансформатора базуються на спрощеннях та припущеннях. Визначення вихідних даних супроводжується розрахунком основних коефіцієнтів за допомогою яких розраховуються величини втрат та струмів неробочого ходу, густина струмів, переріз проводів, геометричні розміри активної частини, маси матеріалів та мінімальна вартість. Розміри цих величин зазвичай суттєво відрізняються від кінцевого результату проектування та їх розрахунок займає багато часу.

Існуюча конкуренція на ринку виготовлення трансформаторів та електропромислових виробів взагалі вимагає модернізації та швидкого реагування на вимоги споживачів електротехнічної продукції. Тому існує необхідність уточнення методів розрахунку та скорочення витрат часу на них.

Класична методика розрахунку трансформатора крім попереднього вибору кількох можливих марок сталей магнітної системи та відповідних їм питомих втрат та намагнічуючих потужностей передбачає розрахунок десятків допоміжних коефіцієнтів, що в результаті зводиться до отримання коефіцієнту  $\beta$ , який відповідає мінімальній вартості активних матеріалів. Потім, опираючись на цей коефіцієнт розраховуються кілька варіантів

можливих конструкційних рішень трансформатора, що значно збільшує витрати часу при розрахунку трансформатора. Але в цій же класичній методиці існує ряд нормалізованих діаметрів стрижня магнітної системи, які напряму залежать від коефіцієнту  $\beta$  при якому загальна вартість активної частини трансформатора не перевищує 1% від мінімальної вартості попередньо розрахованої.

Для обраного, як приклад, трифазного трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 значення діаметру стрижня магнітної системи може бути обраним від 0,22 до 0,27 м. Відповідно обраним значенням можливих нормалізованих діаметрів стрижнів трифазного трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 робимо розрахунок основних параметрів, яке зводиться до розрахунку геометричних розмірів магнітної системи, та значення електрорушійної сили.

Для оптимального вибору конструкції магнітної системи трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 проводимо розрахунок в середовищі програмного засобу FEMM методом скінчених елементів. Реалізація розрахунків проводиться для геометричних розмірів трьох магнітних систем, значення діаметрів яких лежать в межах  $1,92 < \beta < 3,96$ .

З отриманих картин магнітних полів геометричних моделей активної частини трансформатора з різними діаметрами стрижнів магнітної системи за допомогою ПЗ FEMM отримані значення енергії магнітного поля та індукцій в стрижнях магнітної системи, що дає змогу розрахувати параметри неробочого ходу (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри неробочого ходу трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 визначені засобами ПЗ FEMM

Діаметр стрижня, d <sub>c</sub> , м	Енергія поля, Дж	Загальний опір, Ом	Індуктивність, Гн	Індуктивний опір в режимі неробочого ходу	Активний опір в режимі неробочого ходу	Втрати неробочого ходу, кВт
0,22	21,9	22047,24	96,55	21782,5	3406,42	2317,86
0,24	23,52	22047,24	103,69	21710,8	3836,94	2610,82
0,27	18,26	22047,24	80,51	21783,2	3398,1	2312,21

З таблиці видно, що втрати неробочого ходу для магнітної системи з діаметром стрижня 0,24 м зменшені в порівнянні з задами при діаметрі стрижня 0,22 м та 0,27 м для обраної марки сталі. При її змінненні можливий перерахунок за існуючими моделями магнітної системи побудованими в ПЗ FEMM. Похибка розрахунку втрат неробочого ходу складає 9,16% для

діаметра стрижня 0,22 м; 9,05% для діаметра стрижня 0,24 м; 9,158% для діаметра стрижня 0,27 м.

Удосконалення існуючого методу дозволило скоротити попередній розрахунок до визначення вартісного коефіцієнту, при визначенні параметрів неробочого ходу не використовувати наступні коефіцієнти:  $k_{пр}$  – коефіцієнт, який враховує збільшення втрат при розкрою сталі,  $k_{пз}$  – коефіцієнт, який враховує видалення задирок на сталі,  $k_{пз}$  – коефіцієнт, який залежить від форми перерізу ярма,  $k_{шт}$  – коефіцієнт, який залежить від способу пресування ярма та стрижня,  $k_{пу}$  – коефіцієнт, який залежить від марки сталі, форми стиків та індукції, а перейти для дослідження реальних активних частин силового трансформатора.

Використання методу польового моделювання засобами ПЗ FEMM дозволило дослідити режим неробочого ходу та отримати характерні для нього картини поля. Визначення втрат неробочого ходу за результатами моделювання дало можливість обрання дійсної магнітної системи та прискорити розрахунок конструкції силового трансформатора.

УДК 621.313

Дубров Є.П.<sup>1</sup>, Петров З.Г.<sup>1</sup>, Верхолапов С.Д.<sup>1</sup>, Семивол В.В.<sup>2</sup>, Дівчук Т.Є.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

## **АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СХЕМНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СИЛОВИХ ТАНСФОРМАТОРІВ**

При дослідженні силових трифазних трансформаторів в режимах неробочого ходу та дослідного короткого замикання їх параметри можуть бути представлені у вигляді схем заміщення [1-4]. Найбільш поширеними є Т-подібна, П-подібна та Г-подібна схеми заміщення трансформатора [1]. Як правило, П-подібна схема заміщення використовується у випадках, коли ярма насичуються сильніше ніж стрижні [1], Т-подібна схема заміщення може бути корисною для дослідження трансформаторів з магнітними шунтами, для автотрансформаторів з розташуванням послідовної обмотки ближче до стрижня. Г-подібна схема заміщення є найбільш наближеною до умов дослідних режимів неробочого ходу та короткого замикання, але саме П-подібна схема заміщення є необхідною для визначення похибки розрахунків за спрощеною Г-подібною схемою [1].

Для покращення точності, достовірності і адекватності розрахунків параметрів трансформаторів на етапі конструкторської підготовки виробництва силових трансформаторів вибір більш ефективної схеми за

ознаками обчислювальної ефективності і точності потребує детального аналізу.

Для визначення електричних параметрів застосовуються відомі співвідношення для Т – подібної схеми заміщення [1] та вирази для П-подібної схеми заміщення [1].

Якщо електричні параметри неробочого ходу і короткого замикання вважати взаємонезалежними і знехтувати падінням напруги на опорі первинної обмотки від струму намагнічування, то П – подібну схему можна перетворити у Г – подібну схему. Це може привести до похибки, обумовленою даною схемною моделлю, тому що не враховано струм намагнічування у колі первинної обмотки. Але струм неробочого ходу силових трансформаторів добігає 1% від номінального струму трансформатора тому таке спрощення може бути допустимим. Опори первинної обмотки послідовно вмикаються з приведеними опорами вторинної обмотки, а при їх додаванні визначаються опори дослідного режиму КЗ трансформатора  $R_k$  і  $X_k$  [1, 2].

Параметри Г- подібної схеми заміщення можуть бути достовірно виміряні та розраховані у дослідних режимах неробочого ходу і короткого замикання під час випробувань силових трансформаторів, що потребуватиме додаткових ресурсів.

Сучасним аналогом дослідних випробувань є сучасні програмні засоби, в основі яких лежить метод польового моделювання. Тому аналіз роботи трифазних силових трансформаторів з плоскою магнітною системою на етапі конструкторської підготовки потребує обґрунтування обчислювальної сумісності та ефективності польового моделювання з різними видами схем заміщення в режимах неробочого ходу та короткого замикання. Це забезпечить вимоги підвищення точності ідентифікації параметрів схем заміщення засобами математичного моделювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лейтес, Л. В. Схемы замещения многообмоточных трансформаторов [Текст] / Л. В. Лейтес, А. М. Пинцов. М.: Энергия, 1974, 192 с.
2. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов [Текст] / П. М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –528 с.
3. Пентегов, И.В. Связь между параметрами электромагнитных, принципиальных схем и схем замещения двухобмоточных трансформаторов / И.В. Пентегов, С.В. Рымар, И.В. Волков // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 3. – С. 67-79.
4. Яримбаш, Д.С. Особливості визначення параметрів короткого замикання силових трансформаторів засобами польового моделювання [Текст] / Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник //

УДК 621.313

Хацаревич М.В.<sup>1</sup>, Яримбаш Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ІНДУКТОРІ КАЛІБРУ МУНДШТУКА ПРЕСУ**

Розвиток сучасної промисловості України неможливий без зменшення рівня енерговитрат при одночасному поліпшенні рівня якості продукції. Це також відноситься і до графітового виробництва, для кожного його технологічного процесу. Унікальної продукцією українського графітового виробництва є подові блоки для алюмінієвих електролизерів та доменні блоки що використовуються для футеровки доменних печей, які мають значний попит на світових ринках. Для виготовлення заготовок цих вугільно-графітових блоків використовуються потужні преси з масними мундштуками, що обладнані системами індукційного нагріву з автоматичним регулюванням [1]. Сучасні системи автоматичного регулювання індукційного нагріву, дозволяють забезпечити температурних режими нагріву, рівномірний розподіл температур по робочій поверхні мундштука преса, високі коефіцієнти корисної дії та потужності при роботі на токах промислової частоти [1].

Підвищення точності і ефективності керування електротехнічним комплексом індукційного нагріву залежить від адекватності опису математичної моделі об'єкту. Розробка і запровадження нових енергоефективних конструктивних рішень систем індукційного нагріву мундштука пресу потребує чіткої ідентифікації їх параметрів для забезпечення точності і ефективності керування. Експериментальні дослідження на діючому обладнанні мають значні технологічні і фінансові обмеження. Тому актуальним є розробка нових конструктивних рішень на основі використання сучасних методів математичного моделювання електромагнітних і електротеплових процесів в індукторах пресу з масивним осердям. Такі моделі повинні з високою точністю описувати процеси у тривимірних геометричних областях об'єкту із врахуванням його конструктивних особливостей і електрофізичних та магнітних властивостей матеріалів, для точної ідентифікації їх параметрів під час технологічного процесу.

Метою роботи було дослідження нестационарних електромагнітних і теплових процесів індукційного нагріву при виготовленні заготовок подових і доменних блоків із врахуванням конструктивних особливостей, нелінійності властивостей активних та конструкційних матеріалів, а також застосування ефективних методів її реалізації, що забезпечують високу точність і адекватність визначення параметрів індукторів мундштука преса для запровадження нових енергоефективних конструктивних рішень.

Зазвичай індуктори мундштука преса мають конструктивне виконання з масивним сердечником, в пазах якого розміщуються ізольовані мідні стрижні обмотки. Сердечник індуктора охоплюється сталевим кожухом. В роботі також досліджувалось нове конструктивне рішення індуктору «оберненої» конструкції, коли роль масивного осердя виконував мундштук пресу, що дає змогу забезпечити його прямий нагрів.

Нестационарні електромагнітні та теплові процеси індукційного нагріву мундштука пресу, можуть бути представлені системою рівнянь

$$\begin{cases} \sigma_i \mathbf{A}_{\tau i} + \nabla \times \left[ (\mu_0 \cdot \mu_i)^{-1} \cdot \nabla \times \mathbf{A}_i \right] = 0; \\ c_i \rho_i t_{\tau i} = \operatorname{div} \left( \lambda_i \cdot \overrightarrow{\operatorname{grad} t_i} \right) + p_i = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$\sigma$  – питома електрична провідність;  $\mu_0$  – магнітна проникність вакууму;  $\mu$  – відносна магнітна проникність;  $c$  – питома теплоємність;  $\rho$  – питома вага;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності; індекси  $i = 1, 2, 3$  відповідають феромагнітним (1), провідниковим (2) та ізоляційним (3) матеріалам індуктору.

Потужність питомих втрат в активних матеріалах індуктору визначається співвідношенням

$$p_{i,j} = \sigma_{i,j} \cdot \mathbf{j}^2,$$

де  $j$  – густина струму.

Система (1) доповнювалась граничними умовами на поверхнях сполучення середовищ з різними електромагнітними властивостями, на зовнішніх поверхнях і поверхнях магнітної ізоляції, граничних поверхнях, обтічних електричним струмом, на поверхнях симетрії і електричної ізоляції [2] та умовами конвективного теплообміну з навколишнім середовищем на зовнішніх поверхнях (умови 3 роду) і кондуктивного теплообміну, на

границях сполучення середовищ з різними теплофізичними властивостями [2].

Реалізація системи (1) з відповідними умовами виконувалась методом скінченних елементів [2].

За результатами моделювання визначався просторовий розподіл температур, складових векторного магнітного потенціалу, магнітної індукції і напруженості, густини вихрових струмів і питомих втрат в індукторі.

Для валідації запропонованої моделі виконувалось порівняння результатів розрахунку із експериментальними даними. Відносна похибка розрахункових значень повної потужності індукторів заходу і калібру становить 4,5...6,1%, активної потужності - 4,1...6,5%, коефіцієнта потужності - 5,4...7,1%. Це підтверджує адекватність математичної моделі та можливість виконання подальших досліджень на її основі для підвищення енергоефективності індукційного обігріву мундштука преса при виготовленні заготовок подових блоків.

Розрахунки активної потужності індукційного нагріву і коефіцієнту потужності виконувалися для інтервалу зміни напруги на обмотці індуктору калібру 90...140 В та потужності індукційного нагріву 40...65 кВт.

За результатами моделювання визначено, що ріст напруги призводить до збільшення магнітного потоку в осерді індуктору та сталевому кожусі, що в свою чергу обумовлює суттєве зниження магнітної проникності і зростання глибини проникнення магнітного поля та збільшення потужності тепловиділення від вихрових струмів. Це відображається на зміні коефіцієнту потужності індукційного нагріву. З ростом напруги на обмотці індуктора коефіцієнт потужності підвищується з 0,61 до 0,67. Інтенсивніше відбувається зміна коефіцієнту потужності в інтервалі напруги 90...110 В з подальшою його стабілізацією при напрузі понад 110 В на рівні 0,66...0,67. Аналогічним чином коефіцієнт потужності змінюється з ростом активної потужності, споживаної індуктором, досягаючи максимальних значень при потужності понад 40 кВт.

Підвищення температури індуктору має неоднозначний вплив. З одного боку, воно обумовлює зниження магнітної проникності і збільшення глибини проникнення магнітного поля, а з іншого – зниження електропровідності осердя, що призводить до зменшення питомої потужності тепловиділення від вихрових струмів. З ростом температури індуктора в інтервалі 180...270 С, при напрузі 110 В або активній потужності більше 40 кВт коефіцієнт потужності досягає максимуму 0,66...0,67, а потім, при температурах вище 270°C – знижується.

Таким чином, наведена математична модель для нестационарних електромагнітних і теплових процесів індукційного нагріву адекватно враховує конструктивні особливості та нелінійність властивостей матеріалів.

Її реалізація методом скінченних елементів забезпечує високу обчислювальну ефективність і точність розрахункових результатів, що дозволяє отримати кількісні оцінки впливу на коефіцієнт потужності індукційного нагріву змін температурних завдань і діючих значень напруги на обмотці індуктору. Встановлено, що для підвищення енергоефективності індукційного нагріву мундштука преса, температурні завдання для точки під осердям індуктору не повинні перевищувати 270°C, а діючі значення напруги на обмотці індуктора мають бути не нижче 110 В. Це дозволить підтримувати значення коефіцієнту потужності для розглянутої конструкції індуктору на рівні близькому до максимальних значень 0,66...0,67.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Кувалдин, А.Б. Исследование электрических и энергетических характеристик нагревательных систем со стержневыми индукторами /А.Б. Кувалдин, А.И. Дианов //Вестник МЭИ. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. С.56-61.

2. Ярымбаш, Д. С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64–69.

УДК 621.365.32

Мордзинський Р.Б.<sup>1</sup>, Ярымбаш Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

### **АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ШИННИХ ПАКЕТАХ ЕЛЕКТРОПЕЧЕЙ ОПОРУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КАРБІДУ КРЕМНІЮ**

Технологічний процес виробництва карбіду кремнію характеризується високою енергоемністю (до 5...12 МВт·год на тонну продукції). Потужність електропечей опору для виробництва карбіду кремнію досягає 4...5 МВт а тривалість технологічної кампанії досягає 40 годин. Це обумовлює потребу у пошуку нових шляхів підвищення енергоефективності та відсотку якості продукції для її конкурентоспроможності на світових ринках.

Втрати активної потужності у короткій мережі електропечі опору можуть сягати 10...12% від повної активної потужності комплексу. Це обумовлює актуальність задачі раціонального конструювання шинних пакетів нових або модернізованих електропечей опору для виробництва



карбіду кремнію великої потужності, які забезпечують підвищення енергоефективності технологічного процесу.

Як правило, при проектуванні коротких мереж електропечей змінного струму застосовуються методи теорії електричних кіл і середніх геометричних відстаней, які базуються на цілому ряді припущень і спрощень, що не дає змогу врахувати реальну картину електромагнітних полів. Це не дозволяє достовірно враховувати особливості електромагнітного взаємодії струмоведучих елементів пічної петлі, струмопідводу і керну печі, призводить до збільшення похибок при розрахунку опорів, розподілі струмів, електричних втрат в шинних пакетах, і, як наслідок, температурних режимів їх роботи. Розвиток методики короткої мережі електропечі опору для виробництва карбіду кремнію повинен базуватись на аналізі просторових взаємопов'язаних електричних та магнітних полів в області пічної петлі на основі методів математичного моделювання і універсальних пакетів програм розрахунку.

Метою роботи була розробка універсальної методики енергоефективного вибору геометричних параметрів шинних пакетів електропечей опору змінного струму для виробництва карбіду кремнію на основі чисельного - польового аналізу електромагнітних і електротеплових моделей, що враховують температурні залежності електрофізичних і теплофізичних властивостей шин і струмопроводів та відображають особливості конструкції і просторового розташування елементів пічної петлі відносно один одного.

Для реалізації поставленої мети розглядалась розрахункова область короткої мережі печі наведена на рис. 1.

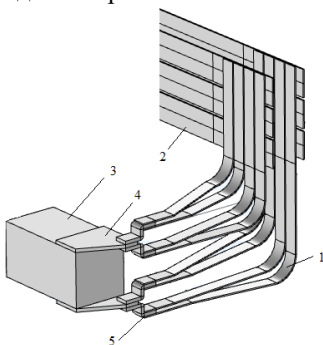


Рисунок 1 – Розрахункова область.

Мідні шини торцевих шинних пакетів 1, що під'єднані до алюмінієвих шин бічного шинного пакету 2, кріпляться до сталевих шин 5, які приварені

до сталевих плит, що забезпечують електричний контакт з графітовим струмопідводом 3.

Процеси перетворення електричної енергії змінного струму в енергію електромагнітного поля і теплову в розрахунковій області описувались математичною моделлю, що наведена у [1].

За результатами моделювання визначались активні втрати в елементах короткої мережі і їх активний та реактивний опори.

Локалізація енергії магнітного поля проходить навколо шин торцевого пакету, струмопідводу і крайніх шин бічного пакету та визначає локалізацію питомих електричних втрат на ділянках короткої мережі.

Ці особливості магнітного поля зумовлюють нерівномірний розподіл електричних потенціалів і перерозподіл струмів в шинах пакету, які витісняються з внутрішніх шин. Це призводить до нерівномірного розподілу щільності струму і питомих електричних втрат в шинах. Сила струму в крайніх шинах торцевого пакету в 1,4 рази більше ніж в внутрішніх шинах, хоча зсув їх по фазі не перевищує 4,5 ел. град. Електричні втрати в зовнішніх шинах 2 рази перевищують відповідні втрати в внутрішніх шинах. Ці фактори повинні враховуватися при виборі енергоефективного конструктивного виконання торцевого пакету і розмірів його шин.

Розглядаються рівнонавантажені варіанти, які відповідають критеріям рівності щільності струму і питомої потужності тепловиділення в шинах ТШП

$$\{J_{ш,i} = J_{ек}; p_{ш,i} = p_{доп}, \quad (1)$$

де  $J_{ек}$  – економічна щільність струму,  $p_{доп}$  – гранично допустимі за умовами нагріву питомі втрати.

Ці критерії реалізуються за даними математичного моделювання за допомогою виразів:

$$\left\{ S_{ш,i} \Big|_{J_{ек}} = \left| I_{ш,i} \right| / J_{ек}; S_{ш,i} \Big|_{p_{доп}} = P_{ш,i} / p_{доп_i} \cdot l_{ш,i}; i = 1, \dots, N_{тшп}, \quad (2)$$

де  $l_{ш,i}$  – довжина  $i$ -ї шини торцевого пакету.

Певні з цих співвідношень перетину шин можуть розглядатися як початкові наближення для вектору геометричних конструктивних параметрів. Диференціація розмірів шин ТШП здійснюється при допустимій точності ітерацій.

Результати моделювання та дані ітераційних розрахунків підтверджують можливість зниження маси провідникових матеріалів на

9...12% і втрат в на 7...15% в порівнянні з базовим варіантом.

Таким чином, сформульовано просторові моделі, що відображають особливості електромагнітних та електротеплових процесів в торцях печей змінного струму, конструктивного виконання елементів короткої мережі, що враховують температурні залежності електрофізичних і теплофізичних властивостей шин і струмовідводу.

Розроблено методику ідентифікації електричних параметрів елементів короткої мережі електропечі опору змінного струму на основі даних чисельно-польового аналізу, реалізованого методом скінченних елементів в тривимірній області торця печі.

Реалізація критеріїв рівної завантаженості шин за щільністю струму і питомими електричними втратами для вибору конструктивних параметрів шин торцевого пакету дозволяє знизити його масу на 9...12%, активні втрати на 7...15% щодо базового конструктивного виконання, поліпшити показники енергоефективності технологічного процесу виробництва карбіду кремнію.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Ярымбаш, Д. С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64–69.

УДК 621.313.3

Василенко Д.С.<sup>1</sup>, Ярымбаш Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ПИТОМОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ ПЕЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КАРБІДУ КРЕМНІЮ**

У вітчизняній абразивній промисловості для виготовлення карбіду кремнію використовуються електропечі опору змінного струму прямого нагріву. Енергоємність процесу карбідизації досягає 5...12 Мвт·годин на тону продукції. Характерною особливістю процесу карбідизації є необхідність дотримання чітких температурних режимів [1]. Це обумовлює як на якість продукції так і рівень енерговитрат.

Недостатнє вивчення механізмів розподілу активної потужності, особливостей нагріву робочого простору електропечі опору для виготовлення карбіду кремнію та формування температурного поля в залежності від

властивостей матеріалів компонентів завантаження обмежують можливості подальшого підвищення якості продукції та енергоефективності технологічного процесу.

Впровадження нових технічних в електротехнічному комплексі та організаційних рішень в технологічному процесі виготовлення карбіду кремнію, що забезпечуватимуть підвищення рівня енергоефективності та якості продукції, обумовлюють актуальність створення нових високоточних математичних моделей електромагнітних, електротеплових та тепломасобмінних процесів із розширенням їх застосування для дослідження процесів виробництва карбіду кремнію.

Метою дослідження був аналіз впливу електрофізичних властивостей складових компонентів робочого простору електропечі опору на розподіл активної потужності та енергоефективність технологічного процесу виготовлення карбіду кремнію на основі моделювання електромагнітних та електротеплових процесів із врахуванням особливостей конструкції та геометричних розмірів печі.

Для опису електромагнітних та електротеплових процесів у електропечі опору для виготовлення карбіду кремнію використовувалась математична модель, наведена у роботі [2]. Враховуючи, що довжина печі значно перевищує її поперечні розміри, використовувалось припущення, що розподіл векторного магнітного потенціалу та температури вздовж печі є постійним і розглядалися процеси у двовимірному наближенні [2]. Реалізація моделі виконувалась методом скінченних елементів у середовищі ПЗ FEMM [3].

Відносні похибки розрахунків падінь напруги та активної потужності не перевищували 1,2 % і 1,5 % при заданих значеннях струмового навантаження. Перевірка результатів моделювання за електричними параметрами виконувалась шляхом порівняння з даними вимірювань на діючому технологічному обладнанні.

В процесі роботи опір керну електропечі опору для виготовлення карбіду кремнію зменшується у 4...5 раз, що впливає на зміну коефіцієнту потужності на 10...15 %, що обумовлює необхідність компенсації реактивної потужності печі. Питомий електричний опір печі визначається співвідношенням питомих електричних опорів складових керна та теплоізоляції. Майже 90% потужності виділяється у «свічі». Для нормальних умов роботи основні втрати визначаються рівнем теплових втрат, які залежать від електрофізичних властивостей і якості формування робочого простору печі.

Неякісне формування керна печі може призводити до суттєвого погіршення показників енергоефективності через появу містків теплоти та струмів витоку, які можуть призводити до збільшення рівня втрат на

15...25 %. Це свою чергу може призводити до зменшення активної потужності печі її робочих температур та суттєвого погіршення якості продукції через недотримання технологічних режимів. Тому, доцільно при роботі електропечей виконувати автоматизований контроль її електричних параметрів зі сторони торців в місцях під'єднання до шинних пакетів.

Таким чином, запропоновані математичні моделі, адекватно відображають особливості електромагнітних, електротеплових і тепломасообмінних процесів в печі для виготовлення карбіду кремнію, враховують особливості її конструкції та робочого простору і температурні залежності електрофізичних і теплофізичних властивостей матеріалів. Відносні похибки розрахунків падінь напруги на бічних шинопроводах і активної потужності не перевищують 0,1, 2 % і 1, 5 % при порівнянні з даними реєстрації електричних режимів під технологічного процесу на трансформаторі живлення. Встановлено, що рівень втрат суттєво залежить від якості виконання теплоізоляції печі і її властивостей. При порушеннях регламенту формування робочого простору електропечі опору для виготовлення карбіду кремнію можуть з'являтися струми витоку, що призведе до збільшення рівня втрат та суттєвого погіршення якості продукції.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Производство абразивных материалов / А.С. Полубелова, В.Н. Крылов, В.В. Карлин, И.С. Ефимова. Л.: Машиностроение, 1968. 180 с.
2. Ярымбаш Д. С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64–69.
3. FEMM 4.2 – режим доступу: <http://www.femm.info/wiki/Download>

УДК 621.313.6

Олійник Є.С.<sup>1</sup>, Ярымбаш Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> д-р. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БІЧНОГО ШИНОПАКЕТУ ПЕЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КАРБІДУ КРЕМНІЮ**

Технологічний процес виробництва карбіду кремнію є тривалим та енергоємним. Якість продукції суттєвим чином залежить від дотримання технологічних режимів. З урахуванням тенденції зростання цін на енергоносії

і значної частки цих витрат в собівартості продукції, проблема підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів виробництва карбіду кремнію є доволі актуальною.

Втрати в коротких мережах досягають 12% електричних втрат комплексу, що визначається особливостями конструкції шинних пакетів пічної петлі і взаємним розташуванням керна, струмовідводів і бічних шинних пакетів. При оптимізації взаємного розташування керна і бічних шинних пакетів потрібно досліджувати електромагнітні процеси в пічній петлі. З урахуванням виробничих умов і технологічних особливостей виробництва карбіду кремнію доцільно проводити такі дослідження на математичних моделях, апробованих раніше для подібних класів задач.

Метою дослідження була оптимізація розташування бічного шинного пакету короткої мережі відносно печі опору для виробництва карбіду кремнію для підвищення енергетичної ефективності.

Енергетичну ефективність технологічного процесу виробництва карбіду кремнію можна оцінювати як співвідношення активної потужності керна при температурі карбідизації кремнію до потужності трансформатору живлення. Фіксуєючи параметри трансформатору живлення, пристрою компенсації реактивної потужності та шинного пакету у трансформаторній камері можна сформулювати локальний критерій енергоефективності для пічної петлі у вигляді відношення активної потужності керна при температурі карбідизації кремнію до повної потужності на відводах шинного пакету трансформаторної камери (ШПТК):

$$\max \frac{P_{\text{кern}}}{S_{\text{ШПТК}}} = \max \left( \operatorname{Re} \left[ \left( \dot{U}_{\text{ШПТК}} - \sum_i \dot{U}_i \right) \cdot I \right] / \left| \dot{U}_{\text{ШПТК}} \cdot I \right| \right), \quad (1)$$

Так як напруга на керна печі для виготовлення карбіду кремнію визначається напругою на відводах ШПТК –  $U_{\text{ШПТК}}$  і падіннями напруги на елементах пічної петлі і струмопідводах печі –  $U_i$ .

Ці падіння напруги обумовлюються електромагнітними процесами в елементах короткої мережі, які описуються системою диференціальних рівнянь для амплітуд векторного магнітного потенціалу в комплексній формі, наведених в [1] з відповідними граничними умовами.

Математична реалізація електромагнітної моделі [1] може бути істотно спрощена, якщо, з урахуванням співвідношення геометричних розмірів керну, струмопідводів печі для виготовлення карбіду кремнію і бічних шинних пакетів (БШП), перейти від просторової формулювання до плоскопаралельної постановки виду [1]:

$$\mathbf{A} = \bar{\mathbf{k}} \cdot A_z, \mathbf{B} = \mathbf{i} \cdot B_x + \mathbf{j} \cdot B_y, \mathbf{H} = \mathbf{i} \cdot H_x + \mathbf{j} \cdot H_y \quad (2)$$

Розв'язок математичної моделі виконувався за допомогою методу скінченних елементів у середовищі ПЗ COMSOL Multiphysics [1]. Розрахунки проводилися для існуючого дворядного виконання бічного шинного пакету з дванадцяти алюмінієвих шин з одного боку печі.

За результатами моделювання визначались комплексні значення амплітуд струмів в керні та шинах бічного шинного пакету.

Достовірність і точність результатів моделювання підтверджувалася порівнянням розрахункових даних з даними вимірювання у виробничих умовах при технологічному процесі виготовлення карбіду кремнію. Відносна похибка розрахунку діючих значень падінь напруги склала 4,5...7%.

Розподіл струмів обумовлено впливом зовнішнього поверхневого ефекту для шин бічного пакету та впливом ефекту близькості для керна і шин і залежить від їх взаємного розташування. Тому найбільше струмове навантаження несуть крайні шини пакету, розташовані ближче до керну печі. Кратність струмового навантаження між шинами бічного пакету досягає 6,5, а додаткові втрати в БШП становлять 28%.

За даними моделювання визначено оптимальне розташування керна і бічних пакетів шин при якому електромагнітне поле практично симетрично до поздовжньої осі печі в поперечному перерізі пічної петлі. Розподіл струмів в рядах шин бічних пакетів шин також наближається до симетричного, а нерівномірність їх навантаження знижується. Втрати у шинах бічного пакету зменшуються на 18%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ярымбаш Д. С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64–69.

УДК 621.355.9

Petro Andrienko<sup>1</sup>, Ivan Zhezhera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctor of Technical Science, professor National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

<sup>2</sup> PhD student National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

## **GENERAL LI-ION BATTERY MODEL WITH OVERCHARGE PROTECTION**

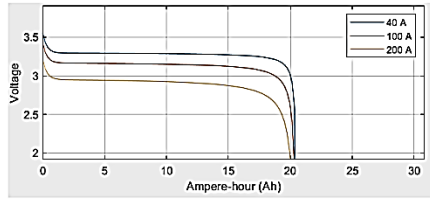
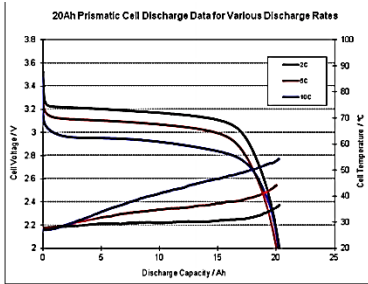
Nowadays lithium-ion batteries are considered as the most advanced batteries technology. These batteries can be designed for high energy or high power storage system. However, it is impossible to manufacture identical battery cells due to fabrication process. If not to take some preventive measures, it would cause a big difference between cells, which in its turn, to less lifecycle of battery or completely fail the battery. Without an appropriate battery management system, it is impossible to make a variation between cells as small as possible [1].

In the first step of battery management system (BMS) development the general battery model is needed. Matlab subsystem Simulink provides us with the general battery model [2]. This model represents general dynamic model of the most popular battery types: Lead-acid, Ni-MH, Ni-Ca and Li-ion. It may be useful for checking the general discharge characteristic and aging or / and temperature depended discharge characteristics. To validate this model the real data of Li-ion battery cell LiFePo<sub>4</sub> A123 System AMP20m1HD-A was insert [3]. As a result, we received the discharge characteristics that are almost the same with real ones, despite the fact that real one use temperature dependent model. (Fig. 1). The figures shows us discharging characteristics at 2C, 5C, 10C discharge. According to them AMP20m1HD-A battery has good performance, the power drops are at acceptable level and the power will be almost constant until 90% discharge even at high current.

But, how to check the charging characteristic? It is needed to implement equivalent circuit model (figure 2). This circuit represents general battery model, the ideal energy source for charging battery cell, wires resistance and overcharge protection. The charging characteristics is shown of the figure 3.

The charging characteristics show us exponential voltage increase when a battery is charging and if compare it with discharging characteristic – they are reversal. Moreover, these characteristics shows us correct operation of overcharging protection. The charging process stopped at 100% state of charge. If it would not stop, the battery cell voltage will grow to the power source level, but in real life, it will damage the cell or cause overheating and self-firing.





a – real discharge characteristics; b – simulated discharge characteristics  
Figure 1 – LiFePo<sub>4</sub> discharge characteristics

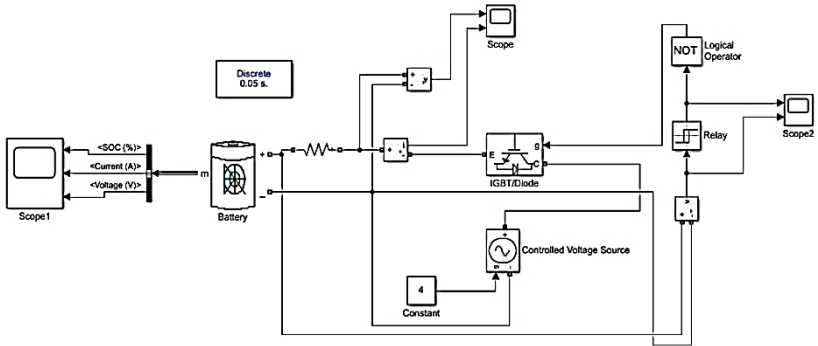


Figure 2 – Equivalent circuit model for battery cell charging

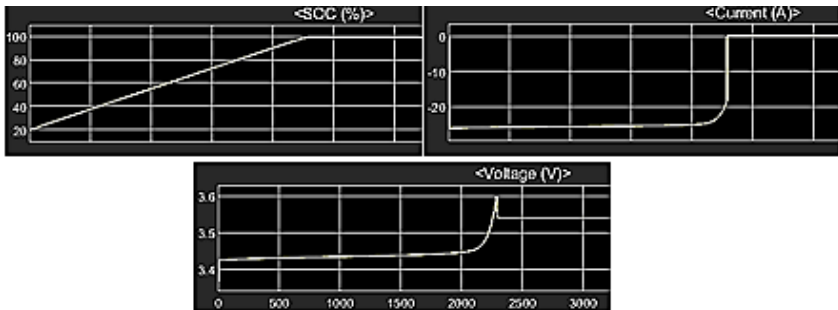


Figure 3 – Charging characteristics

The proposed equivalent circuit for battery cell charging with protection device may be used as a part of battery cell pack and battery managements system.

## LIST OF REFERENCES

1. Mohamed Daowd, Mailier Antoine, Noshin Omar., Battery Management System—Balancing Modularization Based on a Single Switched Capacitor and Bi-Directional DC/DC Converter with the Auxiliary Battery / Daowd M., Mailier A. , Noshin O. // Energies – 2014, No.7, – 289 – 2937p.
- 2.Mathworks. Generic battery model [internet source]. – access: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html>
3. A123 Energy Solution., Battery pack design, validation, and assembly guide using A123 Systems AMP20m1HD-A Nanophosphate® Cell, 2014.

УДК 371.3

Поляков М.О.

канд. техн. наук, проф. НУ "Запорізька політехніка"

## ОСВІТА В НСТ (ОАЕ)

Вищі коледжі технологій (НСТ) в Об'єднаних Арабських Еміратах (УАЕ) представляють собою різновид університетів, і навчають студентів за програмами бакалаврів і магістрів. Потреби країни в технічних спеціалістах обумовлені, в тому числі, необхідністю експлуатації підприємств добувної промисловості, складною інфраструктурою міст і транспортних систем. Мета роботи - поширення досвіду організації освіти в НСТ.

НСТ об'єднують кілька чоловічих і жіночих коледжів розташованих в різних містах країни. Коледжі мають документ визначає стратегію їх діяльності на кілька років. Зокрема, актуальними цілями проголошені надання студентам і НСТ - спільноті інтелегентного навчання і цифрових систем можливих «anytime / anywhere / on demand learning», що передбачає очне та гібридне (частково дистанційне) навчання.

Спеціальності коледжів сертифіковані міжнародними організаціями. Навчання за кожною спеціальністю ведеться синхронно по всій країні. Студенти в інших містах слухають і дивляться лекцію в спеціально обладнаних для відео конференцій аудиторіях. Існує окрема професія «постановник курсу». І це не обов'язково лектор. У лабораторіях використовується обладнання від спеціалізованих виробників. Склад обладнання у всіх коледжах, які ведуть навчання за даною спеціальністю, однаковий.

Міжнародна науково-технічна конференція НСТ Advances in Science & Engineering Technology ASET 2020 Innovations in Engineering Education International Conference April 09, 2020 в умовах пандемії проводилась в режимі відео конференції з використанням програмного засобу ZOOM.

Спільна доповідь викладачів НУ «Запорізька політехніка» та НСТ була присвячена стану, перспектив розвитку та застосування віддалених лабораторій в інженерній освіті. Такий формат конференції, який було погоджено з організацією IEEE і показав свою ефективність і корисність.

УДК 004.382

Mykhajlo Poliakov

PhD, professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

## **APPLICATION OF PERIPHERAL DEVICES SIMULATORS**

Laboratory courses for the study of microcontrollers (MK) until recently used available simulators that display only the status of the resources (registers, memory) of the MK. This causes difficulties when debugging interaction programs with the control object and the operator, which require simulation of electro mechanics and indication devices. Objective - to describe the experience of studying MK using integrated simulators of MK and peripheral devices.

In 2020, in the training laboratory courses on the use of microcontrollers in the departments of electrical and electronic devices and radio engineering and telecommunications, freely distributed simulators UnoArduSim and EdSim51DI were used. The screens of these simulators contain configuration elements of peripheral devices and dynamic circuits for their connection to the microcontroller. The Peripherals for EdSim51DI are ADC, Comparator, Four 7-segment LED Displays, LCD Module, UART, Keypad, LED Bank, Bi-directional Motor, Switch Bank, DAC (output displayed on oscilloscope). UnoArduSim I/O Devices are Serial Monitor, Software Serial, SD Disk Drive, Shift Register Slave, Configurable SPI Slave, Two-Wire I2C Slave, '1-Wire' Slave, One-Shot, Programmable 'I/O' Device, TFT Display, Digital Pulser, Analog Function Generator, Stepper Motor, DC Motor, Servo Motor, Piezo Speaker, Slide Resistor, Push Button, Coloured LED, 4-LED Row, 7-Segment LED Digit, Analog Slider, Pin Jumper.

The topics of the laboratory work were the study of the simulator interface, program structure, commands, procedures and functions of the programming language, the simplest techniques for configuring and controlling sensors, actuators, and indicating devices. The display of programming results in animation by the actuator on the simulator screens increases students' interest in the topic under study and stimulates independent experiments on programming microcontroller systems.

## **ЗАСТОСУВАННЯ 3D ДРУКУ ДЛЯ ПРОТОТИПУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ**

Однією з найбільш розповсюджених технологій 3D друку є технологія пошарового накладання розплавленого пластику (FDM, Fused Deposition Modeling). До переваг використання FDM можна віднести відносну доступність 3D принтерів, що працюють за цією технологією, а також різноманітність матеріалів для друку. З точки зору вирішення задачі прототипування та виробництва деталей електротехнічних пристроїв вимоги до цих матеріалів аналогічні вимогам до електротехнічних пластмас. Необхідними є:

- забезпечення високих електроізоляційних властивостей;
- достатньо високі механічні властивості;
- висока стійкість до корозії та висока хімічна стійкість;
- низька гігроскопічність.

Широко використовуються для FDM друку ABS пластики та композиційні полімерні матеріали на їх основі (ABS+, ABS Flex, ABS PRO та інш.). Електрична міцність ABS пластику складає 12 – 15 МВ/м, діелектрична проникність  $\epsilon'$  при  $10^6$  Гц дорівнює 2,4 – 2,5, значення  $\tan \delta = 0,008 - 0,02$  (в порівнянні, електрична міцність полістиролу ПС 20 – 23 МВ/м,  $\epsilon' = 2,4 - 2,8$ ,  $\tan \delta = 0,0002 - 0,0009$ ), температура розм'якшення 90 - 105°C. Водопоглинання 1% за 24 години при 23°C [1]. Доцільним є застосування ABS пластиків для виготовлення конструкційних деталей електротехнічних пристроїв.

PLA (полілактид) інший популярний матеріал для друку, має низьку температуру розм'якшення 50°C, вологопоглинання становить 0,7% за 24 години при 23°C [2]. Це в купі з низькою механічною міцністю робить PLA непридатним для друку електротехнічних виробів, але не обмежує його застосування для вирішення задач швидкого прототипування окремих деталей та вузлів.

ABS та PLA відносяться до так званих стандартних (простих) пластиків. Крім них вітчизняні та зарубіжні виробники пропонують інженерні пластики, які відрізняються покращеними експлуатаційними властивостями.

Так ПЕТ (поліетилентерефталат) пластики мають електричну міцність 140 – 180 МВ/м, температуру розм'якшення 245 – 248°C та водопоглинання 0,3%. Високі механічні властивості досягаються шляхом кристалізації

виробів з ПЕТ після друку. Крім того, друк із застосуванням ПЕТ передбачає достатньо високу температуру екструдера 3D принтера в діапазоні 260 – 270°C.

Поліетерфторкетон або PEEK пластик характеризується високими електротехнічними, фізико-механічними та теплофізичними властивостями. Температура деформації PEEK складає 150°C а температура експлуатації виробів – 250°C. Електрична міцність 20 кВ/мм. Застосування PEEK пластиків обмежується їх високою вартістю та необхідністю забезпечення високої температури екструдера 3D принтера (близько 400°C).

Можна зробити наступні висновки.

1. Широкий вибір матеріалів дає можливість використовувати технологію FDM 3D друку для дрібносерійного виробництва конструкційних, а також прототипування електроізоляційних деталей і вузлів електротехнічних пристроїв.

2. Фізико-механічні, теплофізичні та електричні властивості пластиків для 3D друку можуть значно варіюватися в залежності від виробника та модифікації конкретного матеріалу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Натуральный АБС пластик для 3D принтера FDM [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://monofilament.com.ua/products/standartnye-materialy/abs/abs-plastic>.

2. PLA черный [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://monofilament.com.ua/products/standartnye-materialy/pla/pla-chnyj>.

УДК 621.515

Антонова М.В.

старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

## **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОМПРИМУВАННЯ**

Робота присвячена аналізу газоперекачуючих агрегатів (ГПА) як об'єктів технологій газотранспортної системи України для виявлення структури класу і відношень між його елементами. На основі цього була побудована об'єктна модель.

Проведено поглиблений аналіз з побудовою відповідних систем компримування. Найпоширенішим типом ГПА являються ГПА з газотурбінним двигуном та відцентровим нагнітачем, але авторами розглядається відцентровий нагнітач з електричним приводом, що відповідно обіймає всього 20 % систем компримування.

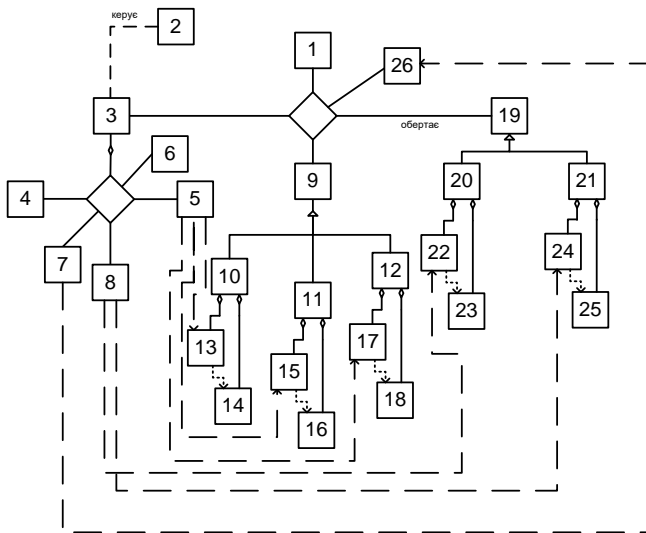


Рисунок 1 – Структурна схема існуючих ГПА

Розглянуто систему антипомпажного регулювання як одну з ключових систем захисту нагнітача і забезпечення безаварійного функціонування ГПА. Вказані основні принципи побудови таких систем з їх перевагами і недоліками. На основі цього запропонована методика оцінки можливість виконання ГПА з антипомпажним захистом (АПЗ).

Серед існуючих методик визначення моменту настання помпажу найбільш характерними є статичний і динамічний методи. В роботі більше детально розглянуто динамічний метод, що дозволяє враховувати миттєві діючі значення витрат через компресор та тиску в системі.

Статичний метод базується на статичному положенні лінії контролю помпажа, яка визначається з певною періодичністю, і визначає положення робочої точки нагнітача в координатах ступінь стиснення - витрата (напірна характеристика), або потужність - витрата. Тому системи, засновані на статичному методі регулювання, представляють собою не що інше, як регулятори продуктивності (витрати) нагнітача, що істотно звужують діапазон роботи нагнітача в стійкій зоні і приводять до перевитрати енергоресурсів.

Динамічний метод визначення моментів настання помпажних явищ заснований на аналізі змін в потоці газу через нагнітач. Помпаж – коливальний процес, який обумовлений зривом потоку газу на лопатках робочого колеса нагнітача. Як будь-який коливальний процес він має свої параметри і критерії оцінки. Для їх аналізу використовуються частотний,

спектральний і інші методи. Коливальні процеси в потоці газу несуть в собі інформацію про стійкість потоку і його турбулентність. При нормальних умовах роботи нагнітача розподіл параметрів газу близько до нормальному закону ("білий шум"). При зародженні зривних явищ на лопатках, турбулентність потоку газу зростає. Так як газ є середовищем, що стискається, то розповсюдження зривних явищ обмежується малим об'ємом (міжлопасним). У міру розповсюдження зривних явищ коливання (турбулентність) охоплюють об'єм між лопатками, достатній для їх виявлення і досягають конфузора нагнітача. Для аналізу змін стану системи достатньо параметра перепаду тиску газу на роторній компресорній машині.

В загальному робота представляє собою систематизований аналіз всіх існуючих систем компримування, з узагальненими даними про системи аналізу та керування ГПА.

До вище приведених недоліків можна додати те що не враховується теплопровідність систем стиснення та хімічні властивості стисненого газу, адже від цього залежить вибір систем компримування, пожежна безпека відповідного ГПА.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Юкин Г.А. Диагностирование энергоэффективности газотурбинных устано-вок компрессорных станций [Текст] / Г.А. Юкин // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2002. – №11-12. – С. 29 – 32.

2. Швеc В.С. Основы системного підходу: Навчальний посібник для вnz [Текст] / В.С. Швеc. – Суми:СумДУ, 2004. – 91 с.

3. Буч Г. Объектно-ориентированное программирование с примерами применения: Пер. с англ [Текст] / Г. Буч. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.

УДК 621.316.71

Животченко О.В.<sup>1</sup>, Коцур М.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-819м НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В УМОВАХ ТРИВАЛОГО РЕЖИМУ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ**

Розвиток безконтактних систем регулювання асинхронних двигунів привело до зниження капітальних витрат на продукцію і підвищення енергоефективності виробничих механізмів. Застосування існуючих систем регулювання дозволяє досягти плавності регулювання приводних двигунів,

підтримувати постійний момент в підсинхронному діапазоні частоти обертання ротора, зберігаючи на високому рівні коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності електроприводу. Однак, для таких систем електроприводу не досліджено питання про визначення оптимального значення частоти комутації силових ключів перетворювача, що забезпечує мінімальний рівень втрат в системі двигун-перетворювач.

В результаті проведеного дослідження розроблено підсистеми моделей асинхронного двигуна, перетворювача та системи керування та розрахункову модель втрат в елементах перетворювача. Створено імітаційну модель асинхронного приводу для комплексного дослідження електромагнітних та енергетичних процесів "двигун-перетворювач", яка дозволяє враховувати постійні та змінні втрати в асинхронному двигуні, втрати в напівпровідникових елементах перетворювача та енергії ковзання ротора, що інвертується у мережу, в залежності від частоти комутації напівпровідникових елементів перетворювача.

Проведено дослідження та запропоновано підхід щодо визначення оптимальної частоти комутації силових ключів перетворювача, який полягає в формуванні цільової функції залежності сумарних втрат в електроприводі від частоти комутації силових ключів перетворювача. Для АД потужністю  $P_n = 480$  кВт оптимальна частота комутації розрахована за допомогою аналітичного виразу становить  $f_k^{onm} = 0,626$  кГц, за допомогою імітаційного моделювання –  $f_k^{onm} = 0,621$  кГц. Таким чином похибка розрахунку не перевищує 3,5%.

Запропонований підхід визначення оптимальної частоти комутації силового ключа може бути застосовано при інженерному проектуванні, а також при налагоджувальних роботах перетворювачів в залежності від класу і способу роботи електроприводу.

УДК 621.316.71

Зацерковний Д.Р.<sup>1</sup>, Коцур М.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-419м "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В УМОВАХ ЗМІННОЇ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ МЕХАНІЗМУ

Реальний експлуатаційний режим асинхронного електроприводу істотно відрізняється від умовних стандартизованих повторно – короткочасних



режимів з тривалістю циклу 10 хв. (6 включень в годину). Висока частота включень чинить істотний вплив на тепловий стан і експлуатаційну надійність АД. При цьому, при заданій діаграмі навантажень найбільший вплив на тепловий стан надають тривалість включення (ПВ) і тривалість циклу ( $t_u$ ). Крім того, з одного боку, необхідно забезпечити повне використання двигуна по тепловим режимам, а з іншого захистити двигун від перевантаження. У зв'язку з цим, не досліджено питання щодо впливу тривалості циклу і тривалості включення на тепловий стан АД при роботі його на істотній та штучній характеристиці, що істотно впливає на експлуатаційну надійність керованого АД.

В результаті проведеного дослідження удосконалено динамічну теплову модель, у вигляді системи диференціальних рівнянь першого порядку, яка описує теплову схему заміщення з багатокомпонентними елементами конструкції асинхронного двигуна з фазним ротором, що враховує складну конфігурацію поверхні охолодження й змінні коефіцієнти тепловіддачі, різноманіття питомих теплових характеристик ізоляційних й активних матеріалів. Виконана оцінка теплового стану при тривалості циклу роботи асинхронного двигуна з фазним ротором. Доведено, що збільшення тривалості циклу і ковзання при роботі АД на істотній та штучній характеристиці в повторно-короткочасному режимі роботи S3 призводить до суттєвого зростання температури АД. Отримані залежності максимальної температури у АД від тривалості циклу і ковзання АД.

З метою підвищення експлуатаційної надійності і підтримки номінальної температури АД визначені коефіцієнти корекції струмового навантаження АД МТН – 411 – 6, що працює в повторно-короткочасному режимі S3 для стандартних ПВ в широкому діапазоні зміни тривалості циклу механізму.

УДК 621.316.71

Сіпко О.В.<sup>1</sup>, Коцур М.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-419м НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ**

На основі електромагнітного розрахунку може бути визначений цілий ряд електромагнітних і силових параметрів і процесів електричних машин. Для підвищення точності аналітичних розрахунків електромеханічних пристроїв доцільно доповнювати результатами моделювання

електромагнітних полів для елементів моделей, що дасть змогу враховувати різноманіття ефектів і явищ. Застосування такого підходу, дозволить поєднати переваги сучасних методів розрахунку, простоту і швидкодію методу, та високу їх точність.

В результаті проведеного дослідження розроблено підсистеми моделей асинхронного двигуна, перетворювача та системи керування та розрахункову модель втрат в елементах перетворювача. Створено імітаційну модель асинхронного приводу для комплексного дослідження електромагнітних та енергетичних процесів "двигун-перетворювач", яка дозволяє враховувати постійні та змінні втрати в асинхронному двигуні, втрати в напівпровідникових елементах перетворювача та енергії ковзання ротора, що інвертується у мережу, в залежності від частоти комутації напівпровідникових елементів перетворювача.

Проведено дослідження електромагнітного процесу в АД. Завдяки чисельній реалізації розподілу електромагнітного поля удосконалено підхід щодо визначення додаткових та поверхневих втрат в елементах розрахункової області АД, що дозволяє більш точно визначити механічну потужність АД як для стаціонарного та і від часозалежного розрахунку.

УДК 621.316.71

Хоменко Д.Б.<sup>1</sup>, Коцур М.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-419м НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В УМОВАХ ЧАСТИХ ПУСКІВ**

Під час експлуатації кранових асинхронних двигунів (АД) з фазним ротором зі значними періодичними короткочасними навантаженнями мають місце піки температури, які є небезпечними для ізоляції обмоток не керованого АД і можуть привести до її руйнування. Через велику інерційність системи приводів важких швидкохідних мостів, тепловий режим АД протягом декількох пусків може виявитися вище допустимого, навіть, якщо в середньому за тривалий період, частота пусків не перевищує допустимого значення. В даний час застосовується ряд сучасних систем регулювання АД, що забезпечують не тільки підвищення енергетичних показників, але і плавність перехідних процесів, за рахунок яких досягається зниження пікового (ударного) теплового впливу на активні елементи конструкції АД під час його пуску. На даний час недостатньо вивчене питання щодо визначення оптимальної швидкості зміни  $\gamma$  в процесі розгону

АД з класичною системою імпульсного регулювання, при якій величина ударної складової інтенсивності тепловиділення має найменше значення.

В результаті дослідження було розглянуто та створено імітаційну модель асинхронного приводу для комплексного дослідження електромагнітних і теплових процесів в АД, яка дозволяє в залежності від швидкості зміни щільності керуючого сигналу на силовий ключ визначити похідні максимальних значень температур в процесі пуску та розгону асинхронного двигуна.

Дослідження показало, що застосування імпульсного регулювання АД при імпульсному регулюванні дозволить знизити швидкість наростання температури обмотки статора до 12 разів у порівнянні зі швидкістю наростання температури при його прямому пуску.

Оптимальний тепловий режим для АД при імпульсному регулюванні в режимі пуску забезпечується при швидкості зміни цільності імпульсу, рівного 0,16 о.е /сек. При цьому тривалість розгону АД в 6 разів повинна перевищувати тривалість його розгону при прямому пуску.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для оптимального проектування систем регулювання, теплового захисту АД при імпульсному регулюванні, призначеного для важкого режиму роботи, де частота пусків досягає 3000 включень в годину.

УДК 621.3.048.1

Андриенко П.Д.<sup>1</sup>, Скрупская Л.С.<sup>2</sup>, Санников М.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор НУ "Запорожская политехника"

<sup>2</sup> старш. преп. НУ "Запорожская политехника"

<sup>3</sup> студ. гр. Эз-419м НУ "Запорожская политехника"

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА**

Локализация частичных разрядов в высоковольтных шунтирующих реакторах потребляет много ресурсов и ее точность невелика. В работе была предложена новая технология локализации частичных разрядов на основе компьютерного моделирования для улучшения локализации дефектов.

Актуальность настоящей работы состоит в повышении точности измерения частичного разряда путем учета его затухания при прохождении через устройство намотки. Последнее реализуется путем моделирования реактора обмотки и частичного разряда по многоэлементной схеме. Из-за большого количества стохастических эффектов, влияющих на формирование феномена разряда, невозможно создать чисто детерминированную модель

формирования разряда в изоляции. Тем не менее, в данной работе была рассмотрена модель дефектов. Модель шунтирующего реактора связана с моделью дефектов и изучен переходный процесс разрядного импульса. Это дает возможность понимания точного местоположения разряда в изоляции высоковольтного оборудования на основе измеренного сигнала.

Частичные разряды являются одними из ведущих методов диагностики и ценными инструментами выявления скрытых дефектов в изоляции трансформаторного оборудования высокого напряжения. Из-за влияния высокочастотных помех на месте и даже при лабораторных наблюдениях и измерение частичных разрядов является трудной и ресурсоемкой задачей, которая требует дорогостоящее оборудование и экспертные знания. Для определения текущего состояния изоляции требуется выполнять сложные задачи, для которой необходимо сделать замеры активной части. Чтобы уменьшить эксплуатацию и производственные затраты высоковольтных шунтирующих реакторов был предложен новый метод локализации дефектов, который основан на моделировании реактора обмотки, изоляции системы, схемы измерения частичного разряда в изоляции. Метод позволяет определить точное место расположения дефекта в общем изоляции шунтирующего реактора.

Для применения предложенного решения требуются расчетные параметры реакторной активной части. Разработанная компьютерная программа вычисляет параметры эквивалентной схемы импульсной передачи разряда и выполняет моделирование импульсного переходного процесса в обмотке. Результаты представлены в качестве измеренного напряжения при помощи осциллограммы, которая может использоваться, чтобы сформировать уникальный односторонний амплитудный спектр для определенного шунтирующего реактора и расположения дефекта. Сформированные характеристики применены к исследованию реальных аппаратных осциллограмм для заключения о состоянии его изоляции.

Предложенный метод протестирован на экземпляре шунтирующего реактора 12 МВАр, 110 кВ. Осциллограммы частичных разрядов показывают постоянную задержку времени приблизительно на  $0.5 \mu\text{s}$  с момента инициирования частичных разрядов к моменту перепада напряжения в измерительном приборе. Это может быть объяснено ограниченностью волновой скорости распространения. У частичного импульса разряда есть резкая волна продолжительности почти  $0.06 - 0.08 \mu\text{s}$ , которая независима от времени. Таким образом, изученный частичный разряд в газовых порах с диаметром  $500 \mu\text{m}$  производит осциллирующий компонент со звуковым затуханием тока. Расчетный нулевой коэффициент пересечения и амплитудные спектры являются уникальными характеристиками для каждого аппарата.

Было обнаружено, что для выбранного реактора большая часть из измеряемых компонентов напряжения имеет частоту 150 кГц. С другой стороны, частотная характеристика выбранного анализатора частичных разрядов имеет полосу пропускания 1.1–13,4 МГц. Таким образом, было доказано, что рассматриваемый тип частичного разряда анализатора не может быть применен для рассматриваемого типа реактора.

Предложенный метод ограничен техническими характеристиками реактора. Осциллограммы частичных разрядов изучались для выбранного типа реактора. Точность локализации дефектов увеличивается на 5–10%.

УДК 621.314

Афанасьев О.І.<sup>1</sup>, Иващенко І.В.<sup>2</sup>, Соловйов В.М.<sup>2</sup>, Фурса С.В.<sup>2</sup>,  
Гончаренко Д.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-416 НУ "Запорізька політехніка"

<sup>3</sup> студ. гр. Е-426а НУ "Запорізька політехніка"

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ НА РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ОБЛАДНАННІ ВРП 330-750 КВ**

Підстанції та електричні мережі з класом номінальної напруги 750 кВ є базовими системо утворюючими елементами Єдиної Енергетичної системи України. Тому підвищення вимог до експлуатаційної надійності електричної частини цих елементів, наприклад ізоляційних конструкцій, є головною метою як виробників високовольтного обладнання, так і оперативних служб по експлуатації підстанцій. Аналіз обладнання розподільних пристроїв показав, що вагомим способом підтримання високого рівня експлуатаційної надійності ізоляційних конструкцій є удосконалення окремих конструктивних рішень як самої ізоляційної конструкції, так і системи екранування для вирівнювання розподілу напруги та напруженості поля уздовж ізоляції.

Підвищення вимог що до експлуатаційної надійності ізоляційних конструкцій, у свою чергу, створюють необхідність рішення задачі розрахунку та аналізу показників надійності в залежності від структури окремих її елементів. При цьому суттєвий вплив на результати, що будуть отримані мають як особливості структури так і особливостей фізичних процесів, що діють на окремі складові елементи. Як показує аналіз. Термін експлуатації ізоляційної конструкції будь-якого призначення визначається двома чинниками, це особливостями праці обладнання, що ця конструкція

підтримує, та режимом електричного навантаження самої ізоляційної конструкції. Якщо перший чинник достатньо стабільний у процесі експлуатації, то другий – суттєво залежить від умов експлуатації та конструктивних особливостей, наприклад системи екранування.

Одним з важливих способів покращення умов праці та підвищення експлуатаційних характеристик ізоляції в процесі експлуатації є полегшення умов праці ізоляції шляхом зниження електричного навантаження. Електрична міцність опорних ізоляційних конструкцій визначається характером електричного поля, сформованого на високовольному і заземленим кінцях високовольної конструкції [1, 3]. В умовах різко неоднорідного електричного поля ділянки ізоляційної конструкції, що наближені до електрода з високим потенціалом, несуть підвищене електричне навантаження. Це веде до того, що на них буде діяти підвищена напруженість поля, що сприяє достатньо швидкої руйнації ізоляційних матеріалів. Досягнути зниження напруженості поля поблизу високовольного електрода можливо встановленням відповідних екранів, або системи екранів [1 – 3]. Тому, від екранів суттєво залежить ефективність використання ізоляції та надійність її праці.

У сучасних системах примусового вирівнювання напруженості поля найбільш широке використання отримали тороїдальні екрани, які встановлюються поблизу електрода з високим потенціалом [1, 2, 4]. В умовах зверх високих напруг, наприклад у ВРП-750 кВ, де необхідно більш глибоке обмеження максимальної напруженості поля, використовують комбінації двох та більше тороїдів, які розташовані на різних рівнях по висоті відносно електрода з ВН [4].

У цьому зв'язку виникає необхідність проведення ряду досліджень по впливу структури окремих елементів системи екранування на розподіл напруженості уздовж ізоляційної конструкції. Для оцінки ефективності використання системи екранування розроблена методика та алгоритм оцінки розподілу напруженості уздовж опорної ізоляційної конструкції на прикладі ізоляційної колони. На основі даної методики розроблено програмне забезпечення SCR.OPT4, за допомогою якого проведено дослідження впливу конструктивних чинників та параметрів навантаження на ефективність вирівнювання напруженості поля за допомогою систем екранування з різними структурами (одиначні екрани, просторові екрани та екрани з різними потенціалами). На основі отриманих результатів сформульовані рекомендації по удосконаленню системи екранування з урахуванням окремих конструктивних рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Александров Г.Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.

2. Александров В.Н. Электрические аппараты высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев, В.В. Борисов и др. Под ред. Г.Н. Александрова. – СПбГТУ, 2000. – 503 с.

3 Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции [текст] / В.С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.

4 Александров Г.Н. Проектирование электрических аппаратов [текст] / Г.Н.Александров, В.В.Борисов, Г.С.Каплан и др. Под ред. Г.Н.Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 448 с.

УДК 621.314

Афанасьев О.І.<sup>1</sup>, Ворониця І.В.<sup>2</sup>, Ждан В.В.<sup>3</sup>, Юртаєв Д.С.<sup>3</sup>, Бубновець М.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-416 НУ "Запорізька політехніка"

<sup>3</sup> студ. гр. Е-427сп НУ "Запорізька політехніка"

<sup>4</sup> студ. гр. Е-816сп НУ "Запорізька політехніка"

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

При передачі електроенергії з шин живлячих підстанцій до споживачів частина електроенергії витрачається на нагрів провідників, створення електромагнітних полів та інші ефекти. Ці витрати мають назву втрати електроенергії. Величина цих втрат суттєво залежить від характеру навантаження та його зміни у межах часу, що розглядається, а також від якості електроенергії та засобів її забезпечення. Якість електроенергії характеризується показниками, які визначають міру відповідності напруги нормованим значенням при номінальних величинах таких головних показників, як частота мережі живлення, напруга та струм навантаження.

У загальному випадку проблема якості електроенергії складається у підтримці рівнів напруги та частоти мережі, що наближені до номінальних значень. В умовах енергоємних виробництв використовують цілий ряд електроспоживачів (прокатні стани, дугові сталеплавильні печі, випрямляючі пристрої, системи електролізу та ін.) з різко змінними навантаженнями, або нерівномірністю їх розподілу за фазами і наявністю струмів та напруг, форма яких суттєво відхиляється від синусоїдальної. Ці види споживачів ведуть до порушення якості електроенергії, головними

показниками якої є відхилення напруги, розкид змінення напруги, коефіцієнт несінусоїдальності кривої напруги, коефіцієнт зворотній послідовності напруг, відхилення частоти та ін.

Вплив низької якості електроенергії на роботу мереж та електрообладнання проявляється у підвищенні втрат електроенергії, скороченні термінів експлуатації обладнання, технологічних втратах, які виражаються у зниженні виробничих можливостей та погіршенні якості продукції, що виробляється.

Таким чином, найбільш ефективно зниження втрат потужності можливо досягнути шляхом регулювання напруги, яке, у свою чергу, залежить від величини втрат напруги у мережі, які визначаються її опором. У розподільчих мережах активний опір більше реактивного. Таким чином його регулювання найбільш ефективно здійснити зменшенням площі зрізу ліній електропередачі. У живлячих мережах навпаки – реактивний опір більше активного, тому втрати напруги у значній мірі визначаються реактивним опором ліній, який мало залежить від площі зрізу. Найбільш часто змінення реактивного опору використовують для регулювання напруги шляхом включення у лінію конденсаторних батарей за схемами прокольного або поперечного регулювання.

Активну потужність живлячих мереж не можливо використовувати для оперативного регулювання напруги, тому найбільш ефективним засобом залишається реактивна потужність. Для змінення реактивної потужності використовують різноманітні регулюючі пристрої, серед яких найбільш широке використання отримали пристрої наступних видів: батареї статичних конденсаторів, синхронні компенсатори, статичні джерела реактивної потужності та ін.

Для дослідження втрат потужності в електричних мережах розроблені алгоритми розрахунку необхідних параметрів та головних показників якості електроенергії з урахуванням конкретних особливостей мережі та специфіки споживачів енергії та схеми їх підключення. Для цього розроблена комп'ютерна модель для моделювання процесів протікання струмів та розподілу потужностей на прикладі схеми розподільчого пристрою для живлення індукційних печей плавильного виробництва. На основі цієї моделі розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє оцінити головні показники якості електроенергії та провести оптимізацію процесу регулювання та оцінку ефективності тих, чи інших його засобів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети [текст] / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.



2. Справочник электроэнергетика предприятий цветной металлургии [текст] / Под ред. Басалыгина М.Я., Копырина В.С. – Металлургия, 1991. – 384с.

УДК 621.314

Афанасьев О.И.<sup>1</sup>, Биков Б.В.<sup>2</sup>, Башликов В.В.<sup>3</sup>, Дряпак О.А.<sup>3</sup>, Волков В.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-427сп НУ "Запорізька політехніка"

<sup>3</sup> студ. гр. Е-416 НУ "Запорізька політехніка"

<sup>4</sup> студ. гр. Е-827сп НУ "Запорізька політехніка"

### **ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА КЛАСИ НАПРУГИ 10-35 кВ**

Ізоляційні конструкції (опорні та прохідні ізолятори) отримали найбільш широке використання в електричних мережах та трансформаторних підстанціях з класом номінальної напруги (10-35) кВ, як головні елементи комплектуючих електричних апаратів. В цих умовах підвищення вимог до експлуатаційної надійності цих елементів є дуже важливим та актуальним завданням при розробці та проектуванні електричних мереж.

У загальному випадку надійність ізоляційної конструкції це властивість виробу виконувати завдані функції, зберігаючи при цьому власні експлуатаційні показники та параметри у встановлених межах впродовж завданому проміжку часу експлуатації [1]. Як правило, ізоляційні конструкції відносяться до елементів, що не відновлюються у процесі експлуатації. В цих умовах для конкретної ізоляційної конструкції, наприклад прохідний або опорний ізолятор, опорна ізоляційна покривка вимірювального трансформатора та ін., надійність характеризується цілою низкою показників. Найбільш широко використовують такі показники, як напрацювання до відмови, строк служби, які, у свою чергу, залежать від якості матеріалу, товщі ізоляції, електричного, теплового, механічного навантаження та ін. Оскільки окремі з вище перелічених чинники в процесі експлуатації можуть змінюватися, точний вплив цих чинників на строк служби ізолятора визначити неможливо. Тому може бути зроблена тільки приблизна оцінка, що має тій або інший рівень ймовірності. В цих умовах в якості міри оцінки надійності зручно використовувати такі ймовірнісні характеристики, як ймовірність безвідмовної праці, інтенсивність відмов та густина ймовірності відмов [1]. Для зручності розрахунків всі ці показники надійності пов'язані між собою простими математичними співвідношеннями для обраного теоретичного закону розподілу випадкової величини, в якості якої для

розрахунків надійності ізоляційних конструкцій зручно використовувати напруження до відмови або напруги перекриття.

Як показують статистичні дані по експлуатації обладнання у розподільних пристроях високої напруги [2, 3], результати вимірювання розрядних напруг ізоляторів, які забруднені у природних умовах показують, що розкид цих напруг описується нормальним законом розподілу. У роботах [2, 4] підкреслюється, що у нормальному режимі експлуатації ізоляційні конструкції, наприклад опорно-ізоляційні покривки газонаповнених вимірювальних трансформаторів, працюють в умовах різко неоднорідних електричних полів. У цьому випадку величина коефіцієнта варіації в умовах використання нормального закону розподілу коливається в межах (0,03 – 0,06). Однак при оцінці кількості перекриттів як лінійної, так і апаратної ізоляції у нормальному експлуатаційному режимі доводиться оперувати достатньо малими ймовірностями перекриття, для яких ствердження о нормальному законі розподілу розрядних напруг експериментально підтвердити дуже важко. Тому можливо зробити висновок о усіченні зліва розподілу ймовірностей перекриття у нормальному експлуатаційному режимі. В цьому випадку для оцінки показників надійності в якості теоретичного можливо використовувати як зсичений нормальний, так і логарифмічно-нормальний закони розподілу [3, 4].

У випадку, що розглядається для підтвердження можливості використання логарифмічно-нормального закону розподілу виникає необхідність проведення ряду досліджень для визначення параметрів логарифмічно-нормального закону, який би відповідав нормальному розподілу. Аналіз законів розподілу, що досліджуються зручно проводити на основі зрівняння основних характеристик надійності [1], якими є густина розподілу відмов (напруг перекриття)  $f(U)$  та ймовірності безвідмовної праці  $P(U)$  за умовою рівнозначності двох перших моментів розподілів, тобто математичного очікування та дисперсії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике [текст] / Ю.Б. Гук. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208с.
- 2 Александров Г.Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208с.
3. Александров В.Н. Электрические аппараты высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев, В.В. Борисов и др. Под ред. Г.Н. Александрова. – СПбГТУ, 2000. – 503с.
- 3 Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции [текст] / В.С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392с.

4 Александров Г.Н. Проектирование электрических аппаратов [текст] / Г.Н. Александров, В.В. Борисов, Г.С.Каплан и др. Под ред. Г.Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 448с.

УДК 621.314

Афанасьев А.И.<sup>1</sup>, Быков Б.В.<sup>2</sup>, Башлыков В.В.<sup>3</sup>, Дряпак А.А.<sup>3</sup>, Волков В.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорожская политехника"

<sup>2</sup> студ. гр. Э-427сп НУ "Запорожская политехника"

<sup>3</sup> студ. гр. Э-416 НУ "Запорожская политехника"

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

Трансформаторной подстанцией называется подстанция с трансформаторами, преобразующая электроэнергию только по напряжению. Понижающие трансформаторные подстанции преобразуют напряжение питающей сети до более низкого уровня, при котором электроэнергию передают потребителям, подключенным к данной подстанции [1].

Любая трансформаторная подстанция состоит из нескольких распределительных устройств (РУ) разных стандартных ступеней напряжения, между которыми имеются трансформаторные или автотрансформаторные связи.

По назначению подстанции подразделяются на следующие типы [2]:

- потребительские, которые предназначены для электроснабжения потребителей, которые территориально примыкают к ним. Они характеризуются установкой, как правило, двухобмоточных трансформаторов;

- сетевые, которые предназначены для электроснабжения небольших территориальных районов. Наряду с транзитом относительно небольшой мощности на стороне высшего напряжения (ВН), они имеют на стороне низшего напряжения (НН) значительные местные, а на стороне среднего напряжения (СН) – районные нагрузки;

- системные, которые отличаются от потребительских и сетевых подстанций значительным отбором мощности и осуществлением управления перетоком мощности в энергосистеме по магистральным сетям ВН, а также в сеть СН.

По способу присоединения к сети подстанции подразделяются на следующие виды:

- тупиковые подстанции, получают питание по одной или двум тупиковым воздушным линиям электропередачи;

- ответвительные подстанции, присоединяются ответвлением к одной или двум проходящим воздушным линиям с односторонним или двухсторонним питанием;

- проходные подстанции, которые включают в расщелку одной или двух проходящих воздушных линий с односторонним или двухсторонним питанием;

- узловые подстанции, которые кроме питающих линий электропередачи, имеют отходящие радиальные или транзитные воздушные линии.

По способу защиты силовых трансформаторов подстанции бывают:

- с предохранителями (только до напряжения 35 кВ);

- с короткозамыкателями и отделителями;

- с короткозамыкателями и выключателями нагрузки;

- с системами передачи телеотключающего импульса и резервирующего его короткозамыкателя с выключателями.

По типу устанавливаемой коммутационной аппаратуры на стороне ВН различают:

- подстанции без выключателей, которые в свою очередь подразделяют на три подгруппы:

- а) с выключателями нагрузки;

- б) с отделителями;

- в) с разъединителями, снабженными дистанционными приводами, включенными в цикл автоматики;

- подстанции с выключателями;

- комбинированные подстанции, на которых применяются выше перечисленные коммутационные аппараты в различных сочетаниях.

По способу управления подстанции могут быть следующих типов:

- телеуправляемые с телесигнализацией;

- только с телесигнализацией;

- с телесигнализацией и управлением с оперативного пункта управления (ОПУ). Они оперативно обслуживаются постоянными дежурными на щите управления, дежурными на дому, оперативно – выездными бригадами. Ремонт подстанций осуществляется специализированными выездными бригадами централизованного ремонта или местным персоналом подстанции.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ [текст] / Е.Ф. Макаров. – М.: Папирус Про, 2005. – 640 с.

2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети [текст] / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.

## **ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОРУ – 35 КВ**

Принципиальной особенностью существующей в настоящее время структуры энергоресурсов промышленных предприятий является то, что электроэнергия составляет более половины всех энергоресурсов, потребляемых отраслью. Дальнейшее развитие и совершенствование производства во многом определяется уровнем развития источников электрической энергии, существенно влияя в свою очередь на развитие электроэнергетики. Анализ данных по продолжительности эксплуатации основных видов действующего электрооборудования показывает, что значительная его часть (комплектные распределительные устройства, выключатели, разъединители, силовые и измерительные трансформаторы и др.) отработало большую часть своего ресурса. Поэтому процесс модернизации электрических цепей предусматривает следующие основные направления:

- реконструкцию и повышение надёжности систем внешнего электроснабжения;
- модернизация преобразовательных подстанций;
- замена и совершенствование устаревшего силового электрооборудования;
- разработка и внедрение средств улучшения качества электроэнергии;
- внедрение автоматизированных систем управления системами электроснабжения.

Снабжение предприятий электроэнергией должно быть особенно надёжным, так как большинство их относится к первой группе по условиям технологии, безопасности обслуживающего персонала, окружающей среды. Отключение электроснабжения такого предприятия ведёт к большому ущербу или недопустимым выбросам вредных газов.

Электроприёмники, которые питаются от модернизируемого распределительного устройства по действующим правилам устройства электроустановок [1] относительно обеспечения надёжности электроснабжения относятся к первой категории. Для неё перерыв электроснабжения может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб для хозяйственной деятельности, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции,

расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. В этой категории выделяют особую группу электроприёмников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров, повреждения дорогостоящего оборудования.

При реконструкции систем электроснабжения и отдельных электроустановок необходимо учитывать, что электроприёмники 1 категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприёмников 1 категории необходимо предусматривать дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника. В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприёмников и в качестве второго независимого источника питания для электроприёмников 1 категории, как правило, используются местные тепловые электростанции, электростанции энергосистемы, местные дизельные электростанции, а также аккумуляторные батареи.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст]. – М.: Атомиздат, 1978. – 96с.

УДК 621.314.21

Ozirskyi Volodymyr<sup>1</sup>, Ludmila Zhornyak<sup>2</sup>, Sobol Yuliya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> student of group E-426a NU «Zaporizhzhia polytechnic»

<sup>2</sup> PhD, assistant professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

<sup>3</sup> PhD in Philology, assistant professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

## **ANALYSIS OF EXTERNAL INSULATION OF OPTIC - FIBER 35 KV CURRENT TRANSFORMER**

Current transformers (CT) are designed for reducing alternating current to controlled level in proportion to the corresponding original values. They provide galvanic isolation of measuring devices, counters, relays, etc. from the high-voltage (HV) circuit. Principle of their operation is based on the electromagnetic induction law.

Digital (microprocessor) systems of relay protection, automation, automatic control, measurement and dispatching systems are modern trends in the world power industry, along with the existing traditional systems of relay protection, emergency control, measurement and metering at power plants and substations. And this situation leads to an increase in the load on CT and, as a result, to a deterioration in the accuracy class of CT.

Grechukhin V.N. [1] analyzed the economic conditions for the functioning of power energy enterprises and energy systems in his work "Electronic current and voltage transformers". According to this work, it is necessary to increase the accuracy of electricity monitoring signals. Digital metering systems can achieve it, but, the insufficient accuracy class of conventional CTs is a barrier on this path.

World leading companies' designers strive to develop CTs of a higher accuracy class (better than accuracy class 0,2S and 0,2) with greater load capacity. Satisfying these requirements will inevitably lead either to an increase in weight and size indicators (larger amount of electrotechnical steel, copper and other high-cost materials), which is undesirable under the conditions of current economy situation. The identified problems have led to more intensive use of insulation, and according to international normative documents, this question remains open and relevant.

On the modern stage of the HV technology development conventional transformers have reached the limit of their capabilities and can hardly meet new requirements and tendencies, such as digitalization, safeness, and compactness.

Search for an alternative technical solution measuring current and voltage of high voltage electric power plants started a long time ago both in our country and abroad.

These researches have become more relevant considering the intensive process of introducing microprocessors into control systems, measurement, relay protection, emergency control at substations.

Optic-Fiber Current Transformer (OFCT) is next generation transformers. In our country many transformers are approaching deadline of service life. Implementation of the modern technologies makes senseless replacing the old current transformers (CT) with the similar new ones, as they can be hardly paired with digital communication methods.

Aim of the work: Analysis of materials and shapes used in external insulation design, in terms of optimal protection of optical sensors from natural phenomena and breakdowns

Conclusion: The external insulation of OFCT 35kV is researched for 3 contamination types of insulation. The further research intention is to develop more economically effective optic current sensor. It is obvious, that the development of digital current transformers and their use together with microprocessor-based measurement devices at substations with the prospect of a transition to a "digital"

substation, where all information flows are circulated and processed in digital form is a promising area of research.

### LIST OF REFERENCES

1. Гречухин В.Н. Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110–750 КВ станций и подстанций энергосистем [Текст] / В.Н. Гречухин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2006. – №4. – С. 1-9.

УДК 681.2.08.

Anastasiia Fylymonenko<sup>1</sup>, Volodymyr Vasylevskyi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student of group E-426a NU «Zaporizhzhia polytechnic»

<sup>2</sup> PhD, senior lecturer NU «Zaporizhzhia polytechnic»

### OPTICAL CURRENT AND VOLTAGE SENSORS

At the current stage of development of the electric power industry, with the widespread usage of current transformers (CTs) and voltage transformers (VTs), the most actual is reliable measurement of current and voltage to ensure high reliability and safety of industrial systems and networks. These measurements take an important part of the substation's working and protective functions [1].

The unflagging interest in optic current and voltage sensors, over the years, is associated with the high potential capabilities of these devices and also significant operational advantages compared to traditional current and voltage measurement technologies. They provide a natural galvanic denouement of the high-voltage and measuring parts while reducing the overall dimensions, increasing the safety of their operation and decreasing the installation costs. Various types of current and voltage sensors are used for monitoring and diagnosing of circuits, launching of protection schemes, detecting failures of electrical equipment and emergency conditions of various types of loads [2].

Advantages of digital current and voltage sensors [3]:

- wide dynamic range of measurements (currents up to hundreds of kA, voltages up to hundreds of kV);
- the sensing element is naturally disconnected from the voltage line;
- high resistance of fiber optic information channels to external electromagnetic interference;
- extremely fast response time with high measurement accuracy;
- smaller overall dimensions compared to existing technologies;
- they do not explode in catastrophic destruction, unlike oil-filled electrical insulating supports.



In addition, they are inherently non-magnetic saturated and, as a rule, have a measurement bandwidth in the kHz range. Bands in the range of tens or hundreds of kHz are also possible. As a result, fiber-optic current transformers produce within their measurement range a true image of the primary current, including in the case of fast transient currents, short-circuit currents and alternating current with DC bias [1].

The operation of the optical current sensor is based on the Faraday's effect, which consists in changing the polarization of the light flux under the influence of a magnetic field. The specific implementation of sensors using this effect can be different and is patented by manufacturers.

The optical circuit of the current sensor contains an optical signal source. This signal is converted, with the help of a splitter, into two right- and left-polarized signals with opposite directions of rotation, which enter the optical loop made of turns (N) of optical fiber. The magnetic field created by the current (I) flowing through the wire, in accordance with the Faraday effect slows down one signal and accelerates another. Both signals reach the next circular polarizer, which converts them into linearly polarized light fluxes with polarized planes shifted by an angle, (1):

$$\Delta\varphi = 4V \cdot N \cdot I, \quad (1)$$

where V is the Verdet constant.

Verdet constant is a quantity characterizing the magnetic rotation of the plane of polarization in a substance. Its value depends on the properties of the substance, wavelength and monochromatic radiation [4].

The operation of the optical voltage sensor is based on the Pockels' effect, which consists in the appearance of birefringence in optical media when a direct or alternating electric field is applied, which is observed in crystalline piezoelectric, (2):

$$\Delta\varphi = \pi \cdot L \cdot K \cdot \frac{E}{\lambda}, \quad (2)$$

where E is the electric field strength; L is the plate thickness;  $\lambda$  is the wavelength; K is electro-optical coefficients.

As follows from the proposed review, optical current and voltage sensors occupy a significant place in monitoring, controlling and management systems in the energy sector, as well as in other engineering branches. New generation sensors significantly increase production efficiency and give a good economic effect.

## LIST OF REFERENCES

1. Преимущества оптических датчиков тока и напряжения и трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kruso.su/main/4478-preimushhestva-opticheskikh-datchikov-toka-i-napryazheniya-i-transformatorov.html>
2. Клименко К. А. Сравнительный анализ современных датчиков тока [Текст] / К.А. Клименко // Молодой ученый. – 2011. – №8. Т.1. – С. 66-68.
3. Абраменкова И.В. Оптические датчики тока и напряжения [Текст] / И.В. Абраменкова, И.С. Корнеев, Ю.В. Троицкий // Компоненты и технологии. – 2010. – № 8. – С. 60-63.
4. Окоси Т., Окамато К., Оцу М. Волоконно-оптические датчики [Текст] / Т. Окоси, Окамато К., Оцу М. – Л.: Энергоатомиздат. – 1990. – 256 с.

УДК 621.3.048.2

Dmytro Honcharenko<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student of group E-426a, NU «Zaporizhzhia polytechnic»

<sup>2</sup> PhD (Philology), assistant professor, NU «Zaporizhzhia polytechnic»

## SULFUR HEXAFLUORIDE GAS BENEFITS IN RELATION TO OIL AND CELLULOSE INSULATION IN VOLTAGE TRANSFORMERS

Insulation is used in most areas of voltage transformers designing, beginning from transformer winding insulation and ending with sulfurhexafluoride(SF<sub>6</sub>) gas, transformer oil, and cellulose insulation for dry transformers.

The insulation that separates the current-carrying parts from each other and from the grounded parts in power transformers is performed in the form of structures made of solid and liquid dielectrics [3].

In SF<sub>6</sub> gas voltage transformers, sulfur hexafluoride is used as insulation and refrigerant, which makes it possible to abandon the fire extinguishing system since sulfur hexafluoride is not combustible, and it also removes the need for oil collectors and gutters around the transformer [1].

In case of internal malfunctions, the pressure in the tank is very small in comparison to the strength characteristics of the tank, which ensures that the tank does not explode and the equipment around it does not suffer [1].

Since neither an expansion tank, nor a pressure relief device, which are important components of an oil transformer, are needed, it becomes possible to significantly reduce the height of the substation [1].

A significant decline in the cost of substation building or a room for a transformer is achieved by increasing the compactness of the transformer [1].

It is also worth noting that, unlike oil-insulated transformers, the total cost of the transformer decreases with a decrease in size and the absence of an expansion tank and an oil pan, as well as additional costs for building the premises.

The main and indisputable advantage of dry type transformers with cellulose insulation is an operational safety [2].

In areas with increased safety requirements (educational, medical institutions, park recreation areas, etc.), the use of dry transformers is more than justified [2].

Since dry type transformers meet all fire safety requirements, they can be installed directly in production rooms or in a special room near a residential building.

Due to the design features, namely the absence of flammable liquids in the design, unlike oil, dry transformers have a significantly lower probability of catching on fire during a short circuit or from any external mechanical impact, but are still inferior to SF<sub>6</sub> gas transformers in terms of fire safety [2].

In conclusion we can briefly highlight the advantages of sulfur hexafluoride over other types of insulation, namely fire safety, explosion safety, compact design of the transformers, lack of need for additional pressure and oil control units.

## LIST OF REFERENCES

1. Трансформатор с элегазовой изоляцией [Электронный ресурс]. – М.:Toshibacorp., 2012 – Режим доступа: [https://www.tosma.ru/docs/git\\_catalog\\_rus.pdf](https://www.tosma.ru/docs/git_catalog_rus.pdf)
2. Трансформатор: сухой или масляный? [Электронный ресурс]. – М.:Укрэлектросервис, 2015 – Режим доступа: [http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article\\_032](http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article_032)
3. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов [Текст] / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

УДК 621.314.04

Serhii Yatsura<sup>1</sup>, Volodymyr Vasylevskyi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student of group E-426a, NU «Zaporizhzhia polytechnic»

<sup>2</sup> PhD, senior lecturer NU «Zaporizhzhia polytechnic»

## BENEFITS OF FIBER OPTIC CURRENT TRANSFORMER

**Introduction.** At the present stage of the development of high-voltage technology, classical methods of measurement based on the electromagnetic principles have reached the limit of their capabilities and cannot satisfy new requirements. They have arisen due to technological revolution of the last several decades. As noted in their work Zubia, Casado, Aldabaldetrek and others,

“Unimaginable technological advances in the area of information and communications technology (ICT), the electrical sector had turned into an anachronism using the technology of last century”. Therefore, modern development of electrical complexes and systems require the introduction of the latest designs of instruments and equipment. As a result, the so-called optical-electronic (OE) measurement methods make it possible to realize the requirements of consumers. They are based on the use of optical communication between the primary and secondary transducers of the measuring system. Such methods use a completely different, more promising approach, based on the use of the magneto-optical Faraday's effect. Most often, this effect realized in fiber optic current transformers (FOCT) used in combination with modern digital signal processing and data transmission technologies.

Currently, the development of the FOCT is produced by leading companies around the world. Such transformers are considered to be the next generation of transformers, because they eliminate defects of the analog transformers and meet all the necessary requirements.

**Faraday's effect.** Nowadays FOCT use the magneto-optical Faraday's effect, which is a fundamentally different promising approach.

Khairullin, Giniyatullin and Pashali, speaking of the magneto-optical effect, write that “In 1845, Faraday discovered a phenomenon that became one of the main steps in the development of optical current converters — the phenomenon of rotation of the plane of polarization of linearly polarized light in a constant magnetic field”, as in Figure 1.

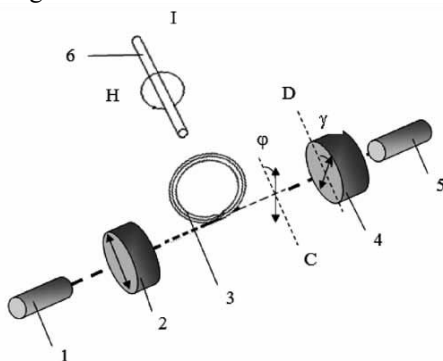


Figure 1 – Schematic diagram of the Faraday's effect

1 – laser diode; 2 – polarizer; 3 – Faraday's element (twisted optical fiber);  
4 – analyzer; 5 – photodiode; 6 – electric current conductor

**Benefits of FOCT.** In comparison with conventional transformers, optical fiber ones are compact and lightweight, also they are easy to install. Another

advantage is flexibility of transformer. This is possible thanks to its insulation. Insulation is an essential element of electrical apparatuses and has a significant impact on both its design and operational reliability. Also they are fire and explosion proof. At the same time the sensor element is naturally decoupled from the voltage line. And there is minimal electrical interference on the signal line.

**Conclusion.** Based on these benefits it is safe to say that FOCT is the transformer which will be used all around the world because they eliminate defects of the analog transformers and meet all the necessary requirements.

УДК 621.315.1

Антонова М.В.<sup>1</sup>, Лапшинов Є.Д.<sup>2</sup>, Максименко В.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-417 НУ "Запорізька політехніка"

## ЗАХИСТ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Традиційно захист ліній електропередачі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою заземлених тросів. Однак, в районах із забрудненою атмосферою грозозахисний трос схильний до корозії, що призводить до погіршення його механічної міцності, обриву і подальшому розвитку технологічного порушення. Нерідко обрив тросів відбувається при ожеледно-вітрових навантаженнях, в тому числі на великих переходах через природні перешкоди і інженерні споруди, а також у важкодоступних районах.

Розрядники застосовуються з тією метою, щоб забезпечувати результативну захист високовольтних ліній електропередач 3-хфазного змінного струму від індуктивних перенапруг, часто зароджуються під час гроз, а також тих досить важких наслідків, якими вони загрожують. Такі новітні апарати можуть встановлюватися як на неізольованих, так і на ізольованих проводах, в температурному діапазоні від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , а час їх використання становить не менше 30 років. Їх широко використовують на високовольтних лініях електропередач в самих різних куточках нашої країни.

Для підвищення ефективності гасіння супроводжуючого струму пропонується багаторазове (в 4-20 разів) збільшення довжини елементарного проміжку (в одній розрядній камері) в порівнянні з МКС. Низьке розрядна напруга МКС нового типу може бути забезпечено завдяки двом ефектів:

1) змінного розряду

2) каскадності спрацьовування камер в ланцюжку МКС (Рис.1).

Відома слабка залежність розрядної напруги ковзаючого розряду від відстані між електродами, тобто досить велику відстань може бути перекрито при відносно невеликій напрузі. Каскадність створюється за рахунок впливу додаткового електрода, що встановлюється уздовж всієї МКС (Рис. 1). Цей електрод з'єднаний з останнім електродом останньої камери і ізольований від всіх інших електродів.

На рисунку 1 показаний варіант виконання МКС з електродами у вигляді відрізків трубки з нержавіючої сталі і додатковим електродом у вигляді кабелю, що проходить всередині цих електродів, причому довжина розрядного проміжку додатково збільшена за рахунок діагонального (косого) розташування розрядної щілини. Завдяки такій конструкції забезпечується більша компактність МКС, а крім того в цьому випадку ємність електродів на додатковий електрод (кабель) С0 значно більше, ніж ємність між електродами однієї газорозрядної камери С1, що призводить до ще більшої, ніж в інших варіантах МКС, нерівномірності розподілу напруги по камерах, і, відповідно, до низьких розрядних напруг.

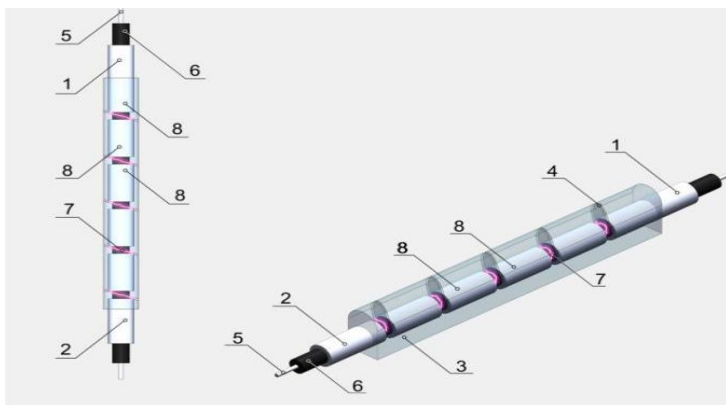


Рисунок 1 – Ескіз МКС з додатковим електродом (кабелем), що проходить через трубчасті основні електроди, і косими розрядними щілинами: 1 – високовольтний електрод; 2 – низьковольтний електрод; 3 – тіло МКС із силіконової гуми; 4 – розрядна щілину; 5 – додатковий електрод (жила кабелю); 6 – ізоляція кабелю; 7 – канал розряду; 8 – електроди камер

За результатами проведених досліджень, із запропонованих варіантів, самим ерозійно-стійким виявився вольфрам. Слідом ідуть залізо, сплав  $\text{Cu} + \text{Ni} + \text{Fe}$ , і мідь.

Розроблено мультикамерного системи, що забезпечують гасіння дуги імпульсу грозового перенапруження без супроводжуючого струму мережі,

що дозволить застосовувати розрядники на їх основі в мережах з великими струмами короткого замикання (близько 30кА). За розрахували і побудували графіки струмів і перенапруг в камерах. Змодельовано принципову електричну схему для випробувань в середовищі Simulink.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розрядники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://leg.co.ua/info/podstancii/razryadniki.html>
2. Продукция компании [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sicame.ua/>
3. Стаття випробування розрядників [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pue8.ru/elektricheskie-seti/278-ispytaniya-razryadnikov.html>

УДК 621.771

Антонова М.В.<sup>1</sup>, Маслов Д.П.<sup>2</sup>, Попов Є.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-417 НУ "Запорізька політехніка"

## ГОЛОВНИЙ ПРИВОД СТАНУ ГОРЯЧОЇ ПРОКАТКИ

Основне завдання прокатного виробництва полягає в забезпеченні необхідної якості прокату, тобто в забезпеченні відповідності геометричних розмірів, форми, фізико-механічних властивостей і стану поверхні прокату заданим вимогам.

Прокатка металу є основною технологічною операцією процесу виробництва прокату. Решта технологічні операції забезпечують можливість здійснення прокатки та отримання необхідної якості прокату. Устаткування прокатного стану підрозділяється на основне і допоміжне. Основне обладнання забезпечує власне прокатку металу і складається з однієї або декількох робочих клітей, в яких розміщуються прокатні валки, а також приводів обертання прокатних валків. Допоміжне обладнання стана включає агрегати, пристрої та системи, призначені для переміщення прокатуваного металу, його розмотування і змотування в бунти або рулони, підігріву та охолодження, різання та виконання інших допоміжних операцій.

Функціональна схема системи представлена на рис. 1. До її складу входить приводний двигун ПД, в якості якого може бути використаний некерований двигун постійного або змінного струму. Приводним двигуном приводиться в обертання якір керованого електромеханічного перетворювача - генератора або електромашинного підсилювача Г. Безпосередньо до якірної обмотки генератора підключається якірна обмотка виконавчого двигуна Д.

Шляхом зміни вбрана  $U_y$  на керуючій обмотці збудження генератора ОУ ми можемо регулювати потік збудження, отже, і напруга на виході генератора, тобто напруга на обмотці якоря двигуна, і таким чином керувати ним.

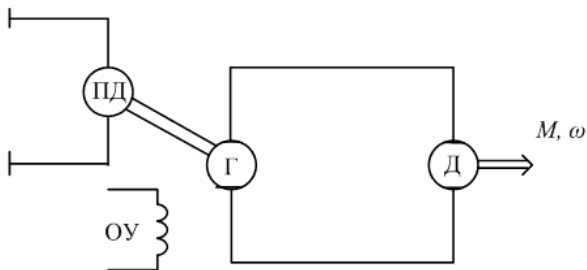


Рисунок 1 – Функціональна схема системи генератор – приводний двигун

Для того щоб отримати електромеханічні характеристики приводу необхідної форми в системі Г-Д (Рис. 2) використовують зворотні зв'язки по різних координатах. У даному розділі ми розглянемо статичні властивості систем з жорсткою зворотним зв'язком по одній з координат.

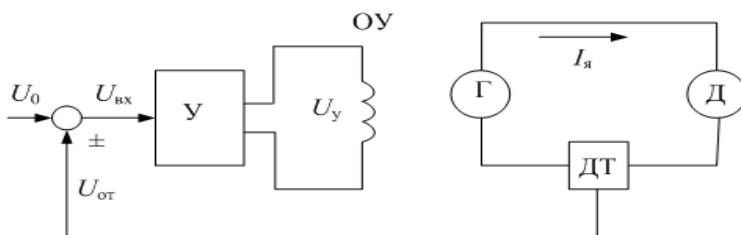


Рисунок 2 – Функціональна схема системи Г-Д зі зворотнім зв'язком за струмом

Результати проведених розрахунків і побудова по перевірці потужності двигуна МШС 11500-63 дозволяють зробити наступні висновки:

По нагріванню двигун задовольняє умові прокатки найбільш енергоємного злитка.

В усьому діапазоні швидкостей двигун випробує навантаження по моменту і струму нижче припустимих, тому що в найбільш важкому випадку (дев'ятий пропуск) перевантаження по моменту складає 2 від номінального при припустимому робочому перевантаженні 2.2.



Прокатний двигун МШС 11500-63, 11000 кВт, 900В, 63/90 об/хв має достатній запас потужності, що дозволяє говорити про підвищення його роботи. При цьому варто мати на увазі, що заданий графік прокатки складений з умови забезпечення максимальної продуктивності 400 т/година. Резерву потужності двигуна цілком достатньо і для можливої модернізації механічного устаткування блюмінга.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Гурин Н.А. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. Дипломное проектирование [Текст] / Н.А.Гурин, Г.И.Янукович. – Учеб. пособие. – Мн.:Выш.шк.,1990. – 238с. – ISBN 5-339-00457-0.
2. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода [Текст] / Н.Ф. Ильинский. – Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Издательство МЭИ, 2003. – 224с. – ISBN 5-7046-0874-4.
3. Машиностроение. Энциклопедия [Текст] / ред. Совет: К.В. Фролов. – М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2 / Л.Б. Масандилов, 2012. – 520с. – ISBN 978-5-94275-585-0.
4. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами [Текст] / под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416с.

УДК 631.348.455

Антонова М.В.<sup>1</sup>, Мікулін Д.А.<sup>2</sup>, Маслов Д.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-417 НУ "Запорізька політехніка"

## **СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ЗРОШУВАННЯ СИСТЕМИ ТУМАНООУТВОРЕННЯ**

Системи туманоутворення (димки) все частіше застосовують в тепличному господарстві і в оранжереях. При їх правильному проектуванні, установці і експлуатації ці системи можуть робити істотний вплив на продуктивність теплиці.

Продуктивність теплиці залежить від багатьох чинників: температура, вологість, сонячне світло, якість повітряного середовища, концентрація вуглекислого газу, вміст вологи і стану ґрунту. Хоча системи для створення туману не можуть впливати на всі ці параметри, вони можуть надавати позитивний вплив на продуктивність за рахунок регулювання температури,

вологості і вмісту вологи в теплиці. Підтримуючи такі параметри на оптимальних рівнях, вони створюють найлуччі умови для вегетації рослин.

Системи туманоутворення істотно поліпшують умови праці та підвищують продуктивність в оранжереях, вносячи великий внесок у прискорення вегетації на різних етапах, проростання насіння, для виробництва органічної речовини або вирощування тканини клітин. Такі системи за рахунок об'ємного впливу оптимальні для рослин, що стелються, овочів, квітів або розсади дерев. Завдяки системам туманоутворення можливо забезпечити високу щільність посадки рослин без побоювання розвитку хвороб і однорідності врожаю. Система може виконувати все це, усуваючи "водяний стрес рослин", - один з найбільш істотних факторів, що визначають зростання всіх рослин.

Згідно з вимогами СНІП насосні станції всіх призначень повинні проектуватися, як правило, з управлінням без постійного обслуговуючого персоналу: автоматичним - в залежності від технологічних параметрів (рівня води в ємностях, тиску або витрати води в мережі); дистанційним (телемеханічним) - з пункту управління; місцевим - періодично приходять персоналом з передачею необхідних сигналів на пункт управління або на пункт з постійною присутністю обслуговуючого персоналу.

Управління регульованим електроприводом в основному слід здійснювати автоматично в залежності від тиску в диктують точках мережі, витрати води, яка подається в мережу, рівня води в резервуарах.

У НС слід передбачати вимірювання тиску в напірних водоводах і у кожного насосного агрегату, витрат води на напірних водоводах, а також контроль рівня води в дренажних прямках і вакуум-котлі, температури підшипників агрегатів (при необхідності), аварійного рівня затоплення (появи води в машинному залі на рівні фундаментів електроприводів). При потужності насосного агрегату 100 кВт і більше необхідно передбачати періодичне визначення ККД з похибкою не більше 3%.

У машзалі НС розміщено основне і допоміжне обладнання НС. Основне обладнання включає насос ЦН1, електропривод М1. До складу допоміжного обладнання входять: дренажні, пожежні, вакуум-насоси; засувки; вентилятори; обігрівачі та інше обладнання. Управління ним здійснюється за допомогою виконавчих механізмів ІМ1 – Імп.

Для отримання інформації про значення регульованих параметрів служать датчики Д1 – ДМ.

Сигнали управління і вимірювальні сигнали від обладнання НС збираються в шафі управління ШУ. Тут же відбувається їх об'єднання в одну загальну інформаційну лінію зв'язку, яка підключається до технологічного контролеру ТК.

Оскільки при стабілізації напору система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна

Для синтезу регуляторів системи управління буде використовуватися, так звана, лінеаризована модель АД. Структурну схему лінеаризованої моделі асинхронного двигуна можна представити у вигляді, моделі, наведеної на рис.1:

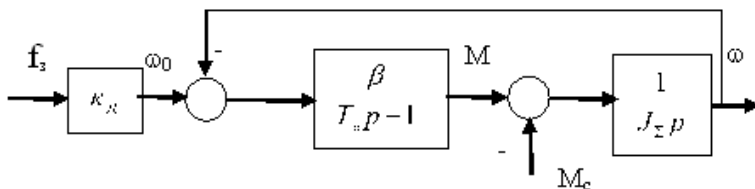


Рисунок 1 – Лінеаризована модель АД

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции [Текст] / П.В. Лобачев. – М.: Стройиздат, 1990. – 191 с.
2. СНиП 2.04.02-84: Насосные станции. Электрооборудование, технологический контроль, автоматизация и системы управления.
3. Попкович Г. С., Гордеев М. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / С.Г. Попкович, М.А. Гордеев. – М.: Высш. шк. 1986. – 392 с.
4. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках [Текст] / Б.С. Лезнев. – М.: ИК «Ягорба»-Биоинформсервис, 1998 – 360 с.

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД»

УДК 681.5

Казурова А.Є.

канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

### ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КЕРОВАНОЇ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Технологічні процеси часто потребують знання моменту інерції об'єкта керування і навантаження на нього. Відомі методи ідентифікації не є рекурентними і не дають інформацію в реальному часі [1-4]. У роботі [1] отримані нерекурентні вирази моменту інерції, що використовують інформацію з датчика швидкості, які не можна використовувати в реальному часі. У публікації [2] в якості вимірювача використовується інкрементний (імпульсний) датчик прирощень кута повороту малої чутливості (low resolution incremental encoder), що створює проблеми обчислень прирощень кута повороту при малих швидкостях обертання ротора та оцінки швидкості. Загальний фільтр оцінки швидкості, навантаження й моменту інерції автори одержують у вигляді суми трьох окремих алгоритмів оцінок зазначених змінних, отриманих за умови відомості інших двох змінних. Більше того, алгоритм оцінки моменту інерції не є рекурентним. Такий алгоритм, по-перше, не надає інформацію в реальному часі, по-друге, доказ його збіжності відсутній. У роботі [3] застосований той самий прийом. Відмінність полягає в тому, що швидкість і навантаження оцінюються в одному фільтрі Калмана при відомому моменті інерції, а момент інерції в другому фільтрі при відомих швидкості й навантаження. Алгоритм має ті ж недоліки, що й алгоритм роботи [2]. У публікації [4] оцінка моменту інерції й навантаження здійснюється шляхом одержання системи рівнянь руху для різних моментів часу та знаходження із цієї системи невідомих параметрів. Алгоритм не є рекурентним й отримані результати не прив'язуються до реального часу. Доказ збіжності алгоритму відсутній.

В даній роботі було показано, що застосування спостережників (адаптивного та неадаптивного) дозволяє отримати оцінки параметрів (моменту інерції, навантаження і коефіцієнта в'язкого тертя) керованої механічної системи в реальному часі в процесі штатної роботи системи [5]. Для їх функціонування необхідно знати швидкість і керуючу дію. На відміну від відомих методів, отримані методи ідентифікації є рекурентними. Ідентифікація параметрів здійснюється тільки в ті моменти часу, коли виконуються доведені й сформульовані критерії відновлюваності. Результати моделювання показали, що

момент інерції оцінюється за час менший ніж 0,05 с з початку розгону. Після включення навантаження при невиконанні умови відновлюваності інформація про момент інерції спотворюється й миттєво відновлюється відразу після скидання навантаження. При виконанні умов відновлюваності ідентифікація всіх параметрів відбувається одночасно. Зі зменшенням навантаження час ідентифікації зменшується.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Vas, P. Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines / P. Vas // Oxford : Oxford University Press, 1993. – 360 pp.
2. Kim, N.-J. Very Low Speed Control of Induction Machine by Instantaneous Speed and Inertia Estimation / N.-J. Kim, D.-S. Hyun. // IECON'94. – 1994. – V. 1. – Pp. 605–610.
3. Shin, M.-H. Speed Sensorless Stator Flux-Oriented Control of Induction Machine in the Field Weakening Region / M.-H. Shin, D.-S. Hyun // IEEE Trans. On Power Electronics. – 2003. – V. 18, № 2. – Pp. 580–586.
4. Орловский, И. А. Идентификация момента инерции и момента сопротивления в электроприводе постоянного тока / И. А. Орловский // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2005. – № 1. – С. 140–144.
5. Казурова, А. Е. Оценка вектора состояния и параметров управляемой системы с помощью последовательных наблюдателей / А. Е. Казурова // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків : НТУ “ХПІ”. – 2017. – № 27 (1249). – С. 108–111.

УДК 621.7.044.4

Мельник О.В.<sup>1</sup>, Антонов М.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>асп. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup>канд. тех. наук НУ «Запорізька політехніка»

## ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНІ ПРИСТРОЇ ДРОБЛЕННЯ

Електрогідрравлічне дроблення є новим способом подрібнення різноманітних матеріалів, дозволяє отримувати задану ступінь подрібнення при визначеному гранулометричному складі продукту і має високу вибірковість дроблення. Електрогідрравлічні пристрої дроблення на відміну від механічних дробарок не мають рухомих частин, виготовляються зі звичайної конструкційної сталі, а їх корпус практично не зношується при роботі.

Робочим середовищем в електрогідрравлічних дробарках може служити будь-яка рідина (в основному технічна вода). Для обслуговування

електрогідравлічних дробарок не потрібно великої кількості висококваліфікованих робітників.

Метою дослідження цих пристроїв є автоматизація технологічного процесу електрогідравлічного дроблення.

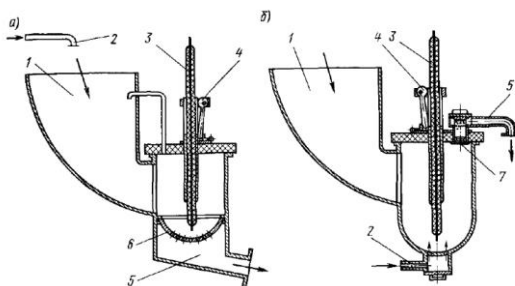


Рисунок 1 - Електрогідравлічні дробарки для дроблення твердих матеріалів на великі (а) та дрібні фракції (б), 1 - завантажувальний бункер, 2 - подача води, 3 - позитивний електрод, 4 – затиск для регулювання довжини робочого іскрового проміжку, 5 - вихід готового продукту, 6 - днище дробарки (негативний електрод), 7 - фільтр.

При роботі ці установки не утворюють пилу, займають порівняно невеликі виробничі площі і допускають поєднання в них процесів дроблення, змішування і флотації матеріалів.

Практична цінність дослідження являється в тому, що в електрогідравлічних дробарках можна дробити і подрібнювати практично будь-які матеріали: гірські породи, вугілля, крихкі метали, слюду, папір, цемент, зерно, торф, грубі корми, руйнувати мікроорганізми, виділяти алмази з кімберлітів, обробляти ґрунт.

УДК 681.5

Мелешко І.А.<sup>1</sup>, Назарова О.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> асп. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> доцент НУ «Запорізька політехніка»

## **ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ З ТРАНСПОРТНИМ ЗАПІЗНЮВАННЯМ**

При побудові систем автоматичного керування для процесів, яким властиве транспортне запізнювання, наприклад, пневмотранспортні системи

[1, 2], конвеєрні лінії, необхідно враховувати, що запізнювання стає одним з головних факторів, який визначає структуру системи керування, так як істотно впливає на стійкість і якість перехідних процесів у замкненій системі. Інтерес великої кількості дослідників зосереджено навколо проблем, пов'язаних з керуванням системами з транспортним запізнюванням. Про це свідчить великий спектр робіт, присвячених даній проблематиці. Слід зазначити, що транспортне запізнювання характерно для багатьох технологічних процесів, в тому числі, і для процесу переміщення сипких матеріалів.

Наявність транспортного (чистого) запізнювання в технологічному процесі призводить до того, що сигнал на виході об'єкта протягом деякого часу після застосування вхідного сигналу залишається незмінним. Але в реальних об'єктах керування, можливий і інший вид запізнювання, якщо об'єкт характеризується кількома близькими за значенням джерелами часу або є об'єктами з розподіленими параметрами, в цьому випадку об'єкт має ємнісне запізнення [3]. В даний момент велика увага приділяється адаптивним і оптимальним системам керування. Ці системи значно покращують якість керування об'єктом з запізненням, але вимагають трудомістких математичних обчислень і попередніх оцінок діючих збурень. Адаптивний регулятор задовільно працює при значних відхиленнях системи, однак не дозволяє зменшити час перехідних процесів при істотному запізнюванні, так як із збільшенням коефіцієнтів керування порушується стійкість системи [4]. Найбільш сильно запізнювання впливає на динаміку оптимальних релейних систем, до яких також відносяться оптимальні за швидкодією системи керування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Назарова, О. С. Дослідження явища транспортного запізнювання у пневмотранспортній системі сипких матеріалів / О. С. Назарова, В. І. Бондаренко, І. А. Мелешко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук : КрНУ, 2018. – Вип. 5/2018. – С. 27-29.

2. Nazarova, O.S. Experimental research and computer modeling of the obstruction occurrence in the pneumatic conveying systems peculiarities / O.S. Nazarova, I.A. Meleshko // Herald of Advanced Information Technology, 2020, Vol.3, No.1, pp. 428–439. DOI: 10.15276/haIt 01.2020.9

3. Системы автоматического управления с запаздыванием : учеб. пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 76 с.

4. Ульшин В. А. Адаптивное управление технологическими процессами: монография / В. А. Ульшин, Д. А. Зубов – Луганск: СНУ, 2002. – 210 с.

УДК 62-529:004.9

Брилистий В.В.<sup>1</sup>, Осадчий В.В.<sup>2</sup>, Назарова О.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> асп. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗГОНУ ЧОТИРИПРИВІДНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

Розробка перших електричних транспортних засобів (ЕТЗ) ознаменувала, для спеціальності автоматизація та електропривод, появу нового об'єкта керування - транспортний засіб (рис.1). Це означає, що якість системи автоматичного керування тяговим електроприводом в комплексі з уже існуючими системами безпеки і підвищення керованості ЕТЗ визначає: безпечний рух, витрати енергії в різних режимах їзди.

На основі математичного опису [1-2], а також джерел [3-4], розроблена комп'ютерна модель автоматизованої системи керування ЕТЗ, яка враховує: перерозподіл сил, що діють на ЕТЗ в динаміці, завдяки знанню положення центру мас; протибуксувальну підсистему, яка обмежує заданий момент гранично-допустимим, завдяки знанню коефіцієнта тертя з поверхнею. Всі параметри ЕТЗ аналогічні Tesla Model 3.

Результати моделювання показали здатність протибуксувальної підсистеми обмежувати крутний момент та тримати зчеплення з поверхнею при максимальному завданні. Час розгону від 0 до 100 км/год дорівнює 5 секундам, а максимальне отримане прискорення досягає  $6 \text{ м/с}^2$ .

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Хусаинов, А. Ш.. Х- Теория автомобиля. Конспект лекций / А.Ш. Хусаинов, В.В. Селифонов – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 121 с.

2. Осадчий, В.В. Структура системы управления 4-х приводной силовой установки для электрических транспортных средств / В.В. Осадчий, Е.С. Назарова, В.В. Брилистий //Проблемы региональной энергетики (специальный выпуск), 2019. – № 1-2(41) 2019. – С. 65-73. doi: 10.5281/zenodo.3239150

3. Назарова, О.С. Обґрунтування застосування чотирипривідної силової установки для електричних транспортних засобів / О.С. Назарова, В.В. Осадчий, В.В. Брилистий // 7-а міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління», 30 лист. 2018 р. : мат. конф. - Луцьк, 2019. - С. 126-131.



4. C. Montero et al., &quot;Modeling and torque control for a 4-wheel-drive electric vehicle,&quot; 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Seville, 2015, pp. 2650-2655. doi:1109/ICIT.2015.7125488

УДК 621.331

Васильєва Є.В.<sup>1</sup>, Жежера І.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> старш. викл. НУ «Запорізька Політехніка»

<sup>2</sup> асп. НУ «Запорізька Політехніка»

## FUTURE OF ELECTRIC MOBILITY

The electric vehicle (EV) quantity grows every day. Global sales of electric vehicles exceeded 2 million in 2018, up from just a few thousand in 2010 and industry analysts are forecasting an acceleration of this growth, (figure 1), with electric vehicles expected to account for 57% of all passenger vehicle sales by 2040 at which time 30% of the global passenger vehicle fleet will be electric vehicles (EV) [1].

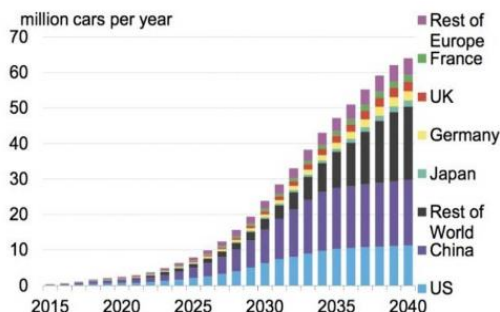


Figure 1 – Current level and forecast of EV sales.

This is the most innovative and prospective technology since the electricity found. What will the future of electric mobility be?

Probably, the most exciting technology is autonomous driving, well known as autopilot (figure 2).

What can be better than just driving to the place you want and enjoy cityscapes or landscapes, fields or skyscrapers, without switching your attention to driving? Besides, this technology is good for the people with special needs, perhaps, it is only one way for them to drive a car as a professional driver. EV can make it true. Tesla motors developing above-mentioned technology and currently it has a good performance.



Figure 2 – Tesla autopilot.

Next technology may change the world and our imagination of driving. It is wireless charging of EV. The inductive wireless charging of electric vehicles would provide ease and convenience of charging without the requirement of any charging cables. The technology uses two electromagnetically linked coils that exchange power at high frequency (figure 3) [2].

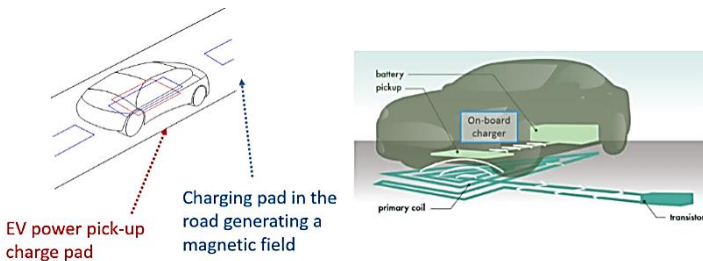


Figure 3 – Wireless charging of EV.

Due to this technology, the electric cars can wirelessly charge while driving. It's a technology that can dramatically reduce the cost of electric cars as they would need a smaller battery and move this cost to the charging infrastructure. Besides, it can provide an effect of so-called perpetual engine, driving “non-stop”.

With the increasing amount of EV connected to the grid, some measures need to be taken in order to balance demand and supply of energy. New technology called Vehicle-to-Grid is becoming more popular [3]. It uses energy management, so the battery of EV may be used not only for charging, but also for discharging when the EV doesn't need an energy, or operates from the solar energy in middays and / or accumulate the excess of energy, returning it into the grid at the evening during the intense consumption hours. In this case, the EV battery is an energy storage for other consumers.

The electric vehicles will change our ordinary life into something new in near future. New technologies seem like a very prospective, nevertheless, production and disposal of the batteries for electric vehicles brings new challenge – pollution

of environment. That's why battery manufacturers along with EB manufacturers should not forget to develop new production technologies with pollution reduction rather than focused on a fantastic one.

### LIST OF REFERENCES

1. Compelling Evolutions In Electric Vehicle Technologies, Insideevs [electronic journal]. – access: <https://insideevs.com/news/362674/global-ev-sales-in-june-2019/>
2. Electric Cars: Technology, Delft University of Technology [online course]. – access: <https://courses.edx.org/courses/course-v1:DelftX+eCARS2x+3T2019/course/>
3. What will the Future of Electric Mobility Be?, Newmotion [internet journal]. – access: <https://newmotion.com/en/what-will-the-future-of-electric-mobility-be/>

УДК 621.9.06-229.004

Калабуха Є.І.<sup>1</sup>, Крисан Ю.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

### ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МЕТАЛОРИЗАЛЬНИМИ ВЕРСТАТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАВАЧІВ ШВИДКОСТІ

Якість елементної бази автоматизованого електропривода (ЕП) в значній мірі визначається його показниками (точність, діапазон регулювання, динамічні та енергетичні показники). На сучасному етапі автоматизовані електроприводи характеризуються використанням силових напівпровідникових перетворювачів, високоточних датчиків, різних логічних та обчислювальних пристроїв, що виконуються на базі аналогових, цифрових мікросхем та мікроконтролерів.

Для якісної підготовки майбутніх спеціалістів з галузі автоматизованого електроприводу та для розширення знань про властивості й характеристики основних елементів, які є складовими частинами систем автоматизованого електроприводу, є доцільним створення сучасної лабораторної бази з використанням малогабаритних дрібномасштабних фізичних моделей промислового обладнання. Використання такого шляху дозволяє в деякій мірі зменшити матеріальні витрати на побудову лабораторного обладнання.

На рисунку1 наведена структурна схема стенда, де позначено: 1 – кнопка живлення стенда; 2 – клеми для зняття даних; 3 – корпус стенда; 4 –

регулятор швидкості двигуна постійного струму; 5 – тахогенератор – ДПМ-20-Н1-11; 6 – давач фотоелектричний – НОА0901; 7 – двигун постійного струму – ДПМ-20-Н1-11; 8 – аналогово-цифровий перетворювач; 9 – комп’ютер персональний.

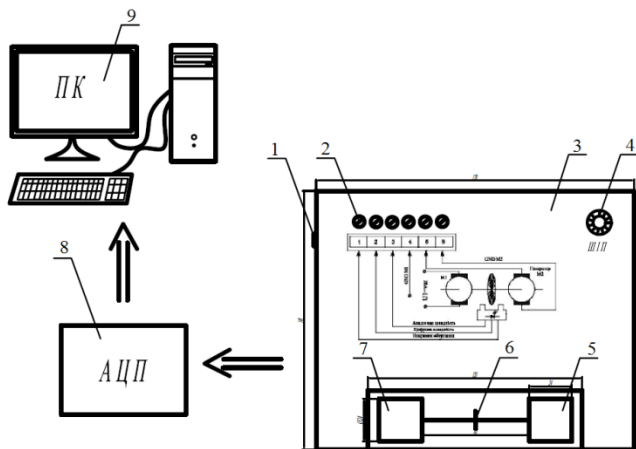


Рисунок 1 – Структурна схема лабораторного стенда.

Лабораторний стенд призначений для дослідження електромашинного та фотоелектричного давачів швидкості. Він складається із двох з'єднаних валами двигунів постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Один з ДПС (ДПМ-20 Н1-11), що живиться від широтно-імпульсного перетворювача, є досліджуваним, швидкість обертання його контролюється за допомогою електромашинного та фотоелектричного давача швидкості. Другий ДПС (ДПМ-20-Н1-11) вступає тахогенератором. Окрім цього на валу досліджуваного двигуна закріплений зубчастий диск, охоплений оптичною парою імпульсного давача швидкості. Імпульсний давач (НОА0901), що живиться від джерела постійного струму напругою +5 В, дозволяє контролювати напрямок обертання та формує імпульсний сигнал вимірювання швидкості. Перетворювач «Частота-напруга» формує аналоговий сигнал вимірювання швидкості, що пропорційний імпульсному сигналу.

Малогабаритний комп'ютеризований стенд відноситься до галузі навчальних демонстраційних приладів для проведення лабораторних робіт з дисциплін: «Основи електроприводу», «Комп'ютерні системи керування електроприводами», «Типовий електропривод», «Силова електроніка».

## ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

В даний час близько половини вироблюваної в світі електроенергії, в тому числі і в Україні, споживається асинхронними двигунами (АД). Приблизно 80% працюючих АД є нерегульованими. У той же час, більшість технологічних процесів вимагають регулювання швидкості. При регулюванні швидкості АД в багатьох технологічних процесах можна досягти економії електроенергії до (50 ... 60)%. Регулювання швидкості загальнопромислових АД можна забезпечити за рахунок використання сучасних методів керування, зокрема, векторного керування (ВК).

Основною проблемою створення сучасних електроприводів змінного струму є розробка високоефективних і простих в обчислювальному відношенні методів векторного керування. Особливо важливим є розширення діапазону регулювання швидкості асинхронних електродвигунів. Діапазон регулювання без датчика швидкості сучасних електроприводів складає 1:50, з датчиком швидкості - 1: 20000. Збільшення діапазону регулювання дозволить розширити сферу застосування цих дешевих і надійних електродвигунів.

Більшість технологічних процесів вимагає регулювання. Це регулювання при нерегульованому ЕП здійснюється шляхом керованої зміни в самому технологічному процесі. Зокрема, в насосах, компресорах, вентиляторах - шляхом відкриття і закриття заслінок. Показано [1-3], що шляхом відмови від регулювання заслінками і шляхом переходу до регулювання АД можна досягти економії електроенергії на (50 ... 68)% в порівнянні з нерегульованими АД. У зв'язку з такою кількістю експлуатованих АД, які вимагають регулювання, досить актуальних є питання підвищення економічності регульованих АД.

Для аналізу роботи і реалізації алгоритмів векторного керування електроприводом з асинхронним двигуном необхідно мати досить точну і швидко цифрову модель двигуна, що дозволяє її доповнити цифровими моделями необхідних регуляторів і перетворювачів частоти. Крім того, для створення більш дешевих систем керування бажано скоротити кількість датчиків при збереженні якості керування. Для якісного ВК необхідно мати інформацію про швидкість і вектор потокозчеплення ротора. Однак установка датчиків зазначених змінних в більшості випадків є важким і супроводжується зниженням надійності і зростанням вартості приводу. Тому

треба синтезувати алгоритми, які дозволяють оцінювати швидкість і вектор потокозчеплення ротора лише за вимірюваннями клемних струмів і напруг.

На працездатність ВК дуже сильно впливають відхилення опору статора і ротора від номінальних значень через зміни температури АД. Опори можуть змінюватися в 2-3 рази. Тому потрібна розробка алгоритмів ідентифікації опорів.

Для забезпечення робастності системи керування представляється ефективною розробка нових робастних алгоритмів керування швидкісним і струмовими контурами системи ВК.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. L. Zhang, F. Hardan. Vector Controlled VSI-Fed AC Drive Using a Predictive Space Vector Current Regulation Scheme // Proc. IECON'94. – 1994. – V. 1. – P. 61–66.
2. Sheng-Ming Yang and Chen-Haur Lee. A Current Control Technique for Voltage – Fed Induction Motor Drives // Proc. IECON'99. – 1999. – Report № 50.
3. Fernando Briz del Blanco, Michael W. Degner and Robert D. Lorenz // Dynamic Analysis of Current Regulators for AC Motors Using Complex Vectors // IEEE Trans. On Industry Applications. – 1999. – V. 35, № 6. – P. 1424–1432.

УДК 621.316.72

Кріль О.В.<sup>1</sup>, Крисан Ю.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

### **МАЛОГАБАРИТНИЙ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ СТЕНД ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Основними напрямками інженерної діяльності фахівців в області електроприводу є проектування, виготовлення та експлуатація систем керування, силових перетворювальних пристроїв, вимірювальних систем і т. д. Успішна конкуренція випускників технічних Вузів на ринку праці можлива лише при достатньо високому рівні теоретичної та інженерно-практичної підготовки. Оскільки вимоги, що висуваються роботодавцями до якості практичної підготовки фахівців безперервно посилюються, істотно зростає роль лабораторного практикуму в учбовому процесі.

Одним із шляхів створення сучасної лабораторної бази для підготовки студентів електротехнічних спеціальностей є розробка малогабаритних дрібномасштабних фізичних моделей промислового обладнання. Використання такого шляху дозволяє в деякій мірі зменшити матеріальні

витрати на побудову лабораторного обладнання. Розміщення малогабаритного лабораторного стенда на робочому столі дослідника дозволяє відмовитись від необхідності спеціалізованих приміщень із силовими мережами живлення. Також вирішується питання безпеки рухомих механічних частин при використанні мікродвигунів постійного та змінного струму.

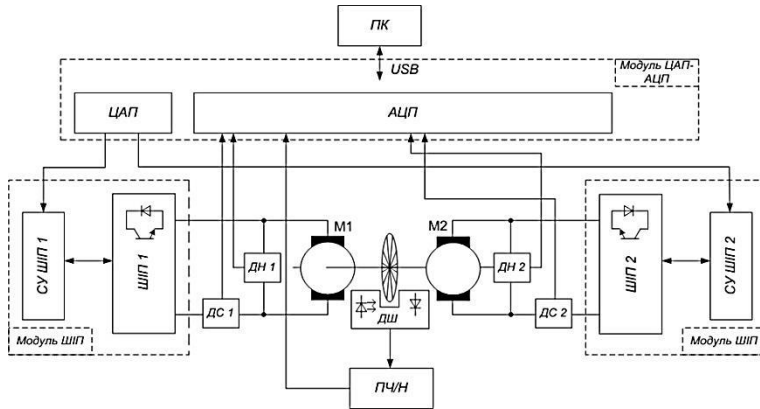


Рисунок 1 – Функціональна схема лабораторного комплексу.

Функціональна схема стенда, показана на рисунку 1, на якій прийняті позначення: М1, М2 – двигуни постійного струму незалежного збудження; ПЧ/Н – перетворювач частота/напруга; ДН1, ДН2 – датчики напруги; ДС1, ДС2 – датчики струму; ДШ – датчик швидкості; СУШП1, СУШП2 – системи керування широтно-імпульсними перетворювачами 1 та 2; ЦАП/АЦП – цифро аналоговий перетворювач; ПК – персональний комп'ютер.

У лабораторному стенді використані електродвигуни серії СД-10В, що містять кільцевий постійний магніт із сплаву ЮНДК. Регулювання кутової частоти обертання мікродвигуна здійснюється зміною напруги якоря за допомогою реверсивного ШП. Зміна навантаження на валу випробовуваної машини здійснюється шляхом зміни напруги якоря машини навантаження, для чого використовується модуль ШП2. Датчики струму та датчики напруги передають отримані дані від двигунів на модуль ЦАП/АЦП, які потім передаються на ПК.

Стенд можливо використовувати для керування і контролю параметрів електроприводу, основними елементами якого є апаратна частина і персональний комп'ютер з програмним середовищем фірми National Instruments в навчальному процесі для проведення лабораторних робіт з

дисциплін: «Основи електроприводу», «Комп'ютерні системи керування електроприводами та сучасні системи керування».

УДК 621.365:625.365.3.036.7

Данчевський Є.В.<sup>1</sup>, Андріас І.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## СИНТЕЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ДУГОВИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПЕЧЕЙ

Надійне та якісне енергозабезпечення промислового і агропромислового комплексу України має вирішальне значення для подальшого розвитку низьковитратних в енергетичному відношенні технологій та енергообладнання. Для України це найбільш актуально, оскільки її економіка базується на важких і енергоємних галузях промисловості: виробництво сталі, енергетичне машинобудування, електрохімія, виробництво будівельних матеріалів, гірничо-рудне виробництво та ін. На сучасному етапі розвитку промислового потенціалу України превалюючими проблемами паливно-енергетичного комплексу є: дуже високий рівень енергоємності, значна залежність від імпорту газу, нафти, ядерного палива, низька ефективність використання енергії.

Питання оптимізації енерготехнологічного обладнання на основі інтегрального критерію енергозбереження відноситься до беззатратних заходів, так як їх реалізація входить у функціональні обов'язки експлуатаційного персоналу, і складають основний зміст реалізації енергетичної програми України.

У загальному випадку процеси плавлення металів дугових печей описуються узагальненим диференціальним рівнянням виду:

$$\Phi[Q_{Ei}^{(n)}, Q_{Ei}^{(n-1)}, \dots, Q_{Ei}, t, q_1 + \Delta q_1, q_2 + \Delta q_2, \dots, q_n + \Delta q_n] = 0, \quad (1)$$

де  $Q_{Ei}$  --енергетичні потоки, що вводяться в плавильний простір дугового печі: електроенергія, природний газ, вугілля дрібних фракцій, металізованої шихти, легуючих добавок, синтетичних шлаків, лігатур дефосфорації, деазотизації, десульфатації та ін.  $q_i$  - енергетична ефективність зазначених енергетичних процесів;  $\Delta q_i$  - параметри збільшення енергетичної ефективності, при цьому  $i \in \overline{(1, m)}$ .



Рішенням рівняння (1) буде рівняння виду

$$Q_{\mathcal{O}} = Q_{\mathcal{K}}(t, q_1 + \Delta q_1, q_2 + \Delta q_2, \dots, q_m + \Delta q_m),$$

тобто дане рівняння буде визначати ступінь впливу найбільш характерних енергетичних потоків до варіацій параметрів технологічного процесу електросталеплавлення.

В системі енергозабезпечення по каналах передачі електроенергії, газу в паливно-кисневі пальники та ін. енергетичних факторів, крім функціональної залежності між параметрами системи існує стохастичний зв'язок, що виявляється в тому, що один з параметрів реагує на збільшення іншого змінами свого закону визначення. Кількісним показником стохастичного зв'язку параметрів є параметри кореляційного зв'язку, що проявляється в тому, що приріст однієї з випадкових величин змінює математичне іншої величини. Щоб охарактеризувати кореляційний зв'язок між  $n$  випадковими величинами, досить задати  $n(n-1)$  коефіцієнтів кореляції між усіма можливими поєднаннями випадкових величин з їх числа  $n$  по дві. Взаємна кореляційна залежність випадкових величин вироджується в їх попарну залежність.

Отримані співвідношення дозволяють обчислювати значення значних відхилень параметрів за однотипними математичними операціями визначення коефіцієнтів впливу. Користуючись цим методом визначення параметрів є можливим не проводити дослідження системи на наявність або відсутність в ній функціонального зв'язку між її вихідними параметрами.

УДК 621.313.333

Алтарьов А.С.<sup>1</sup>, Крисан Ю.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВИКОРИСТАННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИХ ДВИГУНІВ В ПРЕЦИЗІЙНИХ СЛІДКУЮЧИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ**

Статичні і динамічні характеристики систем автоматичного керування, промислових робіт і навігаційних приладів визначаються якісними і кількісними показниками слідкуючих приводів, що використовуються в них. Підвищення точності і надійності роботи прецизійних слідкуючих систем забезпечується застосуванням у них безредукторних приводів, основу яких складають моментні двигуни. У якості моментних двигунів використовуються індукторні асинхронні двигуни, вентильні двигуни з

підвищеним коефіцієнтом електромагнітної редукції і вентильно-індукторні двигуни (ВІД).

Існуючі конструктивні обмеження на традиційне компонування багатополюсних машин стимулювали пошук оригінальних конструкцій двигунів, що забезпечують необхідну величину коефіцієнта електромагнітної редукції. Найкращими показниками характеризуються комбіновані двигуни, в яких індукторний принцип поєднується з збудженням від постійних магнітів.

Розвиток технології виробництва стимулювали інтерес до простих в конструктивному виконанні, технологічним і надійним двигунів, до яких відносяться і вентильно-індукторні двигуни, іменовані в закордонній технічній літературі - Switched Reluctance Motor (SRM).

Сучасні досягнення в технології виробництва напівпровідникової елементної бази, поява доступних і дешевих силових польових транзисторів, мікросхем керування ними (драйверів), вбудованих мікроконтролерів змінили пріоритети при проектуванні електромеханічних систем. Програмна реалізація необхідних законів керування, компенсація технологічних похибок зубцевої зони, лінеаризація регульованих параметрів дозволяють істотно поліпшити природні характеристики вентильно-індукторних двигунів.

Використання в вентильно-індукторних двигунах зворотного зв'язку по положенню ротора принципово змінює їх характеристики, які відповідають характеристикам двигунів постійного струму з послідовним збудженням. Такі двигуни привертають увагу розробників систем автоматичного керування простою технологічною конструкцією, що дуже важливо в умовах дрібносерійного виробництва. Технологічність конструкції забезпечують проста конфігурація поперечного перерізу статора, безобмоточний зубчастий ротор, котушкові обмотки.

Конкурентоспроможність ВІД у порівнянні з традиційними двигунами досягається за рахунок вибору підвищених електромагнітних навантажень, а також специфічною конфігурацією зубцевої зони поперечного перерізу двигуна - індукція в зазорі може складати близько 2 Тл, щільність струму в обмотці статора в пусковому режимі більше 30 А/мм. Природний коефіцієнт електромагнітної редукції сприятливо впливає на характеристики ВІД. Прості схеми вентильних комутаторів, принципово не мають режиму короткого замикання джерела живлення, забезпечують подачу однополярних дискретних фазних напруг на обмотки двигуна. Мікропроцесорне формування струмів в фазах дозволяє отримати бажані характеристики приводу, побудованого на основі ВІД.

УДК 621.365: 625.365.3.036.7

Лозицький О.А.<sup>1</sup>, Андріяс І.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ВЕКТОРНО-МАТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЯТОРА ПОТУЖНОСТІ ДУГОВИХ МЕТАЛЛУРГІЙНИХ ПЕЧЕЙ**

Вирішення завдання створення енергозберігаючих технологій і технологічного обладнання на сучасному етапі розвитку теорії і практики сучасної металургії сприяє реалізації енергетичної програми, як найбільш важливого техніко-економічного комплексу ринкової економіки України. Рішення завдань підвищення ефективності на управлінському і технологічному рівнях ієрархії управління електрометалургійним комплексом (інтегрованого або міні-заводу) проводиться на основі комп'ютерних систем керування, що забезпечують гарантію оптимізації основних енерготехнологічних процесів плавлення металів і сплавів, що визначає введення в проблему розробки методів оптимізації, заснованих на теоретико-гравальному і багатокритеріальному підходах: застосування евристичних методів рішення задач комплексної оптимізації, розгляду максимуму економічного ефекту як функції, цілі та фактора економії часу в умовах енергетико-екологічних проблем, розробки «дерева цілей» багатокритеріальної оптимізації параметрів систем керування в умовах нечіткої інформації та ін., звідки виникає мета досліджень, що полягає в подоланні технічних і технологічних протиріч при створенні енергоефективних технологічних систем електросталеплавлення.

Дані протиріччя на системо - і схемотехнічних рівнях діяльності розробників: конструктивної динамічної функціональної композиції та декомпозиції; забезпечення компенсації систематичних, адитивних і мультимікативних помилок; застосування адаптації і зворотного зв'язку; введенні інформаційної, конструктивної та інших видів надмірності, функціональної і динамічної узгодженості людини і ЕОМ; застосування послідовних наближень, принципу дуальності, принципу багатокритеріальності, невизначеності, принципу взаємності та інваріантності, принципу нормалізації, мінімаксності і апроксимації байєсовськими і марковськими процесами, а також усереднення, рандомізації, асимптотичної лінеаризації, ідентифікації і принципів оптимального синтезу систем; в галузі теоретико-інформаційних принципів обробки інформації на базі розпаралелювання і мультиконвейєрних обчислювальних систем із застосуванням систематичних структур розпаралелювання, на основі чого і

проводиться рішення поставленої задачі розробки векторно-матричних алгоритмів у керування електросталеплавленням.

Загалом, система автоматичного керування електричним режимом, що містить два керування положення електрода, яка є компонентою алгоритму більш високого ієрархічного рівня, що описує рух електромеханічної підсистеми. У механіці твердого тіла найбільш оптимальним є метод переміщень [1], відповідно до якого необхідно визначати зусилля від одиничних невідомих впливів, враховувати вирізи, виробляти пружне зчленування елементів і ін. [2], при цьому потрібно інженерне рішення низки питань розрахунку сталевих конструкцій [3]. Найбільш оптимальним методом опису динаміки елементів електромеханічної системи регулювання потужності дугової печі є методи лінійної алгебри на основі матриць довільного розміру і структури [4,5].

Розглядається методика розробки алгоритмів математичного моделювання динаміки напружено-деформованого стану механічної системи регулятора потужності дугової печі, на основі методики [6], в якій використовується основна статично невизначена система з подальшим урахуванням вирізів [7].

При застосуванні зазначеного методу конструкцію розбивають на підконструкції [6,7] (суперелементи), межі яких в загальному випадку є довільними. Напружено-деформований стан кожного суперелемента (підконструкції) аналізується окремо в реченні, що вона закріплена на межі зі змішаними суперелементами, після чого з умови рівноваги визначаються дійсні переміщення граничних вузлів при їх одночасному звільненні від зв'язків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иоселевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин . – М.: Машиностроение, 1993.
2. Расчёт крановых конструкций методом конечных элементов / В.Г. Пискунов, И.М. Бузун, А.С. Городецкий и др. – М.: Машиностроение, 1991.
3. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клыков В.М. расчёт стальных конструкций . – Киев: Будівельник, 1984.
4. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1969.
5. Андреев Л.В., Дышко А.Л., Павленко И.Д. Динамика пластин и оболочек с сосредоточенными массами. – М.: Машиностроение, 1988.
6. Сухарев В.А., Мужевич Б.Н. Решение задач прикладной механики на микроЭВМ. – Киев: Выща школа, 1990.
7. Мандриков А.П. Примеры расчёта металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1991.

УДК 622.271.4: 621.316.34

Нагорний М.О.<sup>1</sup>, Крисан Ю.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ МЕХАНІЗМІВ КАР'ЄРНИХ ЕКСКАВАТОРІВ**

Одноківшові кар'єрні екскаватори-лопати є основною гірською машиною при виробництві навантажувально-розвантажувальних робіт на відкритих гірських розробках. Від безперебійної роботи екскаваторів істотно залежить ефективність роботи гірничого підприємства в цілому. Цим продиктовані досить жорсткі вимоги до продуктивності і експлуатаційної надійності кар'єрних екскаваторів.

Екскаватори, які зараз перебувають в експлуатації оснащені електроприводами головних механізмів за схемою силовий магнітний підсилювач - генератор - двигун (СМП-Г-Д) постійного струму - екскаватори найбільш масових серій ЕКГ-5А і ЕКГ-8И. На окремих екскаваторах серії ЕКГ-10 та ЕКГ-12,5 використані тиристорні збудники генераторів, тобто реалізована система ТЗ-Г-Д. На екскаваторах ЕКГ-20 використані електроприводи з тиристорними перетворювачами в якірних ланцюгах - схема ТП-Д.

Водночас сьогоденний рівень розвитку силової перетворювальної техніки дозволяє з успіхом застосовувати в екскаваторних електроприводах напівпровідникові перетворювачі на повністю керованих коמוтованих елементах типу силових транзисторних модулів (IGBT) і повністю керованих тиристорах (IGCT).

Високі динамічні та експлуатаційні характеристики екскаваторних електроприводів можуть бути забезпечені за рахунок розробки і використання нових алгоритмів керування, що реалізуються за допомогою сучасної мікроелектронної техніки.

У частині алгоритмічного забезпечення системи керування екскаваторними електроприводами вимагають вдосконалення та уніфікації алгоритмів керування.

Недоліки, притаманні існуючим системам електроприводів головних механізмів екскаваторів, умовно можна розділити на три групи:

I - Недоліки силової схеми електроприводів. У системі Г-Д це велика встановлена потужність електричних машин; знижений к.к.д.; висока інерційність ланцюгів збудження генераторів. В системі ТП-Д - низький коефіцієнт потужності через фазове керування тиристорами, прояв у

кар'єрних мережах вищих гармонійних складових струму, і, як наслідок, необхідність застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв.

II - Велика різноманітність систем керування, різні принципи формування екскаваторних характеристик не тільки у різних типів екскаваторів, але й у різних механізмів одного і того ж екскаватора і, навіть, у одного і того ж електроприводу при різних положеннях рукоятки командоконтролера. Використання морально застарілої елементної бази не дозволяє реалізувати сучасні принципи керування в екскаваторних приводах, що призводить до складнощів при експлуатації, наладці і обслуговуванні електроприводів.

III - Недоліки, пов'язані з необхідністю забезпечення безперервного контролю стану обладнання екскаватора в процесі експлуатації та діагностики технічного стану його окремих вузлів і систем.

Рівень систем контролю на існуючих екскаваторах обмежується установкою контрольно-вимірювальних приладів у кабіні, а засоби діагностики на них майже не передбачені. Система автоматизації повинна вирішувати в комплексі питання контролю стану окремих вузлів машини, сигналізації про перевантаження, обліку продуктивності, тривалості і кількості циклів екскавації, а також витрати електроенергії. Створення подібної комплексної системи керування, інформації та контролю можливо тільки на базі мікропроцесорної техніки. Всі перераховані недоліки існуючих систем електроприводу головних механізмів екскаваторів негативним чином позначаються на ефективності роботи не тільки електричного, але і механічного устаткування.

Можливі різні шляхи подолання перерахованих недоліків екскаваторних електроприводів. Модернізація електроприводів постійного струму, безумовно, не є радикальним шляхом. На сучасному етапі очевидною стає необхідність переходу до електроприводів змінного струму з частотним керуванням. В той же час досить тривалий період експлуатація екскаваторів з електроприводами постійного струму буде продовжуватися, особливо - екскаваторів з об'ємом ковша від  $5 \text{ м}^3$  до  $10 \text{ м}^3$ , так як вони, в основному, орієнтовані на невеликі кар'єри. На таких підприємствах економічно і організаційно важко забезпечити в короткий термін масове оновлення екскаваторного парку.

З урахуванням очевидних недоліків існуючої системи Г-Д основні напрямки вдосконалення екскаваторних електроприводів наступні:

1. Модернізація системи збудження генераторів на основі застосування статичних збудників генераторів і двигунів головних механізмів з використанням силових IGBT модулів.

2. Створення комплексної системи керування, інформації та контролю шляхом покладення функцій керування електроприводами головних

механізмів, оперативного контролю стану елементів і діагностики працездатності системи на мікропроцесорний керуючий пристрій.

УДК 621.313

Зіновкін В.В.<sup>1</sup>, Номерюк М.П.<sup>2</sup>, Беспалий М.К.<sup>3</sup>, Шевченко В.О.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> докт. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>4</sup> студ. гр. Е-317 НУ «Запорізька політехніка»

## **ПРИНЦИПОВІ ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ПОТОЧНОГО СТАНУ ПОТУЖНОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Терміни роботи потужного електротехнічного обладнання суттєво залежать від умов експлуатації і навантаження. Режими навантаження повинні задовольняти нормованим показникам якості електричної енергії та номінальним параметрам відповідно до вимог Державних стандартів та нормативно-технічної документації. На енергоємних промислових підприємствах такі вимоги доволі часто порушуються і, як наслідок, призводять до скорочення термінів надійності і аваріям. Це пояснюється формуванням низки релаксаційних процесів, які залежать від перегрівів, електродинамічних зусиль, перерозподілу фазних навантажень, наявності вищих гармонік та ін. Для упередження аварій необхідно контролювати поточний технічний стан електротехнічного обладнання. Для досягнення цієї мети запропоновано автоматизовану систему аналізу поточного стану, як окремих вузлів і елементів конструкції, так і обладнання в цілому.

В існуючих системах діагностики використовується переважно електронні прилади та системи, що дозволяють здійснювати постійний або періодичний контроль до виникнення аварії. В основу покладено інформацію про часткові розряди, хроматографічний аналіз та інших внутрішніх параметрів.

В запропонованій роботі пропонується здійснювати систему автоматизованого аналізу по накопиченню рівнів перевантаження, шуму і в спектрі октавних частот, часткових розрядів, парних і фазних опорів короткого замикання. Пророблено використання іншої інформаційної інформації, що свідчить про поточний стан обладнання. Система базується на сучасних мікропроцесорних та програмних засобах автоматизації, що дозволяє перетворювати визначальні параметри перевантаження по чотирьох рівнях в цифрову інформацію. Це дозволяє отримувати постійну інформацію,

як параметрів навантаження (зовнішніх), так і внутрішніх показників відносно початкових або нормованих. Отримана поточна інформація видається на пульт керування обслуговуючого та оперативного персоналу. При наявності суттєвих пошкоджень, що свідчать про вірогідність аварійного виходу із ладу, видається сигнал на примусове відключення обладнання від мережі живлення.

Доповідь ілюструється схемами, математичними моделями, відповідними дистанційними мікропроцесорними та програмними засобами автоматизації.

Працездатність запропонованого методологічного підходу перевірено на енергоємному промисловому підприємстві.

УДК 621.365.2

Денисенко К.О.<sup>1</sup>, Андріяс І.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ДИНАМІКА БАГАТОЗВ'ЯЗКОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ**

Електросталеплавильне виробництво є найбільш перспективним напрямком розвитку металургійної промисловості, а при виробництві конструкційних легованих, ряду підшипникових сталей, сплавів корозійностійких, жаростійких і жароміцних, сталей ресорно-пружинних, з високою магнітною проникністю, високим оптичним опором, сталей для котло - і суднобудування і ряду інших, у т. ч. для оборонної, ракетно-космічної техніки, авіабудування, атомної промисловості воно є основним виробництвом металів і сплавів високої чистоти, щільності і однорідності мікро- і макроструктури.

Показники виробництва електросталі у великотоннажних печах свідчать про те, що досягнутий високий рівень енерго- та ресурсозбереження, проводиться подальша оптимізація технологічних схем виробничого процесу при подальшому зниженні енергоспоживання.

Найбільш результативними заходами, спрямованими на енергозбереження є: а) удосконалення засобів керування горінням; мінімізація витоку теплоенергії; б) зниження питомої витрати енергетичних ресурсів за рахунок оптимізації процесів регулювання підігрівання і плавлення металошихти і шихтових матеріалів; в) виведення з експлуатації



застарілих малоефективних установок, агрегатів і енерготехнологічних комплексів.

Ключовий підхід до енергозбереження слід вважати максимальне поєднання операцій (наприклад, використання тепла відхідних газів та ін). Ця концепція прийнята на озброєння новими міні-заводами з дуговими печами і АКОС, тонкослябовими УНРС, печами для вирівнювання температури заготовок, обладнанням для прямої прокатки та ін.

За даними закордонних джерел, в т. ч. [1], значну частку становлять витрати на реалізацію алгоритмів керування технологічними процесами і виробництвом металопродукції.

Одним з таких найважливіших алгоритмів є алгоритми керування електричним режимом, який здійснює управління температурним режимом. Розглядається динаміка й оптимізація енергозбереження процесів управління температурним режимом низькотемпературної плазми електричної дуги потужних дугових сталеплавильних печей при взаємодії з енергетичними потоками ентальпії металошихти і газів, хімічної енергії екзо- та ендотермічних реакцій окислення, відновлення, шлакоутворення та ін [2]. Відповідно до [2] певне по Лапласа рівняння енергетичного балансу печі для повного циклу плавки металу має вигляд:

$$W_c(p) + W_{ш}(p) + W_x(p) + W_r(p) = W_m(p) + W_{зп}(p) + W_{тп}(p) \pm W_{акк}(p), \quad (1)$$

де операторні передавальні функції  $W_i(p)$  (ОПФ) мають такі позначення процесів перетворення енергетичних потоків:  $W_c(p)$  - електроенергії, споживаної піччю з електромережі;  $W_{ш}(p)$  - ентальпія металошихти і газів, що надходять до робочого простору печі;  $W_x(p)$  - хімічної енергії екзо- і ендотермічної реакцій окислення, відновлення і шлакоутворення;  $W_r(p)$  - теплової енергії, що вводиться в робочий простір печі за допомогою ТКГ;  $W_m(p)$  - ентальпії зливаемого рідкого металу і шлаку (корисна витрата);  $W_{зп}(p)$  - електричних втрат в електропічному агрегаті і вторинному струмопроводі (до робочого простору печі);  $W_{тп}(p)$  - теплових втрат з робочого простору печі;  $W_{акк}(p)$  - зміни ентальпії футерування (плюс - при охолодженні).

Обчислення виразів ОПФ рівняння (1) проводиться на підставі рівнянь теплопередачі [3,4], а параметри рівнянь теплопередачі обчислюються відповідно до довідкових даних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проблемы дальнейшего сокращения энергопотребления // Новости черной металлургии за рубежом, № 1/97. – с. 7 – 10.

2. Алабовский А. Н., Недужий И. А. Техническая термодинамика и теплопередача. – Киев: Вища школа, 1990. – 255 с.

3. Юдаев Б. Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1988. – 479 с.

4. Кулинченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – Киев: Техніка, 1990. – 165 с.

УДК 621.313

Зіновкін В.В.<sup>1</sup>, Губарьов В.П.<sup>2</sup>, Беспалий М.К.<sup>3</sup>, Пшеничний Д.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> докт. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З УРАХУВАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ**

При розробці двигунів різного технічного призначення виконуються певні електромагнітні, та електромеханічні параметри відповідно до конструкції та умов експлуатації. До них відносяться: оптимізаційні розрахунки; електромагнітні і теплові розрахунки, оцінка впливу технологічних розходжень та надійності; віброакустичні показники та ін. Такі розрахунки ускладнюються в наслідок часткової несиметрії конструкції, електромагнітних та електромеханічних процесів, великої кількості конструктивних і схемних рішень системи збудження бігучого електромагнітного поля. Слід відзначити, що вирішення мети для однофазного асинхронного двигуна ускладнюється суттєвим впливом додаткових втрат і моментів від вищих гармонік, які збуджують коливання пускового моменту. Вони суттєво впливають на пуск однофазного двигуна, що призводить до так званого «залипання ротора».

В роботі приводиться математично модель однофазного асинхронного двигуна при різних початкових і граничних умовах. Їх теоретичною основою є поєднання теорії ланцюгів та теорії дослідження електромагнітного поля розсіювання. Математична модель дозволяє отримувати певні конструктивні рішення на стадії проектування. В подальшому виконуються електромагнітні розрахунки і електромеханічні і віброзбуджуючі зусилля в просторі однофазного двигуна, додаткові моменти і втрати з урахуванням зубчастості магнітної системи. Використання метода індуктивних коефіцієнтів дозволяє визначити складові моментів: асинхронних; пульсуючих з частотою 100 Гц,

таких що переходять в синхронний при певних умовах та призводять до коливань пускового моменту та ін.

Математичну модель доцільно використовувати при вирішенні завдань системного аналізу на початкових стадіях проектування, коли визначається оптимальне конструктивне рішення, вибір певних конструктивних та ізоляційних матеріалів, способів охолодження, аналіз умов роботи в залежності від замовлення.

Слід відзначити, що розрахунки виконуються ітераційним методом, що дозволяє використовувати сучасні мікропроцесорні і програмні засоби автоматизації проектування та розрахунків електромагнітних і електромеханічних параметрів.

В доповіді приведено структурні схеми, що доцільно використовувати при автоматизованому проектуванні певної конструкції двигуна, та послідовності розрахунку електромагнітних процесів в просторі двигуна при певних конструктивних і масо-габаритних показниках.

УДК 621.313

Зіновкін В.В.<sup>1</sup>, Ященко М.М.<sup>2</sup>, Васильєв Б.П.,<sup>3</sup> Літвін В.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> докт. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-317 НУ «Запорізька політехніка»

<sup>4</sup> студ. гр. Е-316 НУ «Запорізька політехніка»

## **ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ ПЕРЕМИКАЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПРИ РІЗКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

Перемикаючі пристрої є одним із відповідальних вузлів трансформаторного та іншого електротехнічного обладнання. За його допомогою здійснюється регулювання напруги. Особливо важкі навантаження перемикаючих пристроїв мають місце в трансформаторах які живлять потужні дугові сталетопні печі, приводи прокатних, вставки і лінії передачі постійного струму та ін. Оскільки електротехнологічні режими таких технічних засобів в часі змінюються за вірогідними законами, то їх сприймають як різкозмінні. При таких навантаженнях перемикаючі пристрої працюють при несиметрії фазних струмів і наявності вищих гармонік. Причому несинусоїдальність фазних струмів має різний спектральний склад, що призводить до нестаціонарних електромагнітних і електротермічних процесів. Останні призводять до скорочення термінів роботи не тільки перемикаючих пристроїв, а трансформаторного обладнання в цілому.

В доповіді приведено аналіз причин і наслідків аварійності трансформаторного обладнання по класам напруги 35, 110, 220, 330, 500, 750 кВ. На підставі цього аналізу показано, що на визначальні показники надійності обладнання впливають зовнішні і внутрішні фактори. В роботі приведено наукові і експериментальні дослідження на експлуатаційну надійність перемикаючих пристроїв.

Відзначено, що аварійність перемикаючих пристроїв в системах з різкозмінними навантаженнями на 45% більша в порівнянні з системами загального призначення. Розглянуто електромагнітні та електротермічні процеси з порівняльним аналізом впливу характерних рис різкозмінних навантажень на аварійність перемикаючих пристроїв. Оскільки основним елементом перемикаючих пристроїв є контакти, за допомогою яких здійснюються багато чисельні перемикання. З метою регулювання електричних режимів певних відповідно до певних технологічних режимів при проведенні експериментального дослідження запропонована система випробувань перемикаючих пристроїв на експлуатаційну надійність. Ця система побудована на сучасних мікропроцесорних і програмних засобах автоматизації, Вона дозволяє здійснювати багато чисельні перемикання в залежності від кількості комутаційних процесів в контактах. Основними елементами цієї системи є формувач несинусоїдальності струму і несиметрії навантаження, а також силові елементи.

В доповіді пояснюється принцип роботи запропонованого науково-технічного рішення і наведено результати проведених експериментальних досліджень. Експериментальні залежності опорів контактних систем, математичне очікування і дисперсія, свідчать про ефективність автоматизованої системи експериментального дослідження перемикаючих пристроїв.

УДК 621.313

Зіновкін В.В.<sup>1</sup>, Пунда М.О.<sup>2</sup>, Мельник М.Т.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> докт. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-317 НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ПОТУЖНОМУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ**

При проведенні наукових досліджень і розробці електротехнічного обладнання використовуються спеціалізовані пристрої для вимірювання електромагнітного поля. Їм притаманні наступні переваги: досить малі

габаритні розміри; мають вихідний електричний сигнал; незначний температурний вплив; висока чутливість до інтенсивностей поля; механічна міцність; надійність і коефіцієнт передачі. Принцип їх роботи полягає на наступних фізичних методах: пондермоторних сил, що виникають при змінному в часі магнітному полі; гальваноманітні на ефекті Холла і закона Гаусса; індукційні. Їх принцип дії полягає в тому, що на виході пристрою, що вимірює поле, формується напруга або струм пропорційні інтенсивності магнітного поля. Індукційні датчики використовуються, переважно, для дослідження розподілу поля в просторі електротехнічного обладнання. Вони працюють на індукційному принципі вимірювання. Величина е.р.с., що наводиться в датчиках, пропорційна параметрам датчика і похідній від індукції в залежності від часу (частоти). Діюче значення в вихідних ланцюгах, при синусоїдальній формі індукції, пропорційне постійним датчика, частоті та індукції. Але їм притаманні певні недоліки. Так в електротехнічному обладнанні індукція магнітного поля в часі змінюється по несинусоїдальному закону. Наявність вищих гармонік призводить до непропорційності е.р.с. в датчиках. Для запобігання великих похибок доцільно використовувати інтегруючі ланцюги, що підключаються до вихідних ланцюгів датчиків. Миттєве значення напруги на конденсаторі в кожен момент часу пропорційне відповідному значенню індукції, яку належить вимірювати.

В роботі приведена структурна схема автоматизованого вимірювача середнього значення індукції і аналіз відповідних блоків. При цьому відзначається умови використання: індукційних датчиків для вимірювання епюр магнітного поля в просторі обладнання, що використовується для оцінки додаткових місцевих втрат та теплового навантаження; пристроїв з датчиками Холла в електромеханічних системах при векторному керуванні. Слід відзначити, що індукційні датчики не доцільно використовувати для вимірювання постійного магнітного поля. Для підвищення точності вимірювання індукції доцільно використовувати схеми порівняльного автоматизованого аналізу індукції в відповідних місцях магнітних систем електротехнічного обладнання. В якості прикладу, розглянуто декілька схемних рішень і відзначається, що для вимірювання вихідних напруг систем датчиків доцільно використовувати вимірювальні прилади діючого значення з досить великим внутрішнім опором. Це дозволяє упередити випадкові похибки.

В доповіді приведено аналіз методів, пристроїв і рекомендації для оптимального використання експериментального вимірювання електротехнічному обладнанні електромагнітного поля розсіювання в просторі потужного електротехнічного обладнання.

УДК 621.313

Зіновкін В.В.<sup>1</sup>, Новік Д.В.<sup>2</sup>, Ященко М.М.<sup>3</sup>, Снігарь Д.Є.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> докт. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-316 НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>4</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

## **ВТРАТИ ВІД ВИХРОВИХ СТРУМІВ В ФЕРОМАГНІТНИХ ДЕТАЛЯХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

При дослідженнях електромагнітних процесів в електротехнічному обладнанні різного призначення виникає задача розрахунку електромагнітного поля і втрат від вихрових струмів в феромагнітних деталях. Складність задачі полягає в тому, що індукція в феромагнітних тілах нелінійно залежить від інтенсивності магнітного поля. Не дивлячи на те, що дослідженням цього питання присвячено велика кількість робіт, вирішення цієї задачі потребує подальшого розвитку. Особливу актуальність набувають ці питання при розробці обладнання спеціального призначення.

Оскільки електромагнітне поле в феромагнітному середовищі має різко виражений поверхневий ефект, то це дозволяє використовувати метод дослідження втрат аналогічно як в провідниковому напівпросторі. Вважаємо, що плоска електромагнітна хвиля падає нормальній дотичній до феромагнітного на півпростору. При цьому відома дотична складова електромагнітного поля, яку можливо вимірювати індукційними датчиками.

На підставі вирішення рівнянь Максвелла при умові врахування опору сталі, залежності індукції від магнітного поля, електричного поля та нехтуючи струмом зміщення отримуємо систему рівнянь в яких пов'язані між собою електромагнітні параметри та електрофізичні характеристики феромагнітного тіла. Вирішуючи цю систему відносно комплексних амплітуд магнітного поля і індукції, приходимо до кураєвої задачі, коли комплексна магнітна проникність по першій гармоніці в залежності від магнітного поля змінюється по ступеневому закону. Подальші дослідження виконуємо відносно вищих гармонік дія яких суттєво впливає на місцеві втрати і теплове перевантаження. При цьому нелінійна залежність магнітної проникності від дійсного значення магнітного поля враховується шляхом методу еквівалентування. В результаті отримуємо математичний вираз для розрахунку поверхневих втрат. Вони пропорційні середньому значенню за період частоти змінення магнітного поля в часі. При цьому втрати можливо визначити по результатам вимірювання дотичних складових магнітного і електричного поля на поверхні певного феромагнітних деталей.

Показано, що для практичних інженерних розрахунків поверхневих втрат необхідно знати залежності відносної магнітної проникності певної конструкційної сталі, її електричний опір та магнітне поле. При визначенні розподілу магнітного поля в просторі електротехнічного обладнання можливо розрахувати інтегральні значення місцевих втрат та локальних температурних навантажень.

В роботі приведена методика, схема експериментального дослідження поверхневого ефекту та її магнітні проникності конкретних конструкційних сталей, що використовуються в електромашинобудуванні.

УДК 681.5

Пирожок А.В.<sup>1</sup>, Снадчук О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Ез-618сп НУ «Запорізька політехніка»

## **ЗАСТОСУВАННЯ КУРСОВЕРТИКАЛІ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ (МАЛОЇ АВІАЦІЇ)**

В роботі пропонується на вертольотах радянського виробництва, які вичерпали свій ресурс, модернізувати авіоніку, зокрема, авіагоризонти які виробили свій ресурс і до того ж випускаються в виключно в Росії, та замінити курсову систему ГМК-1, складовою частиною якої являється механічний курсовий гіроскоп (гіроагрегат), а також електромеханічні системи типу сельсинових передач, які морально застарілі.

Пропонується заміна авіагоризонтів та курсової системи на інерційну навігаційну систему (ІНС), яка включає дві курсовертикалі АНС-525, які видають на пілотажні ЖК дисплеї цифровим кодом ARINC-429 інформацію просторового положення і горизонтальної обстановки.

Система визначення просторового положення (СОПП) АНС-525 являє собою твердотільну сенсорну систему, засновану на технології мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Система складається з двох блоків: Блок визначення просторового положення (БОПП), і блок магнітного вивлення (БМО).

У тих додатках, де не потрібна висока точність, а вартість повинна бути невеликою, Системи, які базуються на використанні мікроелектромеханічних гіроскопів (МЕМГ), використовуються в бюджетних рішеннях ІНС. Вони надійні, стійкі до зовнішніх впливів. МЕМГ є датчиками кутової швидкості. Чутливий елемент МЕМГ, що представляє собою деякий грузик в пружному підвісі, примусово піддається лінійним або кутовим коливанням.

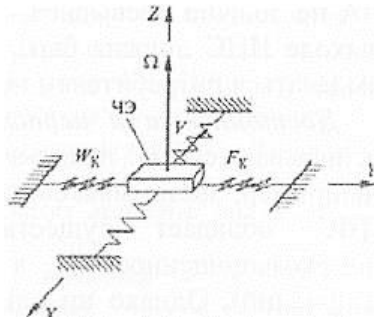


Рисунок 1 - Устрій МЕМГ.

На рис.1. показаний МЕМГ з чутливим елементом ЧЕ. Уздовж осі X до нього додається вібрація з лінійною швидкістю  $V$ . При обертанні МЕМГ з кутової швидкістю  $Q$  навколо осі Z з'являється знакозмінне прискорення Коріоліса  $W_k$  і відповідна йому сила  $F_k$  уздовж вісі Y.

Запропоноване в роботі рішення дозволяє відносно невеликим коштом модернізувати систему визначення просторового положення, значною мірою покращивши її показники.

УДК 681.5

Адамцев П.П.<sup>1</sup>, Ураков А.А.<sup>2</sup>, Пирожок А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Ез-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА

Мета проекту: модернізувати лабораторний стенд з дослідження регульованого електропривода вентилятора та розробити сучасну автоматизовану систему реєстрації та керування через Інтернет.

На сьогоднішній день є лабораторний стенд з вивчення конструкції та принципову електричної схеми електропривода відцентрового вентилятора де експериментально знімається регулювальні і навантажувальні характеристики вентилятора, але цей привод технічно й морально занадто застарів. Цей електропривод працює тільки в ручному режимі, регулює вихідну напругу й частоту тільки за пропорційним скалярним законом. Враховуючи сучасний стан розвитку приводної техніки, систем автоматизації та використанню промислових інтернет речей було прийнято рішення



модернізувати лабораторний стенд з дослідження регульованого електропривода вентилятора.

Лабораторна установка для зняття статичних характеристик (регульовальних і навантажувальних) представляє собою комплект, що складається з серійного відцентрового вентилятора типу СТд-57 з асинхронним короткозамкненим двигуном. Кутова швидкість приводного двигуна регулюється за допомогою тиристорного перетворювача частоти, тобто регулювання продуктивності вентилятора по каналу керування здійснюється безступінчато. Регулювання продуктивності по каналу навантаження здійснюється дискретно за допомогою засувки, тобто проводиться шибрене регулювання продуктивності.

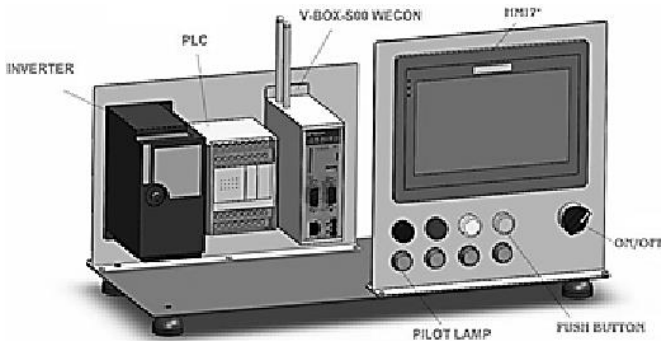


Рисунок 1 – Загальний вигляд нового стенду.

Нове обладнання замінить морально застарілий тиристорний перетворювач частоти на сучасний інвертор WECON серії 8000B 2,2 кВт з вбудованим PID-регулятором та галузевими функціями застосування, з яких є керування вентиляторами, багатою і практичною функціональністю терміналу та віртуальних терміналів, має зв'язки RS-485 й стандартний протокол Modbus. Для організації зручного керування, автоматизації й реєстрації даних буде використана Human Machine Interface панель 7" PI3070i RAM 128M на базі Cortex A7 528MHz. Об'єднає ці пристрої між собою V-BOX - це пристрій для використання віддалено усіх налагоджень, веб-scada, інтерфейсу API, моніторингу додатків.

Він дозволить отримання даних за допомогою послідовного зв'язку Ethernet від пристроїв керування, підтримує протоколи зв'язку всіх ПЛК та контролерів основних брендів, підключається до хмарної платформи, OPC доступ, інтерфейсу розробника HTTP, забезпечить доступ до додатків на операційних платформах користувачів Android/ios, перегляду робочого столу.

Така комбінація обладнання (рисунок 1) для нового модернізованого стенду з дослідження регульованого електропривода вентилятора є досить вдалим поєднанням при вивчені режимів роботи технологічного обладнання, режимів керування електроприводів, розробки систем автоматизації в тенденції Індустрії 4.0.

УДК 681.3

Ткаченко Д.І.<sup>1</sup>, Бочаров А.М.<sup>2</sup>, Лисенко В.О.<sup>2</sup>, Пирожок А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПІДЧАС ЙОГО РОБОТИ І ПЕРЕДБАЧЕННЯ ЙОГО РЕСУРСУ**

Мета проекту: розробити заходи діагностування потужних електродвигуна під час його роботи і передбачення його ресурсу.

В процесі експлуатації в силу різних причин: старіння ізоляції, порушення режимів роботи. Як наслідок можливі аварійні виходи з ладу що призводить до збитків. На даний момент регулярно виходять з ладу 21% електродвигунів. Для зменшення можливих відмов електричного двигуна попередньо спостерігається превентивне обслуговування. Існує діагностика, яку складно реалізувати на працюючому обладнанні, тому електродвигун виводиться з роботи протягом місяця. Перевага постійної діагностики за опором ізоляції в тому, що можна більш точно визначити динаміку, наскільки значенні ізоляції стабільно, або наскільки ці значення зменшуються.

Завдяки швидкому розвитку обчислювальної техніки набуває великого значення застосування систем контролю, оснащення машин і механізмів автоматизованою діагностичною системою на базі мікроконтролерів. Це дозволяє сформувати структуру комплексу обладнання для діагностики технічного стану електричних машин.

Комплекс містить силову установку, датчики, інтерфейси, обчислювальний блок і програмне забезпечення. Застосування цієї структури виправдано в умовах безперервного виробничого циклу, де позаплановий вихід із ладу електрообладнання пов'язаний з технологічними перервами і серйозним економічним збитком. Дуже перспективними є мобільні пристрої.

Ідея поставити пристрій БКС-бдля контролю опору виникла через те, що даний параметр вимірювався вручну раз в 30 діб, який застосовувався в шахтах для попереднього контролю ізоляції одиночного приєднання. Він вирішував проблему автоматично вимірював опір і має зв'язок за протоколом

ModBus, що зручно для створення SCADA і стеження за статистикою. Після вивчення схем, ми прийшли до висновку, що пристрій підходить і його можливо встановити в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Але коли нечасто вимикаються двигуни застосування його особливого сенсу немає, так як один двигун виводиться в резерв, а другий вмикається і наступне вмикання відбудеться не скоро, ось тому потрібно було знайти інші рішення з урахуванням для існуючого технологічного процесу, коли двигун працює не вимикаючись тривалий час але необхідно все рівно проводити контроль опору ізоляції в процесі експлуатації. Вивчивши це питання, з'явилися ідея використовувати метод вимірювання часткових розрядів. Було знайдено пристрій, який може «контролювати» стан ізоляції двигуна в процесі експлуатації. Коли двигун або генератор працює в нормальних експлуатаційних умовах, оператор підключає пристрій до з'єднувальної коробки давачів і до портативного комп'ютера, на якому встановлено програмне забезпечення. Амплітуда, фазовий стан і кількість імпульсів часткових розрядів, виявлених кожним датчиком, реєструються, і їх можна відразу переглянути або зберегти для подальшого аналізу. На покази не впливають зовнішні перешкоди (або шуми), наприклад, коронні розряди енергетичної системи, електричної дуги на вихідній шині або інших поширених причин шуму. Зазвичай випробування проводять з періодичністю півроку; вони займають 30 хвилин для кожної машини.

Також була запропонована ідея створення алгоритму побудови моделі прогнозування стану двигунів за принципом світлофора. Запропоновані методи побудови правильного програмного забезпечення та обробки цих даних. Робочий персонал швидко вводить дані в модель і отримує готовий результат, після отримує результати коли електродвигун буде перебувати в жовтій або червоній зоні, що допомагає при плануванні ремонтних робіт.

УДК 629.3.033

Лбабуз М.Ш.<sup>1</sup>, Пирожок А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РУХОМ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ З ОМНІ-КОЛЕСАМИ**

Мета роботи: створити мобільну платформу з омні-колесами з незалежним керуванням кожним колесом та розробити систему керування рухом її в різних напрямках.

Мобільні роботи можна поділити на виробничі, транспортні та спеціальні. Виробничі мобільні роботи найчастіше мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, яким може бути захоплюючий пристрій або різні технологічні пристрої, наприклад, зварювальний пристрій, пристрій для різання, фарбування тощо. Такі роботи використовуються у різних технологічних процесах, де технологічне обладнання або об'єкти треба переміщувати на досить великих площах по різних траєкторіях переміщення. Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, також для використання у різних транспортних системах. Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції контролю та збору інформації, спостереження тощо.

Мобільні роботи можуть бути повністю автономними, або працювати разом з оператором в інтерактивному режимі. Прикладом автономних роботів можуть бути транспортні роботи, що обслуговують склади.

Щоб платформа могла «повернутись на місці», а також вільно рухатися в любому напрямку, що дозволить вирішувати "проблеми паралельної парковки" і зменшення траєкторій розворотів та заторів, прийнято було рішення створення невеликої робочої платформи з омні-колесами. Такі колеса можуть не тільки завдяки сили тертя на поверхню в основному напрямку їхнього обертання рухати транспортний засіб, як і будь-яке інше колесо, але так як вони мають пасивні ролики, напрямком обертання яких - як правило - орієнтований перпендикулярно до основного напрямку обертання колеса, вони можуть створювати рухи в інших напрямках з невеликим тертям. Існують різні типи всенаправлених коліс. Ті, що використовувались на початку розробки, складаються з восьми роліків у формі бочки, розташованих у два сусідні ряди, по чотири ролика на кожному рівні, які зміщені по колу на  $90^\circ$  і забезпечують дотик з поверхнею при будь-якому куті обертання колеса. Така конструкція дозволяє забезпечувати безперервне «обертове» переміщення платформи.

Для моторизації платформи використали чотири серводвигуни з окремими драйверами. Перевага тут полягає в тому, що є можливість регулювання швидкості й напрямку обертання кожного колеса окремо. Керуючою платою була Arduino Nano, яка розміщена безпосередньо на платформі. В програмі є система керування кожними колесом окремо, але працює з усіма приводами одночасно.

Далі проводились випробовування на цій мобільній платформі з різноманітними комбінаціями співвідношень швидкостей й напрямків обертання кожного колеса та фіксувалися специфіка руху платформи в цілому. Була створена карта комбінацій керуючих завдань для майже любого руху платформи, ми змогли «заставити» рухатись платформу в будь-якому напрямку: вперед, назад, вбік, розвертатися на місті, по діагоналях без

обертання платформи, від кутом з розвертанням платформи й інше. Цей досвід легко перенести на чотирьох колісні платформи що можуть використовуватись в складських приміщеннях при обмежених траєкторіях руху, особливо їх можливість розвертання на місці й руху в будь-якому напрямку без обертання.

Далі планується провести дослідження руху мобільної платформи з урахуванням зміни навантаження, чи не зміниться характер руху и як на це можна впливати з боку системи керування. Також планується в подальшому розглянути можливість використати на чотирьох колісній платформі коліс Ілона, з косим розташуванням роликів по периметру колеса, що збільшить вантажність мобільної платформи, а також дослідити чи розроблена система керування рухом придатна для використання з такими колесами і чи збільшить це маневреність платформи.

УДК 681.5

Шулев А.І.<sup>1</sup>, Пирожок А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. Е-327сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧІ СТАНИНИ ПОРТАЛЬНОГО ТИПУ**

Мета проекту: розробити пристрій для керування переміщенням робочого органу по трьом осям з використанням крокових електроприводів.

Сучасний технічний прогрес пов'язаний з широким використанням у виробництві засобів обчислювальної техніки та пристроїв з числовим програмним керуванням. Сучасне виробництво вже не можливо уявити без комп'ютеризованої техніки, адже системи ЧПК значно спрощують роботу, економлять сировину та матеріали, дозволяють виконувати тяжку роботу майже без втручання людини та значно підвищується ефективність виробництва.

Розглянутий пристрій являє собою систему з числовим програмним керуванням, яка здатна переміщувати робочий орган по трьом координатам. Робочі органи приводяться до дії за допомогою крокових моторів та черв'ячної передачі.

В залежності від потреб користувача до пристрою можливо під'єднати різні робочі органи такі як лазерний модуль, двигун з цанговим тримачем для можливості організації фрезерувальних чи свердильних робіт, маркер чи кулькову ручку для використання в якості простого плоттера та інші.

Програмне забезпечення є універсальним і при зміні робочого органу немає потреби змінювати програмне забезпечення.

При збірці пристрою були використані як виготовлені власноруч деталі так і універсальні деталі заводського виконання. Власноруч було змодельовано та роздруковано на 3D принтері основні вузлові деталі (рисунок 1).

Також були використані деталі заводського виконання такі як калібровані вали, муфти, лінійні підшипники, черв'ячні вали та гайки. У всій конструкції були використані підшипники одного типу та розміру це лінійні підшипники LM6UU. У я кості валів використовуються калібровані загартовані вали діаметром 6мм. Переміщення по осям відбувається за допомогою передачі гвинт-гайка. Були використані черв'ячний вал діаметром 8мм з кроком зубців 2мм. Також для з'єднання ходового гвинта з електродвигуном була використана перехідна муфта, так як діаметр валу двигуна 5мм, а діаметр ходового гвинта 8мм. Для максимального спрощення конструкції і зменшення кількості різноманітних деталей на всіх трьох осях були використані однакові вали, підшипники та ходові гвинти.

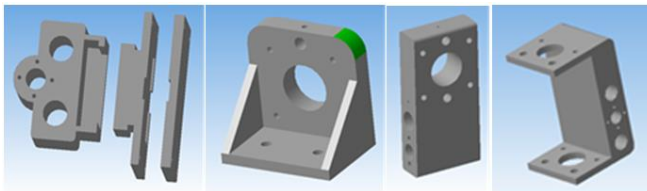


Рисунок 1 - Основні вузлові деталі плоттера.

Електронна частина складається з плати керування, драйверів та крокових електродвигунів типу NEMA17. Платою керування в даному випадку є Arduino UNO з мікропроцесором Atmega328p.

Програмна частина включає в себе універсальне програмне забезпечення GRBL та програму керування встановлену на персональний комп'ютер. Програмування відбувається за допомогою G-коду. G-код є загальною назвою для найбільш широко використовуваної мови програмування числовим програмним керуванням, яка має багато реалізацій. Застосовують здебільшого в галузі автоматизації, є частиною автоматизованого проектування. В загальному, G-код — це мова, якою люди взаємодіють з комп'ютеризованими верстатами, задають їм що робити і як це зробити. «Як» визначається інструкціями про те, де перейти до (повернути або виконати дію), як швидко рухатися, і якою траєкторією переміщуватися. Програмне забезпечення GRBL це проект з відкритим вихідним кодом

розроблений спеціально для використання ентузіастами для побудови непромислових верстатів з числовим програмним керуванням.

УДК 681.5

Казурова А.Є.<sup>1</sup>, Драпак К.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup>студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

## РЕГУЛЯТОР ЗМІНИ ВИТРАТ ПАЛИВА В КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ. ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ НАЛАШТУВАННЯ

Існує проблема забезпечення мінімального перерегулювання витрати палива при переході з виконання закону запалення камери згоряння (КЗ) до виконання закону розгону ротора газотурбінного двигуна (ГТД) при його запуску. Вирішення цієї задачі дозволе запобігти згасанню камери згоряння після її запалення і забезпечити надійність запуску двигуна.

При вирішенні поставленої задачі була побудована часова діаграма запуску ГТД, на якій зображено тривалість команд, які включаються під час пуску двигуна (рис. 1). На рис. 1: ППРП – припинення подачі робочого палива; ВклПТС – подача повітря до повітряного турбостартера; ВклАЗ – вмикання агрегатів запалення; ППП – подача пускового палива.

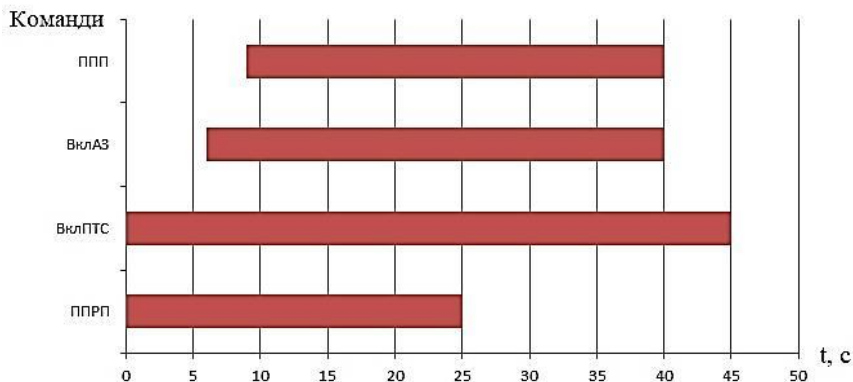


Рисунок 1 – Часова діаграма запуску ГТД.

Задане значення витрати палива, необхідне для підтримки горіння камери згоряння двигуна, складається з двох законів керування: закон запалення КЗ та закон розгону ротора двигуна при запуску. За кількість

палива, яке подається до двигуна, відповідає регулятор зміни витрат палива в КЗ. В роботі було здійснено налаштування регулятора двома методами: налаштування на модульний оптимум (МО) та налаштування методом кореневого годографа. При налаштуванні на МО отримали ПІ-регулятор, а при використанні метода кореневого годографа було отримано ПІ-регулятор.

На рис. 2 представлені результати моделювання системи автоматичного регулювання зміни витрат палива в КЗ при різних методах налаштування регулятора.

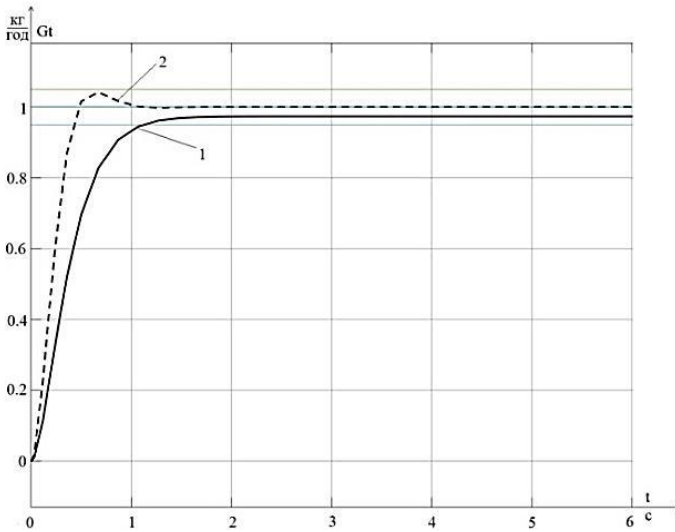


Рисунок 2 – Результати моделювання: 1 – ПІ регулятор; 2 – ПІІ регулятор

Як видно з графіків, швидкість перехідних процесів трохи відрізняється. З рис. 2 видно, що при використанні ПІІ-регулятора перехідний процес відбувається приблизно за 0,45с, а при використанні ПІ-регулятора – за 1с. ПІІ-регулятор має високу швидкодію, але присутнє перегулювання, яке, в свою чергу, не виходить за межі 4,3%. Оскільки помилка дорівнює нулю, то система вважається астатичною. У випадку використання ПІ-регулятора процес відбувається без перегулювання, але має статичну помилку, яка не перевищує 5%. Обидві системи задовольняють нашим вимогам, але все ж ПІІ-регулятор буде кращим для задачі, що розглядається, оскільки він має швидший перехідний процес.

Також в роботі було проведено математичне моделювання системи керування подачі палива до КЗ в режимі запуску ГТД.



## СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА

Для забезпечення безперервності процесів транспортування різних видів вантажів і матеріалів, майже у всіх галузях промисловості використовуються стрічкові транспортери. Їх застосування дозволяє доставляти до потрібного об'єкту штучні вантажі і матеріали, що мають сипучу/кусову структури. Стрічкові транспортери також використовують для дозування сипучих матеріалів. Стрічкові вагові дозатори призначені для безперервного динамічного зважування і дозування сипучих матеріалів в технологічних процесах металургійної промисловості, а також на підприємствах цементної, гірничорудної, вугільної та інших галузях промисловості.

В роботі розглядалась задача оптимізації заповнення лотка сипучим матеріалом. Контроль маси дозованого матеріалу здійснюється або зважуванням його в лотках, або на конвеєрі. Оскільки зважування матеріалу виконується в динаміці, то похибка вимірювання досягає 5%. Для більш точного дозування матеріал подається з бункера, встановленого на динамометр. Зважування може проводитися як в динамічному режимі, так і в статичному режимі. В цьому випадку похибку вимірювання можна знизити до 1-2%.

Дозатор (рис. 1) призначений для передачі сипучого матеріалу, що надходить з бункера 1 в лоток 4. Довжина транспортера дорівнює  $L$  м. Швидкість руху стрічки 3, яка приводиться в рух електроприводом 5, складає  $v$  м/с. Якщо в момент часу  $t = 0$  змінити ступінь відкриття регульованої заслінки 2, то надходження матеріалу зі стрічки в змішувач 4 відбудеться не відразу, а лише через деякий час. Заслінка відкривається і закривається за допомогою приводу, який включає двигун з редуктором. Маса сипучого матеріалу в змішувачі контролюється за допомогою динамометричних ваг, а положення заслінки – кодовим датчиком.

Система регулювання повинна забезпечувати наступні показники якості:

- перерегулювання відсутнє;
- час повного відкриття заслінки  $t \approx 15$  с;
- час перехідного процесу заповнення лотка сипучим матеріалом

повинен бути мінімальним.

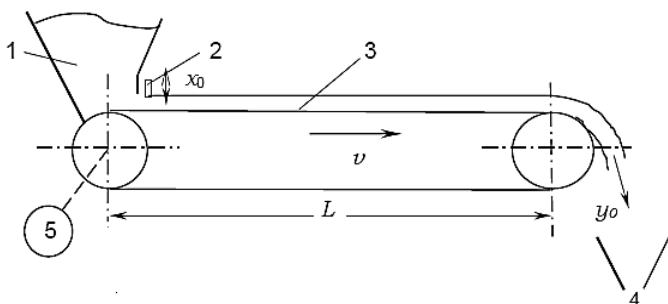


Рисунок 1 – Схема стрічкового дозатора, який призначений для передачі сипучих матеріалів.

Для вирішення поставленої задачі в роботі були складені математичні моделі двигуна, редуктора, заслінки та транспортера. Система керування заповненням лотка сипучим матеріалом виконана двоконтурною. Внутрішній контур керує положенням заслінки, а зовнішній – заповненням лотка. Пошук коефіцієнтів регуляторів виконувався засобами Matlab, за допомогою блока NCD Output (Signal Constrain) з бібліотеки NCD Blockset.

На рис. 2 зображена кінцева оптимізаційна крива при відпрацюванні завдання 1т.

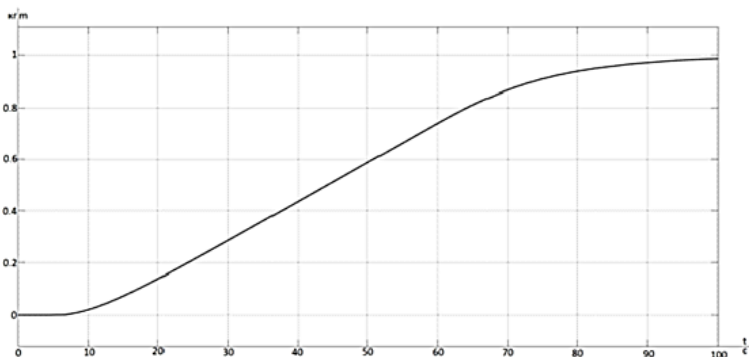


Рисунок 2 – Перехідний процес в системі керування стрічковим дозатором при дозуванні 1т матеріалу.

Виходячи з моделювання час переходного процесу при дозуванні 1 т складає 85 с, перерегулювання в системі відсутнє.

## РОЗРОБКА СТЕНДУ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Сфера застосування електричного приводу в промисловості, на транспорті і в побуті постійно розширюється. В даний час вже понад 60% усієї вироблюваної в світі електричної енергії споживається електродвигунами. Отже, ефективність енергозберігаючих технологій в значній мірі визначається ефективністю електроприводу.

Застосування перетворювачів частоти в регульованому електроприводі створює свої переваги, проте можна зіткнутися з проблемою вибору способу регулювання для певного приводу. В цьому випадку можуть бути використані розроблені фізичні та математичні моделі перетворювач частоти - асинхронний двигун, за допомогою яких можна вибрати необхідний метод регулювання.

Метою роботи є розробка нового стенду дослідження електроприводу на кафедрі ЕПА за допомогою сучасного перетворювача частоти та створення імітаційної моделі.

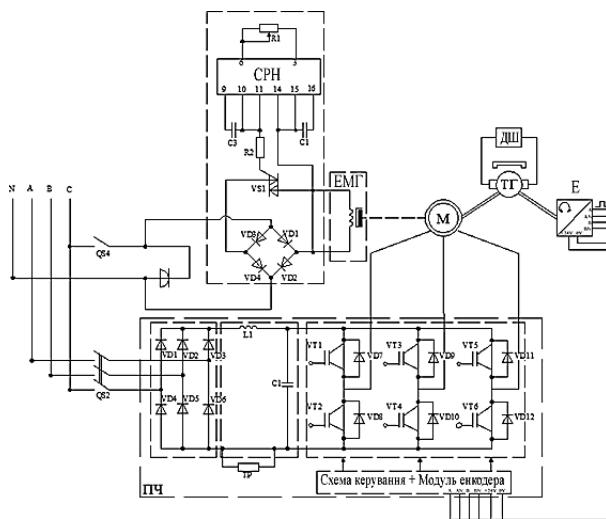


Рисунок 1 – Принципова схема стенду.

На рисунку 1 показана принципова схема стенду. На рисунку 1 прийняти наступні позначення СРН – система регулювання навантаження; ПЧ – перетворювач частоти; ТГ – тахогенератор; Е – енкодер; ЕМГ – електромагнітне гальмо.

Принципова особливість роботи це розробка електромагнітного гальма, за допомогою якого можливо буде емітувати різні характеристики навантаження. Перетворювач частоти буде підключено до персонального комп'ютера, це дозволить зняті механічні, електромеханічні та регулювальні характеристики даного стенду. Буде розроблена імітаційна модель асинхронного електроприводу зі скалярним і векторним управлінням зі зворотним зв'язком за швидкістю в середовищі Simulink.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; Под ред. В.М. Терехова. - М. : Издательский центр «Академия», 2005. - 304 с.
2. Дементьев, Ю. Н. Электрический привод: учебное пособие. / Дементьев Ю. Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.
- Усольцев, А.А. Электрический привод/Учебное пособие / Усольцев А.А. - СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 238 с.
3. Макаров, А. М. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока: учеб. пособие / А. М. Макаров, А. С. Сергеев, Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев; ВолГТУ. – Волгоград, 2016.– 192 с.
4. Герман-Галкин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. / С.Г. Герман-Галкин — СПб.: КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.

УДК 681.5

Деев С.Г.<sup>1</sup>, Бережний О.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Ез-618/2 НУ «Запорізька політехніка»

### **СТВОРЕННЯ БПЛА ПЛАНЕРНОГО ТИПУ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ**

Метою роботи є розробка та обґрунтування технічних рішень, спрямованих на створення безпілотного літального апарату планерного типу з електроприводом.

В роботі проведений аналіз існуючих конструкцій БПЛА планерного типу з електроприводом та особливостей електропривода БПЛА такого типу.

Для системи керування БПЛА було використано польотний контролер APM 2.6 на основі контролера Arduino Mega 2560.

На основі аналізу розрахована конструкція БПЛА та електропривода на базі польотного контролера ArduPilot Mega. Польотний контролер ArduPilot Mega є повноцінним рішенням для БПЛА, який дозволяє крім радіокерованого дистанційного пілотування - автоматичне керування по заздалегідь створеному маршруту, тобто політ по точкам, а так само має можливість двосторонньої передачею телеметричних даних з борту на наземну станцію (телефон, планшет, ноутбук і ін.) і ведення журналу у вбудовану пам'ять.

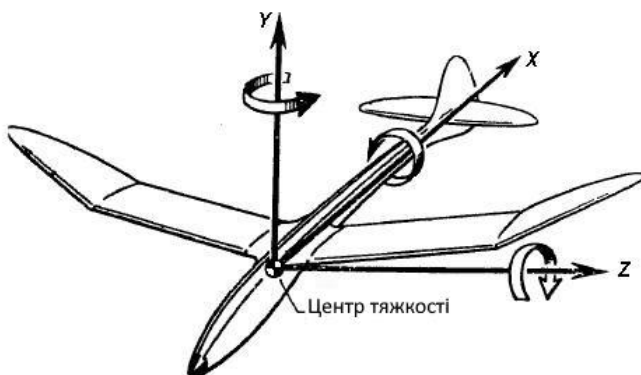


Рисунок 1 - Центр мас БПЛА

Він заснований на автопілоті APM 2.x, які розробляються спільнотою DIY Drones і базується на open-source проєкті, що дозволяє перетворити будь-який апарат в автономний засіб і ефективно використовувати його не тільки в розважальних цілях, але і для виконання професійних проєктів. Характеристики: Arduino сумісний контролер, який включає в себе 3-х осьовий гіроскоп, акселерометр, барометр, 4 Мб флеш-пам'яті для автоматичного запису даних польоту, відкритий вихідний код, ATMEGA2560 і ATMEGA32U-2 контролери, середні розміри .

На основі розрахунку створена експериментальна модель, яка підтвердила працездатність БПЛА.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що розроблена конструкція БПЛА з електроприводом дозволяють створити простий та недорогий БПЛА для широкого кола застосувань.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АНТЕНОЮ НА БАЗІ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА

У сучасному морському флоті використовують тривісні корабельні антени для супроводу космічних апаратів, зв'язку з центрами управління рухом суден, безперебійної роботи навігації, в загальному, для роботи всіх систем корабля, які потребують використання системи супутникового зв'язку. Одним з найбільш актуальних питань створення працездатної корабельної антени є розробка стежить безредукторної системи наведення, що забезпечує точність наведення електричної осі антени в потрібному напрямку в умовах качки корабля.

Вентильні двигуни (рисунок 1) - це пристрої, в яких магнітоелектрична синхронна машина з синусоїдальним розподілом магнітного поля в зазорі є частиною замкнутої системи з використанням датчика положення ротора (ДПР), перетворювача координат (ПК) і автономного інвертора. Форма магнітного поля в зазорі обумовлює спосіб формування напруги (струму) на виході автономного інвертора. У вентильному двигуні на виході інвертора необхідно формувати синусоїдальний струм, що досягається за рахунок синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції в інверторі.

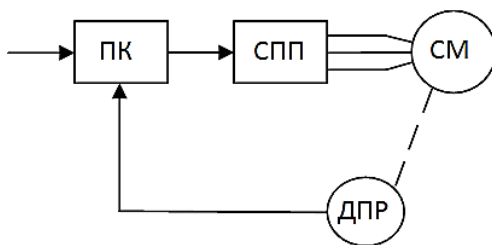


Рисунок 1 – Функціональна модель вентильного двигуна

Інверторна модуляція відбувається в ПК, при цьому сигнал на вході ПК визначає амплітуду моделює сигналу, а сигнал з датчика положення ротора (кут повороту ротора) визначає миттєву фазу. Таким чином, за рахунок зміни вхідного сигналу, здійснюється регулювання вентильним двигуном.

The top part of the image shows a block diagram of a control system. The input  $0^+$  enters a summing junction. The output of this junction goes through a block  $W_{yp}(s)$ , then a block  $\exp(-\tau)$ , and then a summing junction. The output of this second junction goes through a block  $W_{zy}(s)$ , then a summing junction. The output of this third junction goes through a block  $W_{fp}(s)$ , then a block  $W_{fb}(s)$ , and then a summing junction. The output of this fourth junction goes through a block  $\frac{R^{-1}}{T_s s + 1}$ , then a block  $\Phi_0$ , then a block  $\frac{z^{-m}}{s}$ , and then a summing junction. The output of this fifth junction goes through a block  $\frac{1}{j\omega}$ , then a block  $\frac{1}{s}$ , and then a summing junction. The output of this sixth junction is  $0$ . The output of the sixth junction also goes through a block  $K_{ux}$  and a block  $K_{ux}$  to the input of the first summing junction. The output of the sixth junction also goes through a block  $K_{ux}$  and a block  $K_{ux}$  to the input of the second summing junction. The output of the sixth junction also goes through a block  $K_{ux}$  and a block  $K_{ux}$  to the input of the third summing junction. The output of the sixth junction also goes through a block  $K_{ux}$  and a block  $K_{ux}$  to the input of the fourth summing junction. The output of the sixth junction also goes through a block  $K_{ux}$  and a block  $K_{ux}$  to the input of the fifth summing junction. The output of the sixth junction also goes through a block  $K_{ux}$  and a block  $K_{ux}$  to the input of the sixth summing junction.

The bottom part of the image shows a plot of the system's response  $w$  over time. The plot is on a grid. The response starts at zero, rises sharply to a peak, and then oscillates before settling to a steady-state value.

6

На рисунку 2 зображено графік перехідного процесу в контурі швидкості приводу кута місця, час перехідного процесу 1,24 (тпн = 1,24), регулювання - 36%.

1. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования Электроприводов. Часть 1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат: Учеб. Пособие для вузов. / А.С. Востриков, Ф.Н. Сарапулов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Гос. Проф. – пед. Ун-та, 1997. – 279 с.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. / Попов Е.П. – М.: Наука, 1975. – 768 с.

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД З БЕЗДРОВОМІМ ІНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Стрімкий розвиток сучасної обчислювальної техніки, цифрових комунікацій, робототехніки та інформаційних технологій сприяє впровадженню мікропроцесорної техніки, цифрових приладів з дискретною формою подання сигналу у різноманітні електромеханічні системи [1, 2], що покращує їх технічні характеристики, зменшує енергоспоживання, габаритні розміри, підвищує надійність, швидкість обробки та передачі даних. Це, у свою чергу, відкриває нові шляхи та підходи до вирішення завдань підвищення якості підготовки студентів.

В ході дослідження було розглянуто та проаналізовано переваги та недоліки існуючих розробок за цією тематикою з урахуванням економічності, мобільності, надійності і простоти виконання, а також можливості використання як навчального стенду.

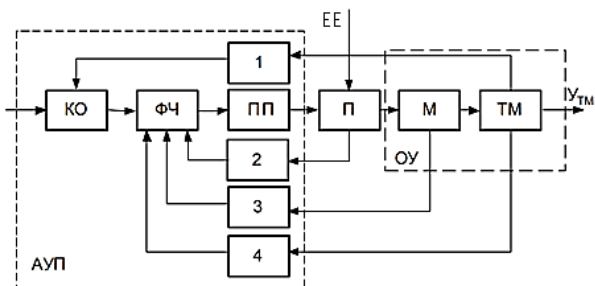


Рисунок 1 – Схема електромеханічної системи керування.

Оскільки двигун постійного струму (ДПС) може працювати в режимі генератора, а ЕРС двигуна в режимі генератора прямо пропорційна швидкості на валу двигуна, з'явилася можливість в управлінні двигуном без фізичного датчика зворотного зв'язку [3,4]. На рисунку 1: КО - командний орган; ФЧ - функціональна частина; ПП - проміжний підсилювач; М - електрична машина; П - перетворювач; ТМ - технологічний механізм; 1 - головний жорсткий зворотній зв'язок; 2-4 допоміжні гнучкі зворотні зв'язки; ЕЕ - електрична енергія; ОУ - об'єкт керування. Розроблено модель схеми керування ДПС з реверсивним обертанням (рис.2). Розроблено лабораторний





M. D. D. H. S. M.

4. Системы управления электроприводами постоянного тока: Учеб. пособие / К.В. Константинов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – 92 с.: ил.

УДК 681.527.2

Осадчий В.В.<sup>1</sup>, Назарова О.С.<sup>1</sup>, Олейников М.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-319м НУ «Запорізька політехніка»

## **ФІЗИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДВОМАСОВОЇ СИСТЕМИ**

Безперервне вдосконалення технологічних процесів призводить до необхідності розробки машин і агрегатів, до яких пред'являються нові вимоги щодо експлуатаційних характеристик. Необхідність регулювання положення виконавчих позиційних механізмів виникає в підйомно-транспортних машинах, верстатах, маніпуляторах і металургійних агрегатах [1-3]. Основна вимога, яка пред'являється до досліджуваних електроприводів, полягає в забезпеченні необхідної точності установки механізму в задану точку простору та в забезпеченні необхідного характеру руху робочого органу. Це робить актуальним завдання розробки та оптимізації систем електроприводу позиційних механізмів.

Мета роботи – розробка та дослідження системи автоматичного керування двомасовим позиційним електроприводом зі слідкуючим одномасовим приводом у внутрішньому контурі.

Використання слідкуючого одномасового електроприводу у внутрішньому контурі позиційного двомасового електроприводу дозволяє спростити синтез регулятора і зменшити необхідну обчислювальну потужність при моделюванні [4, 5].

Розроблена імітаційна модель позиційного приводу разом зі стендом може використовуватись при дослідженні замкнутих двомасових систем електроприводу постійного струму з мікропроцесорним керуванням.

Використання математичної моделі при практичному методі пошуку значень коефіцієнтів ПІД-регулятора скорочує час пошуку та зменшує ризики пошкодження реального обладнання у процесі налагодження.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Осадчий В. В. Лабораторный стенд для исследования микропроцессорных систем управления двухмассовым электроприводом / В. В. Осадчий, Е. С. Назарова, В. В. Брылистый, Р. И. Савилов //

Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2016. – № 22(98).– С. 33-38.  
<http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.22.98.2016.05>

2. Новое в моделировании и исследовании электромеханических систем станов холодной прокатки : монографія / А. В. Садовой, Е. С. Назарова, В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок; Запорізьк. нац. техніч. ун-т, Дніпродзерж. держ. теніч. ун-т – Запоріжжя: «Просвіта», 2014. – 144 с.

3. Назарова Е. С. Математическое моделирование электромеханических систем станов холодной прокатки / Е. С. Назарова // Технічна електродинаміка. – 2015. – Вип. 5 – С. 82-89.

4. Осадчий В. В. Дослідження позиційного електропривода двомасової системи з внутрішнім слідкуючим контуром / В. В. Осадчий, О. С. Назарова, М. О. Олейніков // Вісник НТУ «ХП» - Харків, 2019. – С. 47-54. .  
<http://doi.org/10.20998/2079-8024.2019.16.09>

5. Назарова О. С. Ідентифікація кутової швидкості при завадах в оптичній системі енкодера / О.С. Назарова, В. В. Осадчий, І. А. Мелешко, М. О. Олейніков // Вісник НТУ «ХП» - Харків, 2019. – С.65-69.  
<http://doi.org/10.20998/2079-8024.2019.16.12>

УДК 62-83

Назарова О.С.<sup>1</sup>, Горецька А.Є.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Ез-319м НУ «Запорізька політехніка»

## **ПРОЦЕС ОБРОБКИ ВИРОБУ НА ПОЗДОВЖНЬО-СТРУГАЛЬНОМУ ВЕРСТАТІ**

В сучасному промисловому і сільськогосподарському виробництві, на транспорті, в будівництві та комунальному господарстві, в побуті застосовуються найрізноманітніші технологічні процеси, для реалізації яких людиною створені тисячі різних машин і механізмів [1, 2]. С допомогою цих робочих машин і механізмів здійснюється видобуток корисних копалин, обробляються різні матеріали та вироби, переміщуються люди [3-5], предмети праці, рідини, газ і реалізуються багато інших процесів, необхідні для життязабезпечення людини.

Стругальні верстати призначені для обробки різцями площин і фасонних лінійчатих поверхонь. Вони діляться на поперечно-стругальні, поздовжньо-стругальне і довбальні. Перші застосовуються при виготовленні дрібних і середніх за розмірами деталей, другі порівняно великих або для одночасного стругання кількох деталей середнього розміру.

Поздовжньо-стругальні верстати застосовуються в основному для обробки різцями плоских горизонтальних і вертикальних поверхонь у великих деталей великої довжини. На верстатах можна робити прорізання поздовжньо-прямокутних канавок різного профілю, Т-образних пазів і безліч інших операцій.

Головний рух - це переміщення столу, за рахунок якого інструмент виробляє різання металу і рух подачі, що обумовлює переміщення інструменту для зняття нового шару металу. Основними величинами, що характеризують розміри і технологічні можливості різних поздовжньо-стругальних верстатів, є: довжина стругання, хід столу (1,5 - 12 м), ширина обробки (0,7 - 4 м), найбільше тягове зусилля (30 - 150 кН) .

Процес обробки виробу на поздовжньо-стругальному верстаті складається з послідовно повторюваних циклів. Кожен з них включає в себе прямий, тобто робочий хід і зворотній, коли стіл повертається у вихідне положення і здійснюється подача різців під час реверсу столу зі зворотнього ходу на прямий. Оскільки при струганні різець відчуває ударне навантаження, то значення максимальних швидкостей стругання не перевищує 75 - 120 м/хв. При цьому швидкість входження різця в метал, в порівнянні зі швидкістю різання обмежується до 40% і менше, в залежності від оброблюваного матеріалу, щоб уникнути крихти.

Зазначені обставини обмежують продуктивність і для її підвищення необхідно скоротити непродуктивний час руху. Зворотній хід здійснюється на підвищеній швидкості, а пуско-гальмівні режими при реверсі приймають допустимо мінімальної тривалості. Привід повинен бути керованим по швидкості, оскільки для різних матеріалів використовуються різні оптимальні і максимально допустимі швидкості стругання; крім того, рух характеризується різними швидкостями на різних інтервалах часу робочого циклу, високою частотою реверсування з великим пуско - гальмівним моментом.

Вимоги до електроприводу. Забезпечення роботи механізму з наступного циклу: підхід деталі до різцю зі зниженою швидкістю; врізання на зниженій швидкості; розгін до робочої швидкості прямого ходу; різання на швидкості прямого ходу; уповільнення до зниження швидкості перед виходом різця; вихід різця з деталі; уповільнення до зупинки; розгін у зворотньому напрямку до робочої швидкості зворотного ходу; повернення столу на холостому ходу зі швидкістю зворотного ходу; уповільнення до зупинки (стіл повертається у вихідне положення). Знижену швидкість прийняти 40% від швидкості прямого ходу. Забезпечення рекуперації енергії в гальмівних режимах. Розгони і уповільнення повинні проходити з постійним прискоренням. Забезпечення максимально можливих прискорень в перехідних режимах. Статична помилка за швидкістю при різанні не повинна

перевищувати 10%. Обмеження моменту електроприводу при механічних перевантаженнях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Назарова Е.С. Моделирование электромеханических процессов взаимосвязанных многомассовых систем / Е.С. Назарова // Энергия – Тбилиси, 2019. – С. 60-64.

2. Новое в моделировании и исследовании электромеханических систем станов холодной прокатки : монографія / А. В. Садовой, Е. С. Назарова, В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок; Запорізьк. нац. техніч. ун-т, Дніпродзерж. держ. техніч. ун-т – Запоріжжя: «Просвіта», 2014. – 144 с.

3. Осадчий В.В. Структура системы управления 4-х приводной силовой установки для электрических транспортных средств / В.В. Осадчий, Е.С. Назарова, В.В. Брылистый // Проблемы региональной энергетики (специальный выпуск), 2019. – № 1-2(41) 2019. – С. 65-73. DOI: 10.5281/zenodo.3239150

4. Осадчий В. В. Ідентифікація ступеня завантаження двохшвидкісного ліфта / В. В. Осадчий, О. С. Назарова, С. С. Шульженко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2018. – № 27(103).– С. 103-111. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.27.103.2018.11>

5. Nazarova O., Osadchyy V., Shulzhenko S. Accuracy improving of the two-speed elevator positioning by the identification of loading degree // International Conference «Modern Electrical and Energy Systems» (MEES-2019), September 23-25, 2019 Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskiy National University, Ukraine, pp. 50 – 53. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896414

УДК 681.527.2

Назарова О.С.<sup>1</sup>, Яцун О.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup>студ. гр. Ез-319м НУ «Запорізька політехніка»

## ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ НА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Публічне акціонерне товариство «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь» — одне з провідних підприємств металургійної галузі. Третій за масштабами виробник металопродукції в Україні. Основною експортною продукцією цього підприємства на початку ХХІ ст. є холоднокатаний сталевий лист у рулонах [1, 2]. Для забезпечення основної діяльності

комбінату на його території існують і активно співпрацюють окремі заводи, серед яких дільниця виробництва бетону та розчинів.

Мета роботи – вивчити технологічний процес приготування бетонної суміші на дільниця виробництва бетону та розчинів.

Сучасний бетонний завод представляє собою у загальному вигляді пневмотранспортну систему сипких матеріалів [3, 4], а саме, це комплекс основного і допоміжного обладнання, виробничих площ, призначених для зберігання і переробки сировини з метою виготовлення бетонних сумішей. Залежно від принципу роботи бетонного заводу до його складу входять такі види обладнання: склад цементу, бункери, стрічковий конвеєр, бетонозмішувальні установка, водяний склад, компресорна станція.

Технологія виробництва бетонної суміші починається з установки вагона тепловоза на тічки складу цементу (максимальна кількість вагонів яке може встановити тепловоз на ДВБтаР 4 вагони). Працівник піднімається на платформу для перевірки і зняття бункера вагона. Оператор пульта піднімає тічки. Виставляються і фіксуються захисні екрани навколо тічки. Кріпитися ліжко з закріпленими і підключеними електро або пневмовібратори. Перед включенням компресорної станції відкривається секція №1, 2 компресорної станції №1. Перевіряється рівень масла на фільтрі тонкого очищення. Оглядаємо на наявність масла внутрішньої частини модуля. На пульті управління переводимо в режим "готовність до роботи" перевіряємо рух повітря в потрібному напрямку. Відкривається "Введення повітряної системи складу цементу". Очікують поки тиск в ресивері впаде нижче 4 Бар. Перевіряють нормальний запуск двигуна компресора № 1, 2 в автоматичному режимі. Візуально перевіряється відкриття заслінки забору повітря компресним станції. Оглядається і включається двигун Пневмонасоси №3, №4. Відкривається механізм заслінки бункера вагона. Розбивається злежаний цемент за допомогою вібраторів 42 В. Кожні 10-15 хвилин візуально оглядаються тічки і наявність цементу. Якщо цемент відсутній, оператор вібратора за допомогою вібратора намагається розбити злежаний цемент. Через 60-70 хвилин після початку розвантаження відкривається люк за допомогою світильника перевіряється наявність цементу вагоні. Якщо цемент залишився, то його зачищають лопатою. Закривають люки, знімають захисні екрани навколо течок, опускають тічки у вихідне положення, знімають вібратори.

Більшість компресорних установок (КУ), агрегатів (КА) використовує нерегульований електропривод, що призводить до зайвих витрат електроенергії. Тому актуальним є розробка та впровадження систем автоматичного управління, що дозволить знизити енерговитрати виробництва бетонної суміші.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Новое в моделировании и исследовании электромеханических систем станов холодной прокатки : монографія / А. В. Садовой, Е. С. Назарова, В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок; Запорізьк. нац. техніч. ун-т, Дніпродзерж. держ. техніч. ун-т – Запоріжжя: «Просвіта», 2014. – 144 с.
2. Назарова, Е. С. Математическое моделирование электромеханических систем станов холодной прокатки / Е. С. Назарова // Технічна електродинаміка. – 2015. – Вип. 5 – С. 82-89.
3. Назарова, О. С. Дослідження явища транспортного запізнювання у пневмотранспортній системі сипких матеріалів / О. С. Назарова, В. І. Бондаренко, І. А. Мелешко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук : КрНУ, 2018. – Вип. 5/2018. – С. 27-29.
4. Nazarova, O.S. Experimental research and computer modeling of the obstruction occurrence in the pneumatic conveying systems peculiarities / O.S. Nazarova, I.A. Meleshko // Herald of Advanced Information Technology, 2020, Vol.3, No.1, pp. 428–439. DOI: 10.15276/hait 01.2020.9

## СЕКЦІЯ "ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ"

УДК 621.3.01:519.876.5

Тиховод С. М.<sup>1</sup>, Паталах Д.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> асп. НУ "Запорізька політехніка"

### МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗКЛАДАННЯ ПОХІДНОЇ ФУНКЦІЇ ЗА ПОЛІНОМАМИ

Моделювання перехідних процесів в електричних колах в даний час виконують шляхом складання і розв'язання рівнянь стану на підставі законів Кірхгофа або шляхом використання готових програм, в яких рівняння стану складаються автоматично за заданою схемою кола. Перехідні процеси можуть бути досить тривалими, що призводить до значного часу розрахунку при використанні сучасних обчислювальних засобів. В роботі [1] для пришвидшення обчислювальних процесів використано поліноміальну апроксимацію розв'язку. Обмеження методу дає похибка обчислення похідної розв'язку.

Мета даної роботи – розробка швидкодіючого методу розрахунку перехідних електромагнітних процесів, що використовує поліноміальну апроксимацію похідної розв'язку.

Для спрощення викладу розглянемо одноконтурне коло змінного струму, що містить резистивний ( $R$ ), індуктивний ( $L$ ) і ємнісний ( $C$ ) елементи, включені послідовно. Нехай до комутації конденсатор був заряджений до напруги  $u_c(t_0) = u_{c0}$ . При підключенні в момент  $t=t_0$  джерела змінної ЕРС  $e(t)$  в колі відбувається перехідний процес, який описується лінійним інтегро-диференціальним рівнянням з постійними коефіцієнтами:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + u_c(0) = e(t) \quad (1)$$

У запропонованому методі задаймо рішення для похідної струму, як функцію від часу, в інтервалі часу. Цю функцію від часу апроксимуємо алгебраїчним поліномом  $N$ -1-го ступеня [2]:

$$\frac{di(t)}{dt} \approx p(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_N t^{N-1} \quad (2)$$

Для апроксимуючого полінома (2) поставимо умову, що в точках  $t_k$  ділення інтервалу зміни аргументу значення похідної за часом струму збігаються з відповідними значеннями полінома:



$$i'(t_k) = p(t_k), \text{ для } k = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (3)$$

Якщо умову (3) записати для кожної точки  $t_k$ , то отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь, якщо прийняти, що  $t_0 = 0$ . Віднімемо з усіх рівнянь системи перше рівняння і отримаємо скорочену систему, яка в матричній формі має вигляд:

$$\mathbf{D} \mathbf{A} = \mathbf{I}' - \mathbf{I}'_0, \quad (4)$$

де  $\mathbf{D}$ - матриця Вандермонда [2] без першого рядка і першого стовпця;  $\mathbf{A} = [a_1 \ a_2 \dots a_{N-1}]^T$  – вектор коефіцієнтів апроксимуючого полінома;  $\mathbf{I}' = [i'(h) \ i'(2h) \dots i'((N-1)h)]^T$  – вектор значень похідних струму в вузлових точках 1, 2, ..., N-1.

Проінтегруємо вираз (2) від нуля до  $k$ -й точки при зміні номера  $k$  від 1 до N-1:

$$\begin{aligned} i(t_k) &= \int_0^{t_k} p(t) dt + i_0 = \int_0^{t_k} (a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_{N-1} t^{N-1}) dt + i_0 = \\ &= a_0 t_k + \frac{1}{2} a_1 t_k^2 + \frac{1}{3} a_2 t_k^3 + \dots + \frac{1}{N} a_{N-1} t_k^N + i_0, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $t_k = kh$ .

Підстановка в інтеграли вираження (5) значень  $k$  від 1 до N-1 дає систему рівнянь в матричній формі

$$\mathbf{I} = \mathbf{V} \mathbf{A} + \mathbf{I}' \otimes \mathbf{H} + \mathbf{I}_0, \quad (6)$$

де  $\mathbf{I}$  – вектор значень струму в опорних точках;  $\mathbf{I}_0 = [i_0, i_0, i_0, \dots, i_0]^T$ .

$$\mathbf{H} = [h \quad 2h \quad \dots \quad (N-1)h]^T, \quad (7)$$

де символ  $\otimes$  означає поелементне множення векторе на кожен стовпець матриці, а символ  $T$  означає транспонування.

Займімося тепер обчисленням напруги на конденсаторі (третє і четверте складові в виразі (1)).

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + u_C(0) = \frac{1}{C} \left[ \int_0^t (a_0 t + \frac{1}{2} a_1 t^2 + \frac{1}{3} a_2 t^3 + \dots + \frac{1}{N} a_{N-1} t^N + i_0) dt \right] + u_C(0). \quad (8)$$

Обчислимо інтеграл у виразі (8) і розпишемо цей вислів для точок  $t = t_k = kh$ ,  $k = 1, 2, \dots, N-1$ . Отримаємо в матричній формі:

$$\mathbf{U}_c = \mathbf{B}\mathbf{W}\mathbf{A} + \mathbf{B}\left[\mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2}\mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2\right] + \mathbf{U}_{c0}, \quad (9)$$

де  $B$  - зворотна величина ємності конденсатора:  $B = \frac{1}{C}$ ;

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \frac{h^3}{2 \cdot 3} & \frac{h^4}{3 \cdot 4} \dots & \dots & \frac{h^{N+1}}{N \cdot (N+1)} \\ \frac{(2h)^3}{2 \cdot 3} & \frac{(2h)^4}{3 \cdot 4} \dots & \dots & \frac{(2h)^{N+1}}{N \cdot (N+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{2 \cdot 3}((N-1)h)^3 & \frac{1}{3 \cdot 4}((N-1)h)^4 & \dots & \frac{1}{N \cdot (N+1)}((N-1)h)^{N+1} \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} \frac{h^2}{(2h)^2} \\ \vdots \\ \frac{1}{((N-1)h)^2} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{U}_{c0} = [u_{c0}, u_{c0}, \dots, u_{c0}]^T; \quad u_{c0} = u_c(0). \quad (11)$$

У рівняння (1) для опорних точок підставимо апроксимацію всіх доданків відповідно до виразів (4), (6), (9) і отримаємо матричне рівняння:

$$\mathbf{L}\mathbf{D}\mathbf{A} + \mathbf{L}\mathbf{I}'_0 + \mathbf{R}\mathbf{V}\mathbf{A} + \mathbf{R}(\mathbf{I}_0 + \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}) + \mathbf{B}\left[\mathbf{W}\mathbf{A} + \mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2}\mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2\right] + \mathbf{U}_{c0} = \mathbf{e}. \quad (12)$$

Перетворимо рівняння (12):

$$(\mathbf{L}\mathbf{D} + \mathbf{R}\mathbf{V} + \mathbf{B}\mathbf{W})\mathbf{A} = \mathbf{e} - \mathbf{L}\mathbf{I}'_0 - \mathbf{R}(\mathbf{I}_0 + \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}) - \mathbf{B}\left[\mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2}\mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2\right] - \mathbf{U}_{c0}, \quad (13)$$

де  $\mathbf{e}$  - вектор значень ЕРС джерела в точках 1, 2, ...,  $N-1$  тимчасового інтервалу  $\tau$ .

Рівняння (13) можна пояснити наступним чином. Нехай у вихідній вітки R-L-C протікає істинний струм  $i(t)$ . Тоді відповідно до рівняння (13) вихідної гілки відповідає вітка заміщення, в якій проходить так званий операційний ток  $A$ , який зображає вихідний струм  $i(t)$ . При цьому в галузі заміщення резистивний елемент має операторний опір  $R \cdot V$  і послідовно з ним назустріч току включається джерело ЕРС  $R(\mathbf{I}_0 + \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H})$  (см. рис. 1).

Індуктивний елемент має операторний опір  $L \cdot D$  і послідовно з ним назустріч току включається джерело ЕРС, а ємнісний елемент має операторний опір -  $BW$  і послідовно з ним назустріч току включається джерело ЕРС

$$B \left[ \mathbf{I}_0 \otimes \mathbf{H} + \frac{1}{2} \mathbf{I}'_0 \otimes \mathbf{H}_2 \right] + U_{C0}$$

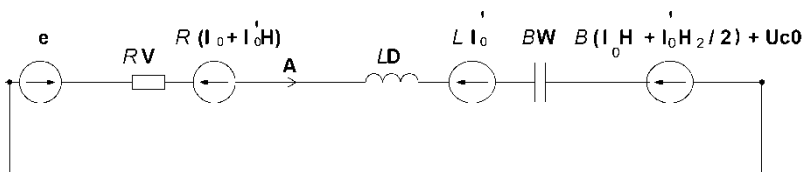


Рисунок 1 - інтерпретація рівняння (13).

Таким чином отримали другий закон Кірхгофа для зображень струмів  $\mathbf{A}$  в схемі заміщення.

Можна довести, що в вузлах схеми заміщення для зображень  $\mathbf{A}$  дотримується закон струмів Кірхгофа.

$$\sum_{k=1}^b \mathbf{A}_k = 0. \quad (14)$$

При відомих значеннях струмів віток  $i_k$  і напруг на конденсаторах  $u_{Ck}$  в точці  $t_0$  початку інтервалу  $\tau$  система рівнянь, складена за законами Кірхгофа, для всіх вузлів без одного і для всіх головних контурів має єдине рішення. В результаті рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь отримуємо вектори поліноміальних коефіцієнтів  $\mathbf{A}_k$  для всіх віток. Знаючи для будь-якої вітки коефіцієнти полінома і значення  $i_0$  в початковій точці  $t_0$ , ми можемо отримати значення струму згідно (6) і напруги на конденсаторі у всіх довільних точках будь-якого з  $N$  відрізків в інтервалі часу  $\tau$ .

Для випробування розробленої методики в системі GNU Octave [3] складено кілька комп'ютерних програм для розрахунку перехідних процесів в електричних колах. Розрахунки показали ефективність запропонованого методу.

### Висновки

1. Запропоновано методику побудови схем заміщення електричного кола, яка дозволяє безпосередньо обчислювати коефіцієнти поліноміальної апроксимації шуканих струмів в перехідних режимах.

2. Вектори поліноміальних коефіцієнтів задовольняють законам струмів і напруг Кірхгофа для схеми заміщення і є рішеннями системи алгебраїчних рівнянь.

3. Запропонована методика відрізняється тим, що в ній відсутня операція обчислення похідної рішення, що дозволяє значно підвищити точність розрахунків.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков – М.: Наука, 1987 . – 630 с.

2. Тиховод С.М. Метод численного расчета переходных процессов в электрических цепях и его схемная интерпретация / С.М. Тиховод, Н.А. Костин // Вестник НГУ. – 2013. – № 5. – С. 85-92.

3. GNU Octave [Електронний ресурс]. – режим доступу: <http://www.gnu.org/software/octave/index.html> . – заголовок с екрану. – Мова англ.

УДК 627.8

Волков В.О.

канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

### РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Розрахунок електрогідравлічного підсилювача на першому етапі проектування може бути тільки наближеним, він повинен бути уточнений результатами конструктивного доопрацювання й експериментів, які мають бути основою для більш точного розрахунку.

Методика розрахунку, повинна бути основана на отриманні оптимального рішення, що задовольняє протиріччям вимогам високої швидкодії ЕГП і мінімальній витраті рідини через сопла, великої чуттєвості і мінімальної електричної потужності керування. Ці вимоги можуть бути представлені в наступному записі:

1. Висока швидкодія ЕГП

$$\omega_{\text{ЕГП}} \geq n_1 \omega_{\text{ср}}, \quad \omega_{\text{ГП}} \geq n_2 \omega_{\text{ЕГП}}, \quad \omega_{\text{ЭМП}} \geq n_3 \omega_{\text{ГП}}, \quad (1)$$

де  $\omega_{\text{ср}}$  – частота зрізу слідкового електрогідравлічного приводу;  
 $\omega_{\text{ЕГП}} = 1/T_{\text{ЕГП}}$  – частота електрогідравлічного підсилювача;  $\omega_{\text{ГП}} = 1/T_{\text{ГП}}$  – частота гідравлічного підсилювача;  $\omega_{\text{ЭМП}} = 1/T_{\text{ЭМП}}$  – частота електромеханічного перетворювача;  $T_{\text{ЕГП}}$  – постійна часу

електрогідравлічного підсилювача;  $T_{\text{гп}}$  – постійна часу гідравлічного підсилювача;  $T_{\text{ЕМП}}$  – постійна часу електромеханічного перетворювача.

Коефіцієнти  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  вибираються так, щоб отримати потрібний запас стійкості і швидкодії слідкового електрогідравлічного привода. Для швидкодіючих приводів в попередньому розрахунку можна прийняти:

$$n_1 \approx 2, \quad n_2 \approx 0.5 \quad \text{та} \quad n_3 \approx 10. \quad (2)$$

На наступних етапах розрахунку можна виконати уточнення цих коефіцієнтів:

$n_1$  – по частотній характеристиці привода, виходячи з потрібного запасу стійкості;

$n_2$  – по формулі

$$n_2 = T_{\text{ЕГП}} / T_{\text{гп}}; \quad (3)$$

$n_3$  – виходячи з співвідношення

$$n_2 = T_{\text{гп}} / T_{\text{ЕМП}}. \quad (4)$$

2. Допустима витрата рідини через сопла задається спеціально. Ця вимога повинна бути технічно обумовлена й знаходиться у відповідності з заданої швидкістю ЕГП. В загальному вигляді можна записати, що

$$Q_c = f(T_{\text{гп}}) \approx \frac{4(\rho_k - \rho_{\text{сл}}) \cdot \gamma^2 (1 + \beta^2) \cdot S_3 x_m \omega_{\text{ЕГП}}}{(1 + \gamma^2 + \beta^2) \cdot (1 + k_o) \cdot \rho_m}. \quad (5)$$

3. Високу чуттєвість можна виразити в допустимому значенні зони застою (нечутливості) по струму й перепаду тиску в діагоналі моста, яке не повинне перевищувати для різних систем 1 – 3 %. В цьому випадку справедлива залежність

$$\rho_m \geq \rho_{\text{мп}} / n_4, \quad n_4 = 0.01 - 0.03. \quad (6)$$

4. Обмеження струму керування ЕГП записується у вигляді формули

$$I \geq \frac{\rho_m (1 + C_{\text{зс}} / C_{\text{ЭМП}})}{k_{\text{ЭМП}} k_{\text{ph}}}, \quad (7)$$

де

$$k_{ph} = \rho_m / h_m. \quad (8)$$

Розрахункове значення перепаду тиску в діагоналі  $\rho_m$  повинно задовольняти двом останнім нерівностям (6) та (7).

Визначення оптимальних значень швидкодії ЕГП, мінімальної витрати рідини через сопла, великої чуттєвості і мінімальної електричної потужності керування складає велике значення у розрахунку електрогідравлічного підсилювача.

УДК 627.8

Волков В.О.

канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

### ШВИДКОДІЮЧІ СЛІДКОВІ ПРИВОДИ З ГІДРОПІДСИЛЮВАЧЕМ СОПЛО-ЗАСЛОНКА

В системах автоматичного керування широке застосування знайшли швидкодіючі слідкові електрогідравлічні приводи, в котрих золотник керується високо чуттєвим гідропідсилювачем сопло-заслонка. В основу такого привода покладена уніфікована структурна схема, що зображена на рис.1. Гідропідсилювач сопло-заслонка в цій схемі являє собою попередній каскад підсилення, а дросельний привід є основним каскадом підсилення по потужності, за допомогою якого проводиться в русі різного роду об'єктів керування: кермо летючих апаратів, антени наведення, підводні крила судів, слідкові органи станів і машин, дроселюючи заслонки регуляторів та інші пристрої.

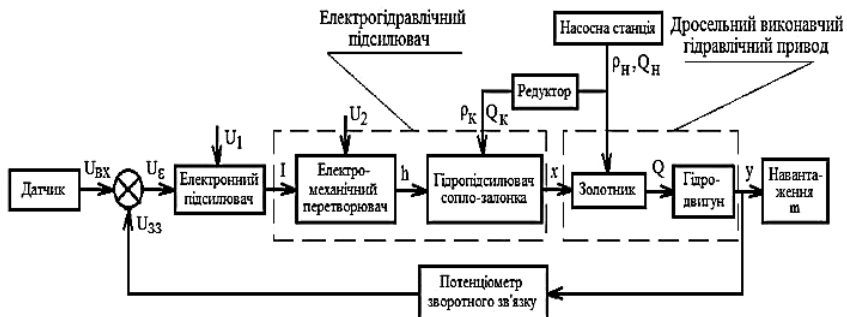


Рисунок 1 - принципальная схема следового электрогидравлического привода

Висока динаміка слідкового контуру привода (велика смуга пропуску  $\omega_{\text{сп}} \geq 7$  Гц, висока швидкодія і малий час перехідного процесу) досягається головним чином за рахунок використання високодинамічних елементів без введення додаткових стабілізуючих й корегувальних зв'язків. Основною інерційною ланкою, є гідропідсилювач сопло-залонка, постійна часу котрої звичайно складає  $T_{\text{гп}} = (8-15) \cdot 10^{-3}$  с. Частота власних коливань і швидкодія дросельного приводу вибираються достатньо високими з тим, щоб забезпечити необхідний запас стійкості слідкового приводу при більших коефіцієнтів дросельних приводів з короткими гідромагістралями і великими теоретичними пусковими прискореннями ( $j_{\text{max}} = 10^4$  см/с<sup>2</sup>). Зрозуміло, збільшення прискорення приведе до збільшення потужності й ваги приводу. Тому визначення оптимальних значень потужності й розмірів гідродвигуна в залежності від необхідної динаміки складає одну з головних задач динамічного розрахунку привода.

УДК 621.313

Афанасьєва І.О.

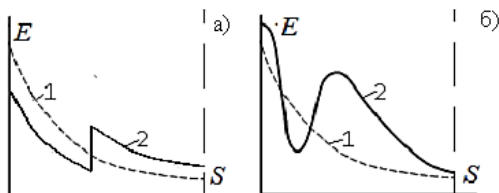
ст. викл. НУ "Запорізька політехніка"

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МІЦНОСТІ ІЗОЛЯЦІЙНОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ БУМАГИ ТИПУ ТВУ-085**

Основними показниками електричної міцності ізоляційних матеріалів у трансформаторобудуванні є пробивна напруга ( $U_{\text{пр}}$ , кВ) та напруженість електричного поля ( $E_{\text{пр}}$ , кВ/мм) (рис. 1). Вкрай важливо при проектуванні силових трансформаторів правильно обрати ізоляційні матеріали (тип матеріалу, геометричні розміри - товщину, клас нагрівостійкості), для їх надійної експлуатації. Для захисту від електричного пробою котушки, витки та шари обмоток трансформаторів захищаються ізоляційною трансформаторною бумагою.

Для дослідження була обрана ізоляційна трансформаторна високовольтна ущільнена бумага типу ТВУ-085 класу нагрівостійкості А (робоча температура до 105°C, товщина 85 мк). Даний ізоляційний матеріал був досліджений у якості бар'єра у неоднорідному полі при різних полярностях на струмоведучій частині. Істотний вплив об'ємного заряду на розвиток розряду у проміжку з різко-неоднорідним полем використовується на практиці для збільшення розрядних напруг ізоляційних проміжків. Це збільшення досягається застосуванням у проміжку бар'єрів із твердого діелектрика. Бар'єри у проміжку встановлюються на такій оптимальній

відстані від струмоведучої частини, при якій розрядні напруги максимальні (20÷30% від довжини проміжку між електродами).

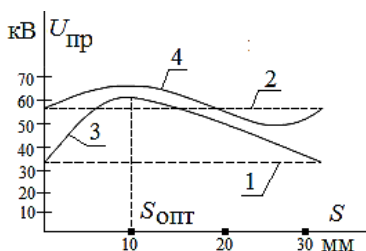


а – позитивна полярність стрижня; б – негативна полярність стрижня

1 – розподіл напруженості електричного поля без бар'єру; 2 – розподіл напруженості електричного поля з бар'єром (діелектрик)

Рисунок 1 – Розподіл напруженості електричного поля у міжелектродному проміжку без бар'єру та при наявності бар'єру

Метою експериментальних досліджень є визначення пробивної напруги ізоляційної трансформаторної бумаги типу ТВУ-085 при змінненні відстані від діелектрика до струмоведучої частини, й при зміні полярності струмоведучої частини. Для проведення дослідів була використана установка апарата випробування ізоляції АБІ – 70.



1, 2 – залежність пробивної напруги у проміжку без бар'єру (1 – позитивна, 2 – негативна полярність на струмоведучій частині електроду); 3, 4 – залежність пробивної напруги у проміжку з бар'єром бар'єру (3 – позитивна, 4 – негативна полярність на струмоведучій частині електроду);  $S_{опт}$  – оптимальна відстань розташування діелектрика у проміжку

Рисунок 2 – Залежність пробивної напруги діелектрика ТВУ-085 від місця розташування в неоднорідному полі

Для забезпечення необхідної електричної міцності ізоляції в трансформаторах її забезпечують правильним вибором матеріалу ізоляції, ізоляційної конструкції та розмірів ізоляційних проміжків.



Результатами експериментальних досліджень стало визначення пробивних напруг  $U_{\text{пр}}$  та напруженостей електричного поля у міжелектродному газовому проміжку при зміні полярності на струмоведучій частині. При позитивній полярності на електроді максимальне значення  $U_{\text{пр.мах}} = 62$  кВ, при негативній  $U_{\text{пр.мах}} = 66$  кВ (рис.2), розташовуючи діелектрик на відстані  $S_{\text{опт}} = 10$  мм. Але найбільш ефективним є застосування бар'єру при  $S_{\text{опт}}$  коли на струмоведучій частині – позитивна полярність, тому що  $U_{\text{пр}}$  збільшується у 2.07 рази у порівнянні з  $U_{\text{пр}}$  без застосування бар'єру. Значення максимальних значень напруженостей в міжелектродному газовому проміжку при застосуванні не просоченої маслом ізоляційної трансформаторної бумаги типу ТВЛ:  $E_{\text{пр.мах}} = 6.2 \div 6.6$  кВ/мм.

При виборі ефективного та надійного ізоляційного матеріалу необхідно користуватися його основними показниками електричної міцності, застосування якого дозволяє зменшити ізоляційні відстані, а це сприяє збільшенню граничної потужності силових трансформаторів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Разевиг Д.В. Техника высокого напряжения: Учеб. для вузов /Л.Ф.Дмоховская, В.П.Ларионов, Ю.С.Пинталь и др. Под ред. Д.В.Разевига - М.: Энергия, 1976 - 488 с.
2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Техніка високої напруги" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітня програма "Електричні машини і апарати") усіх форм навчання /Укл.: Д.О. Літвінов, Г.В. Дьомічева. – Запоріжжя:, НУ "Запорізька політехніка", 2019. – 42 с.
3. Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике./А.И. Долгинов, – М.: Энергия, 1968.- 464 с.

УДК 621.3.012

Козлов В.В.<sup>1</sup>, Набокова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка"

## АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННИХ ТАБЛИЦЬ EXCEL

У наші дні вивчення дисципліни "Теоретичні основи електротехніки" важко уявити без використання комп'ютерного моделювання електричних і магнітних кіл. Для цього доцільно використовувати програму для розрахунків, яка не потребує спеціальної підготовки. Такий умові відповідає

табличний процесор Microsoft Office Excel, яким користуються більшість студентів для здійснення розрахунків, що супроводжуються графічними побудовами. Його основні переваги перед іншими системами є: легкість і наочність програмування задач; запис складних математичних виразів в тому вигляді, в якому вони зазвичай записуються на аркуші паперу; простота у використанні; можливість створення вбудованими засобами високоякісних технічних звітів з таблицями, графіками, текстом, пакет Microsoft Office, до складу якого належить Excel, розповсюджений і доступний; програми можуть створюватися як з використанням та і без використання макросів.

Як приклад використання табличного процесора Microsoft Office Excel розглянемо його вживання для аналізу розгалуженого електричного кола постійного струму.

Нехай задана схема електричного кола постійного струму (рис. 1) та параметри її окремих елементів. Потрібно обчислити силу струму у всіх вітках кола.

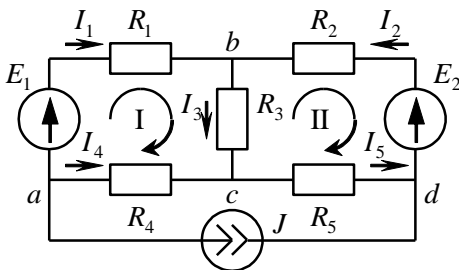


Рисунок 1 – Розгалужене електричне коло постійного струму

Шукане коло складається з двох джерел ЕРС, одного джерела струму, п'ятих резистивних елементів, які за допомогою чотирьох складних вузлів поєднуються у шість віток. Оскільки одна з віток містить джерело струму то для аналізу кола потрібно скласти 5 незалежних рівнянь. З них 3 рівняння за I законом Кірхгофа (для вузлів a, b, c) та 2 рівняння за II законом Кірхгофа (для контурів, які показані на рис. 1, напрямком обходу за годинниковою стрілкою). Система рівнянь електричної рівноваги має вигляд

$$\begin{cases} -I_1 + I_4 - J = 0 \\ I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_3 - I_4 - I_5 = 0 \\ R_1 \cdot I_1 + R_3 \cdot I_3 + R_4 \cdot I_4 = E_1 \\ -R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 - R_5 \cdot I_5 = -E_2 \end{cases}$$

Записуємо вихідні данні та систему рівнянь у таблицю Excel (скрин таблиці на рис. 2). Стовбці A, D, G використовуємо для позначення параметрів кола, а стовбці B, E, H їх чисельних значень. Рівняння записуємо у матричній формі  $A \cdot x = B$ . У стовбцях K-O у вигляді квадратної матрици  $5 \times 5$  записуємо коефіцієнти при невідомих, у стовці Q - вільні члени рівнянь. У чисельному вигляді скрин прийме вигляд, як на рисунку 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	R1=	10		E1=	20		J=	1			-1	0	0	1	0		=H1
2	R2=	15		E2=	50						1	1	-1	0	0		0
3	R3=	20								A=	0	0	1	-1	-1	B=	0
4	R4=	30									=B1	0	=B3	=B4	0		=E1
5	R5=	50									0	=B2	=B3	0	=B5		=E2

Рисунок 2 - Скрин таблиці з вихідними данними та системою рівнянь

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	R1=	10		E1=	20		J=	1			-1	0	0	1	0		1
2	R2=	15		E2=	50						1	1	-1	0	0		0
3	R3=	20								A=	0	0	1	-1	-1	B=	0
4	R4=	30									10	0	20	30	0		20
5	R5=	50									0	-15	-20	0	-50		-50

Рисунок 3 - Скрин таблиці з системою рівнянь у чисельному вигляді

Розв'язуємо систему рівнянь. Для цього перемножуємо зворотну матрицю A на матрицю B

$$x = A^{-1} \cdot B.$$

Для цього використовуємо стандартні функції МУМНОЖ( ) та МОБР( ).

У комірки A7-A11 записуємо назви невідомих струмів. Формулу =МУМНОЖ(МОБР(K1:O5);Q1:Q5) в цьому прикладі необхідно ввести як формулу масиву. Для цього після її запису у комірку B7 виділяємо діапазон B7-B11 (за кількістю невідомих). Після цього натискаємо клавішу F2, а потім одночасно клавіші CTRL+SHIFT+ENTER.

На рис.4 наведено загальний скрин програми, а на рис. 5 - скрин результатів розрахунку.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	R1=	10		E1=	20		J=	1			-1	0	0	1	0		=H1
2	R2=	15		E2=	50						1	1	-1	0	0		0
3	R3=	20								A=	0	0	1	-1	-1	B=	0
4	R4=	30									=B1	0	=B3	=B4	0		=E1
5	R5=	50									0	=-B2	=-B3	0	=-B5		=-E2
6																	
7	I1	=МУМНОЖ(МОБР(К1:О5);Q1:Q5)															
8	I2	=МУМНОЖ(МОБР(К1:О5);Q1:Q5)															
9	I3	=МУМНОЖ(МОБР(К1:О5);Q1:Q5)															
10	I4	=МУМНОЖ(МОБР(К1:О5);Q1:Q5)															
11	I5	=МУМНОЖ(МОБР(К1:О5);Q1:Q5)															

Рисунок 4 - Загальний скрин програми

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	I
1	R1=	10		E1=	20		J=	1			-1	0	0	1	0			1
2	R2=	15		E2=	50						1	1	-1	0	0			0
3	R3=	20								A=	0	0	1	-1	-1	B=		0
4	R4=	30									10	0	20	30	0			20
5	R5=	50									0	-15	-20	0	-50			-50
6																		
7	I1	-0,6064																
8	I2	1,3191																
9	I3	0,7128																
10	I4	0,3936																
11	I5	0,3191																

Рисунок 5 - Загальний вигляд програми у чисельному вигляді

**Висновки.** Комп'ютерне моделювання є досить ефективним засобом, який сприяє розвитку творчих здібностей студентів, поглиблює міждисциплінарну інтеграцію, формує культуру виконання дослідницької роботи з використанням комп'ютера. Систематична діяльність із комп'ютерного моделювання сприяє формуванню інтересу до дослідницької діяльності.

Використання електронних таблиць Excel з урахуванням простоти його виконання, має ряд переваг перед звичайними методами програмування. Використання формул і найпростіших функцій Excel набагато легше, ніж найбільш простих мов програмування. Одночасно MS Office та його складова частина редактор електронних таблиць MS Excel є на багатьох комп'ютерах, у той час, як для використання методів програмування потрібне відповідне середовище розробки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курбатова Е.А. Microsoft Office Excel 2003. Стислий курс.
2. Козлов В.В., Набокова В.В. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими у лінійних електричних колах.

## АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ПІДМИКАННІ КОЛИВАЛЬНОГО КОНТУРУ ДО ДЖЕРЕЛА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННИХ ТАБЛИЦЬ EXCEL

Використання комп'ютерних моделей та чисельні методів дозволяє суттєво розширити коло електротехнічних задач, які можуть бути розв'язані. Для цього доцільно використовувати програму для розрахунків, яка не потребує спеціальної підготовки. Такий умові відповідає табличний процесор Microsoft Office Excel, яким користуються більшість студентів для здійснення розрахунків, що супроводжуються графічними побудовами. Хоча він має менше можливостей у порівнянні зі спеціалізованими пакетами (MathCAD, MathLAB та інші), але він дозволяє, на підставі відносно простих алгоритмів чисельного розв'язання диференційних рівнянь, створити математичні моделі значної кількості задач з електротехніки.

Розглянемо задачу моделювання перехідного процесу при підмиканні послідовного коливального контуру до джерела постійної напруги. При цьому для розв'язання диференційного рівняння використовуємо метод Ейлера, який призводить до правильного результату за достатньо малого кроку за часом.

Припустимо, що в електричному колі (рис. 1), яке містить послідовно з'єднані резистивний  $R$ , ємнісний  $C$  й індуктивний  $L$  елементи, до комутації ключ  $Q$  був розімкнений, а конденсатор не заряджений. Отже, початкові умови є нульовими:  $i(0_-) = 0$ ;  $u_C(0_-) = 0$ .

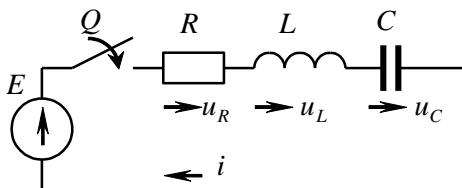


Рисунок 1 – послідовний коливальний контур

Запишемо рівняння електричної рівноваги на підставі другого закону Кірхгофа для коливального контуру після комутації

$$u_R + u_L + u_C = E .$$

З урахуванням співвідношень між струмом і напругами пасивних елементів кола маємо

$$R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt = E.$$

Продиференціюємо обидві частини рівняння

$$R \cdot \frac{di}{dt} + L \cdot \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{C} \cdot i = 0 \quad \text{або} \quad L \cdot \frac{d^2i}{dt^2} + R \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \cdot i = 0.$$

Оскільки це рівняння другого порядку, то розв'язок обов'язково містить 2 постійні інтегрування. Тому для визначення перехідного струму необхідно знати не тільки чисельне значення струмі при  $t = 0+$ , але й чисельне значення його першої похідної в цей момент часу. Ці значення знайдемо, використовуючи початкові умови, закони комутації й другий закон Кірхгофа

$$i(0_-) = i(0_+) = 0;$$

$$u_C(0_-) = u_C(0_+) = 0;$$

$$R \cdot i(0_+) + u_C(0_+) + L \frac{di}{dt}(0_+) = E.$$

Звідси

$$i(0_+) = 0;$$

$$\frac{di}{dt}(0_+) = \frac{E}{L}.$$

При складанні програми використовуємо метод Ейлера. Нехай  $n$  - номер кроку,  $\Delta t$  - довжина кроку. Тоді маємо

$$\frac{d^2i}{dt^2}_{n+1} = -\frac{R}{L} \cdot \frac{di}{dt}_n - \frac{1}{L \cdot C} \cdot i_n; \quad \frac{di}{dt}_{n+1} = \frac{di}{dt}_n + \frac{d^2i}{dt^2}_{n+1} \cdot \Delta t;$$

$$i_{n+1} = i_n + \frac{di}{dt}_n \cdot \Delta t; \quad t_n = n \cdot \Delta t.$$

У запису програми замість першої та другої похідних струму використовуємо змінні, які позначимо  $di$  та  $ddi$ .

Срин програми представлено на рис. 2.

```

Sub Макрос1()
' Перехідний процес у коливальному контурі
E = 10: R = 10: L = 0.04: C = 0.0002: i = 0: di = E / L:
t = 0: dt = 0.0002: n = 1:
While t < 0.05
UR = R * i: UL = L * di: UC = E - UR - UL:
Cells(n, 1) = t: Cells(n, 2) = i: Cells(n, 3) = UR:
Cells(n, 4) = UL: Cells(n, 5) = UC:
ddi = -i / (L * C) - di * (R / L): di = di + ddi * dt:
i = i + di * dt:
t = t + dt: n = n + 1:
Wend
End Sub

```

Рисунок 2 - Скрин програми розв'язання диференційного рівняння

На рис.3 представлені результати розрахунку

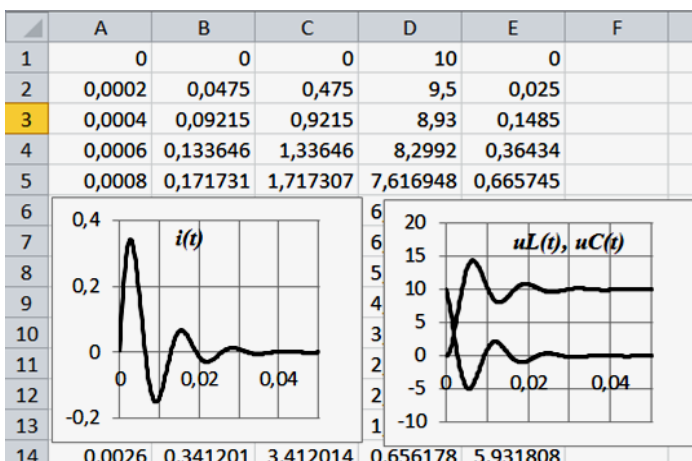


Рисунок 2 - Скрин результатів розрахунку

Як бачимо з графіків перехідний процес коливальний, загасаючий. Змінюючи у макросі параметри електричного кола можна досягти інших видів перехідного процесу

**Висновки.** Використання подібних комп'ютерних моделей на базі електронних таблиць Ексел сприяє встановленню міждисциплінарних зв'язків між математикою, інформатикою та електротехнікою. Вони можуть бути впроваджені при проведенні учбових досліджень, курсових та кваліфікаційних робіт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курбатова Е.А. Microsoft Office Excel 2003. Стислий курс.
2. Козлов В.В., Набокова В.В. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими у лінійних електричних колах.

УДК 621.396.674.3

Романіченко Г.М.

ст. викл. НУ "Запорізька політехніка"

## ГРАДІЄНТИ ФАЗОВИХ ШВИДКОСТЕЙ ВЕКТОРІВ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО І МАГНІТНОГО ПОЛІВ БЛИЖНЬОЇ ЗОНИ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДИПОЛЯ ГЕРЦА

Для вивчення фізичних процесів випромінювання електромагнітних хвиль природними джерелами, наприклад, грозових розрядів, розрядів в високовольтних ЛЕП або в процесі експлуатації електротранспорту, і. т. д. в діапазонах довгих хвиль в якості математичної моделі опису цих процесів може бути застосована теорія випромінювання диполя Герца [1].

В наданій роботі розглянуто різницю фаз поперечних компонент векторів напруженості електричного і магнітного полів а також градієнт цих функцій в залежності від координати точки спостереження . Представлено комп'ютерний аналіз залежності цих величин для ближньої, проміжної і дальньої зони випромінювання. Ці дані можна використовувати для аналізу процесів випромінювання різних джерел електромагнітних полів.

Різниця фаз ортогональних компонент електричного і магнітного полів, як і кордони ближньої і далекої зони випромінювання диполя Герца, залежать тільки від відношення  $r/\lambda$  [2].

$$\Psi_{E_{\theta}} - \Psi_{H_{\varphi}} = \arctg(kr) - \arctg\left(kr - \frac{1}{kr}\right) ,$$

а градієнт цієї функції:

$$\text{grad}\left(\Psi_{E_{\theta}} - \Psi_{H_{\varphi}}\right) = 2\pi \cdot \frac{3 \cdot k^2 r^2}{k^6 r^6 + 1} ,$$

де:  $k=2\pi/\lambda$  – хвильове число;  $r$  – відстань від джерела випромінювання до точки спостереження;  $\varphi, \theta$  – орти сферичної системи координат.

Значення фазових швидкостей електричних і магнітної компонентів поля, нормованих до швидкості світла в точці спостереження залежать тільки від відстані до диполя, віднесене до довжини хвилі ( $r/\lambda$ ):



$$\frac{V_{\Phi H\Phi}}{c} = \frac{kr}{kr - \arctg(kr)} ;$$

$$\frac{V_{\Phi E\Theta}}{c} = \frac{kr}{kr - \arctg\left(kr - \frac{1}{kr}\right)} .$$

Комп'ютерний аналіз зміни цих швидкостей представлено на рис.1.

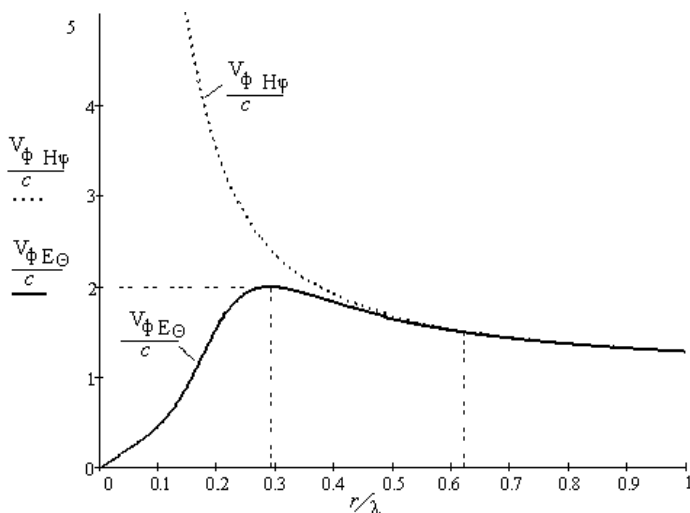


Рисунок 1 – Графік відносних значень фазових швидкостей поперечних компонент ЕМП.

З наданого розрахунку видно, що фазова швидкість магнітної компоненти більше за швидкість світла, а фазова швидкість електричної компоненти може бути і менше і більше за швидкість світла. На границі далекої зони випромінювання ( $r/\lambda > 0.62$ ) фазові швидкості обох компонент співпадають.

Граденти зміни фазових швидкостей електричних і магнітної компонент поля, нормованих до швидкості світла мають вигляд [2]:

$$\text{grad} \left( \frac{V_{\Phi H\Phi}}{c} \right) = 2\pi \cdot \frac{kr - (k^2 r^2 + 1) \cdot \arctg(kr)}{(k^2 r^2 + 1) \cdot [kr - \arctg(kr)]^2} ;$$

$$\text{grad} \left( \frac{V_{\Phi} E_{\Theta}}{c} \right) = 2\pi \cdot \frac{kr \cdot (k^2 r^2 + 1)^2 - (k^6 r^6 + 1) \cdot \text{arctg} \left( kr - \frac{1}{kr} \right)}{(k^6 r^6 + 1) \cdot \left[ kr - \text{arctg} \left( kr - \frac{1}{kr} \right) \right]^2}.$$

На рис. 2 наведено графічні залежності градієнтів фазових швидкостей поперечних компонент електричного і магнітного полів випромінювання диполя Герца в напрямку головного максимуму випромінювання в залежності від відношення  $r/\lambda$ .

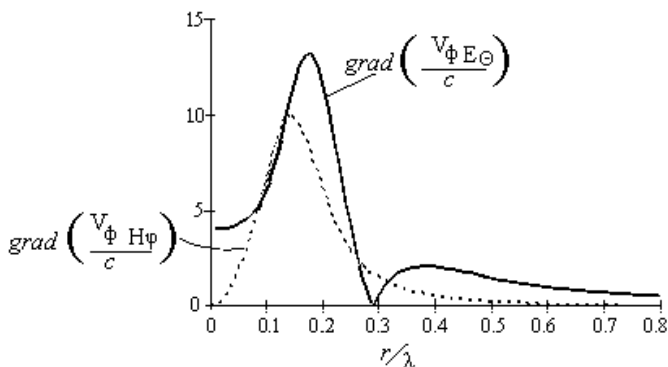


Рисунок 2 – Графічні залежності градієнтів фазових швидкостей поперечних компонент ЕМП.

Градiєнт змiни фазової швидкостi електричної компоненти поля має два екстремуми: при  $r/\lambda = 0.18$  і при  $r/\lambda = 0.36$ .

Фазова швидкiсть магнiтної компоненти та її градієнт ростуть зі зменшенням відстані до джерела.

Отримані співвідношення дозволяють досліджувати загальні закономірності змiни характеристик полів випромiнювання і їх градієнтів в залежності від відстані від диполя до точки спостереження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. М.-Л.: ГИТТЛ, 1948. - 539с.
2. Горобец М.М., Романіченко Г.М. Градієнти векторів пружності електричного і магнітного поля випромінювання диполя Герца на кінцевій відстані / Вісник Харківського університету №427, 1999, с.205–208.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ОБРОБЛЮВАНИХ ДЕТАЛЕЙ З УРАХУВАННЯМ НАСТУПНИХ ОПЕРАЦІЙ

Виготовлення деталей для різних приладів автоматики в значній мірі визначається фінішними операціями формоутворення і режимами їх обробки. Тому виникає необхідність моделювання процесу з метою знаходження оптимальних умов для формування поверхневого шару при механічній обробці. Обробка деталей з відомих матеріалів проводилася при дослідженні наступних параметрів процесу.

Мета роботи – дослідити залежність  $R_a = f(P, V, t, R_{a_{icx}}, z)$  з метою отримання рівняння регресії і подальшого використання його при визначенні оптимальних режимів обробки з урахуванням забезпечення найбільш високої продуктивності процесу. Для з'ясування залежності

$R_a = f(P, V, t, R_{a_{icx}}, z)$  необхідно провести експеримент з подальшим статичним аналізом отриманих результатів. Вказану задачу можна вирішувати традиційними методами планування експерименту. Однак для скорочення кількості дослідів застосовувалася теорія подібності.

Приведення залежності  $R_a = f(P, V, t, R_{a_{icx}}, z)$  до критеріального виду.

Введемо позначення:  $[F]$  - розмірність сили;  $[L]$  - розмірність довжини;  $[T]$  - розмірність часу.

У рівнянні  $R_a = f(P, V, t, R_{a_{icx}}, z)$  розмірність параметрів така:

$$[R_a] = [L]; [P] = [F] \cdot [L]^{-2};$$

$$[V] = [L] \cdot [T]^{-1}; [T] = [T]; \quad (1)$$

$$[R_{a_{icx}}] = [L]; [Z] = [L].$$

Так як тільки параметр  $P$  містить  $[F]$ , то безрозмірні критерії подібності не можуть бути отримані (немає параметра, «компенсуючого» розмірність). Для того щоб отримати безрозмірні критерії подібності, введемо в число незалежних змінних «компенсуючий» параметр  $\mu$ :

$$\mu = 1 \cdot F.$$

Тоді залежність (1) набуває вигляду

$$R_a = f(P, V, t, R_{a_{icx}}, Z, \mu). \quad (2)$$

Введемо позначення для 6 незалежних змінних рівняння (2) (табл. 1). Розмірність змінної  $X_i$  має вигляд

$$[X_i] = [F]^{\lambda_i^{(F)}} \cdot [L]^{\lambda_i^{(L)}} \cdot [T]^{\lambda_i^{(T)}}. \quad (3)$$

Таблиця 1

Параметр	Позначення	$[F]^{\lambda_i^{(F)}}$	$[L]^{\lambda_i^{(L)}}$	$[T]^{\lambda_i^{(T)}}$
P	X1	1	-2	0
V	X2	0	1	-1
T	X3	0	0	1
Ra <sub>icx</sub>	X4	0	1	0
z	X5	0	1	0
?	X6	1	0	0

Показники ступенів  $\lambda_i^{(F)}$ ,  $\lambda_i^{(L)}$ ,  $\lambda_i^{(T)}$  зведені в табл. 1. На підставі  $\pi$  – теореми подібності залежність (2) може бути представлена в критеріальному вигляді. Кожен з критеріїв подібності  $\pi$  має вигляд безрозмірного комплексу

$$\pi = \prod_{i=1}^6 X_L^{a_i},$$

тобто відшукування критеріїв подібності зводиться до визначення показників ступенів  $a_i$  при відповідних змінних  $X_L$ . Для цього перетворимо критерій  $\pi$  наступним чином:

$$\pi = \prod_{i=1}^6 X_L^{a_i} = k \prod_{i=1}^6 X_L^{a_i}, \quad (4)$$

Для визначення коефіцієнтів регресії проводимо повний факторний експеримент  $2^3$ . Фактори  $\pi_1, \pi_2, \pi_3$  варіюються на двох рівнях - максимальному і мінімальному. Діапазони варіювання параметрів  $R_{a_{icx}}$ , P, z, вказані в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри	min	Max
(мкм)	0,63	2,5
(кг / см <sup>2</sup> )	0,5	40
(мкм)	7	28

**Висновки.** Отримана залежність може використовуватися для прямого обчислення Ra по натуральним значенням параметрів, як це було описано

вище та в умовах виробництва зазвичай відомі вихідна шорсткість поверхні  $R_{a_{ісх}}$  і шорсткість після обробки деталі  $R_a$ . Тоді, використовуючи залежність, можна з'ясувати, якого типу пасту необхідно застосувати (параметр  $z$ ) і при якому тиску і швидкості вести обробку (параметри  $P$  і  $V$ ), щоб досягти найбільш високої продуктивності процесу (параметр  $t$ ).

УДК 621.3.01:519.876.5

Тиховод С.М.<sup>1</sup>, Драпак О.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-219М НУ "Запорізька політехніка"

## **ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСФОРМАТОРАХ**

Різка зміна режиму роботи силового трансформатора (наприклад, включення його під номінальну напругу, коротке замикання) призводить до перехідного процесу в його електромагнітній системі. Перехідний процес може протікати так, що магніторівід входить в повне насичення, а кидок струму може в десятки разів перевищити номінальне значення. Тому завдання оцінки перехідних процесів при різкій зміні режиму роботи силового трансформатора з феромагнітним осердям є актуальною.

В даний час таку оцінку широко проводять за допомогою моделювання електромагнітних процесів в схемах заміщення трансформатора і електричного кола, в яке він включений. Трансформатор розглядається як електромагнітне коло, що містить пов'язані між собою вітки різної природи. За електричним віткам протікає електричний струм, а по магнітним віткам - магнітний потік. Електричні струми, що протікають по обмотках, створюють відповідно до закону повного струму магніторушійних сили, і це враховується введенням в коло джерел напруги, керованих струмом (ДНУС). У дану годину таку оцінку широко проводять за допомогою моделювання електромагнітних процесів в схемах заміщення трансформатора і електричного кола, в яке він включений. Трансформатор розглядається як електромагнітне коло, що містить пов'язані між собою вітки різної природи. У електричних вітках протікає електричний струм, а по магнітним віткам - магнітний потік. Електричні струми, що протікають по обмотках, створюють відповідно до закону повного струму магніторушійних сили, і це враховується введенням в коло джерел напруги, керованих струмом (ДНУС). Для моделювання динамічних електромагнітних процесів в таких схемах заміщення розроблена спеціалізована програма COLO. Останнім часом в трансформаторобудуванні знаходить широке застосування холоднокатана

текстурована електротехнічна сталь. Ця сталь в порівнянні з гарячекатаною сталлю має більше значення магнітної проникності і більшого значення магнітної індукції насичення. При цьому залежність  $B(H)$  холоднокатаної текстурованої сталі має вигляд різко змінюється функції від нуля до магнітної індукції насичення. Це призводить до появи тенденції розбіжності обчислювального процесу при моделюванні.

Поставлена задача вирішена за допомогою програмного комплексу COLO, розробленого за участю авторів цієї статті [1]. Програма COLO призначена для розрахунку часових залежностей струмів, магнітних потоків, електричних і магнітних напруг в будь-яких елементах взаємопов'язаних електричних та магнітних нелінійних кіл. Вебер-амперні характеристики нелінійних магнітопроводів задаються масивами опорних точок магнітних напруг і магнітних потоків. Тому визначення напруги по заданому струму в проміжних точках в процесі обчислень виконується з використанням сплайн-інтерполяції. Масиви опорних точок кривих намагнічування отримують експериментально, а експериментальні точки завжди мають деякий розкид. Цей розкид може бути причиною розходження ітераційного процесу, який виконується на кожному кроці інтегрування. У програмі COLO характеристики нелінійних елементів обробляються спеціальними сплайн-функціями, що викликаються з Spline Toolbox системи Matlab.

У SplineToolbox передбачена робота не з самими характеристиками, а з їх pp-формами (наборами коефіцієнтів сплайн-інтерполяції), що спрощує апроксимацію і прискорює обчислення. Отримати pp-форму в системі Matlab можна за допомогою оператора:  $pp = csap(\mathbf{MB}, \mathbf{MH})$ , де  $\mathbf{MB}$ ,  $\mathbf{MH}$  - вектора опорних точок для  $B$  і  $H$  кривої намагнічування сталі. У SplineToolbox є також можливість використання згладжує сплайна з заданим коефіцієнтом згладжування. Однак для різко змінюється функції використання згладжує сплайна призводить до неадекватного результату. Якщо згладжує сплайн застосувати до логарифму залежності  $\ln H(B)$ , то отримана апроксимація виконується адекватно і при цьому згладжується розкид експериментальних точок кривої намагнічування. Це призводить до поліпшення стійкості чисельного методу, що застосовується при моделюванні електромагнітного процесу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тиховод С. М., Корнус Т.М., Паук Ю.И., Тарчуткин А.Л. Разработка алгоритма и программы расчета переходных процессов в нелинейных электрических цепях. / Електротехніка та електроенергетика. - 2003. - №1.
2. Тиховод С.М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения. Електротехніка та електроенергетика. – 2014. – №2.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Основним завданням планування експерименту є розташування експериментальних точок в досліджуваній області факторного простору з метою отримання найбільш точного математичного опису об'єкта при мінімальній кількості експериментів, що встановлюється заданим критерієм оптимальності плану. До оптимізації приступають після аналізу апріорної інформації. В області експерименту встановлюють основні рівні та інтервали варіювання факторів. Основним або нульовим рівнем фактору називають його значення, прийняте за вихідне в плані експерименту, по можливості ближче до оптимального значення.

Мета роботи – розробити методику проведення серії повних факторних експериментів (ПФЕ) по створенню навчальних вибірок для навчання нейронної мережі адаптації.

В якості даних для навчання нейронних мереж адаптації використовуються дані об'єктів регулювання і, відповідні кожному набору даних, оптимальні параметри настройки регулятора.

При проведенні одного ПФЕ шляхом послідовного перебору всіх можливих поєднань рівнів варіювання складається повна матриця планування, що складається з 8 вхідних (параметри об'єкта регулювання) і 8 вихідних наборів (параметри налаштування відповідного регулятора) значень для навчання нейронної мережі.

Кількість наборів даних  $Z$  для навчання нейронної мережі можна розрахувати наступним чином:

$$Z = 2^x \cdot F \cdot M, \quad (1)$$

де  $x$  – кількість змінних параметрів об'єкта регулювання,  $F$  – кількість проведених факторних експериментів з різними коефіцієнтами інтервалів варіювання,  $M$  – кількість заданих частотних показників коливальності.

Навчальна вибірка, що складається з одного повного факторного експерименту і одного заданого частотного показника коливальності для відтворення параметрів налаштування ідеального ПІД регулятора, в загальному вигляді представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Навчальна вибірка для тренування нейронної мережі адаптації

№ точки	Параметри об'єкта регулювання			Параметри налаштування ПІД-регулятора		
	$K_0$	$T_0$	$\tau_0$	$k_p$	$T_{\text{И}}$	$T_{\text{Д}}$
1	$K_0^{\min}$	$T_0^{\min}$	$\tau_0^{\min}$	$k_p^1$	$T_{\text{И}}^1$	$T_{\text{Д}}^1$
2	$K_0^{\max}$	$T_0^{\min}$	$\tau_0^{\min}$	$k_p^2$	$T_{\text{И}}^2$	$T_{\text{Д}}^2$
3	$K_0^{\min}$	$T_0^{\max}$	$\tau_0^{\min}$	$k_p^3$	$T_{\text{И}}^3$	$T_{\text{Д}}^3$
4	$K_0^{\max}$	$T_0^{\max}$	$\tau_0^{\min}$	$k_p^4$	$T_{\text{И}}^4$	$T_{\text{Д}}^4$
5	$K_0^{\min}$	$T_0^{\min}$	$\tau_0^{\max}$	$k_p^5$	$T_{\text{И}}^5$	$T_{\text{Д}}^5$
6	$K_0^{\max}$	$T_0^{\min}$	$\tau_0^{\max}$	$k_p^6$	$T_{\text{И}}^6$	$T_{\text{Д}}^6$
7	$K_0^{\min}$	$T_0^{\max}$	$\tau_0^{\max}$	$k_p^7$	$T_{\text{И}}^7$	$T_{\text{Д}}^7$
8	$K_0^{\max}$	$T_0^{\max}$	$\tau_0^{\max}$	$k_p^8$	$T_{\text{И}}^8$	$T_{\text{Д}}^8$

Всі отримані реалізації перехідних процесів та відповідних їм імпульсних перехідних характеристик показані на рисунку 1.

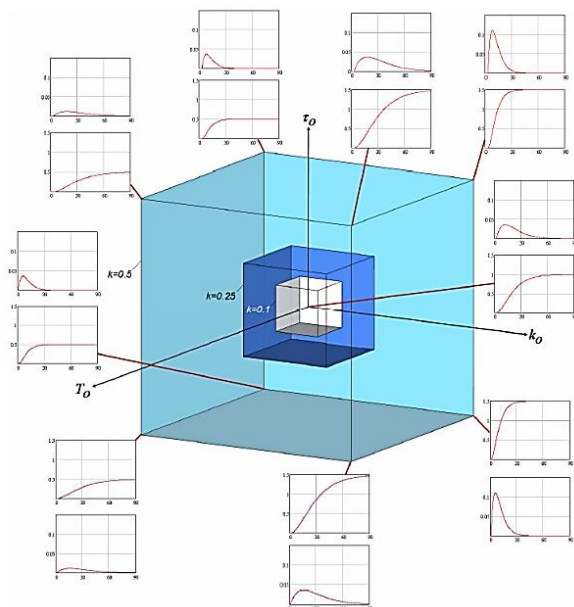


Рисунок 1 – Проведення ПФЕ та побудова графіків перехідних процесів та відповідних їм імпульсних перехідних характеристик для коефіцієнта інтервалу варіювання  $k = 0,5$



При навчанні нейронних мереж слід пам'ятати, що параметри налаштування регулятора  $\{k_p, T_w, T_d\}$  є групами чисел в різних діапазонах значень, тому для якісного навчання нейронної мережі необхідно провести нормування кожної групи параметрів в діапазоні дії обраної активаційної функції. Даний метод дозволяє звести до мінімуму вплив великих чисел на функцію мети навчання нейронної мережі та підвищити точність її навчання.

Нормування кожної групи параметрів проводиться згідно з формулою [1]:

$$x^{\text{норм}} = [(\min - \max) \cdot (x_i - \max\{x\})] / [\min\{x\} - \max\{x\}] + \max, \quad (2)$$

де  $x_i$  – поточне значення параметра регулятора,  $\{x\}$  – вектор значень нормованого параметра регулятора.

**Висновки.** Зроблений синтез тренувальних множин із застосуванням ПФЕ і спеціально введеним коефіцієнтом варіювання для навчання нейронних мереж адаптації. Досліджені можливості навчання адаптивних нейронних мереж декількома видами навчальних вибірок, що мінімізують критерії якості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М.: Наука, 1976.– 290 с.

УДК 621.3.01:519.876.5

Тиховод С.М.<sup>1</sup>, Ігуменов П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. Е-119сп НУ «Запорізька політехніка»

## РОЗРАХУНОК НЕЛІНІЙНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ЗАСТОСУВАННЯМ ДИСКРЕТНИХ СТРУМОВИХ МОДЕЛЕЙ

Для спрощення міркувань припустимо, що в електричному колі є тільки один нелінійний резистивний елемент, а інші елементи – лінійні. Тоді розглянемо лінійну частину кола як активний лінійний двополюсник, навантаженням якого є нелінійний резистивний елемент (рис. 1).

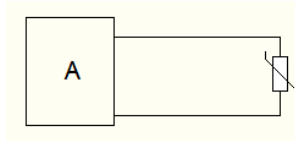


Рисунок 1 – Активний лінійний двополусник з нелінійним елементом.

Згідно з теоремою про еквівалентний генератор активний лінійний двополусник можна замінити еквівалентним генератором напруги (рис. 2а) або струму (рис. 2б).

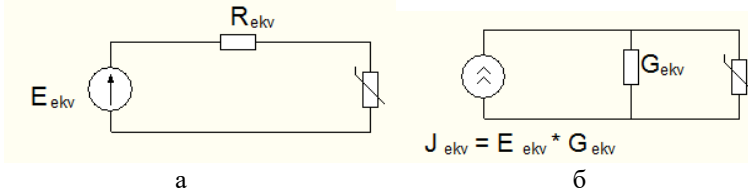


Рисунок 2 - Заміщення лінійного двополусника еквівалентним генератором

Якщо на одному графіку помістити навантажувальну характеристику активного лінійного двополусника і ВАХ нелінійного резистивного елемента (рис. 3), то точка перетину кривих ( $U_x$ ,  $I_x$ ), визначає режим роботи електричного кола, тобто струм  $I_x$  і напруга  $U_x$  на нелінійному опорі, які потрібно визначити.

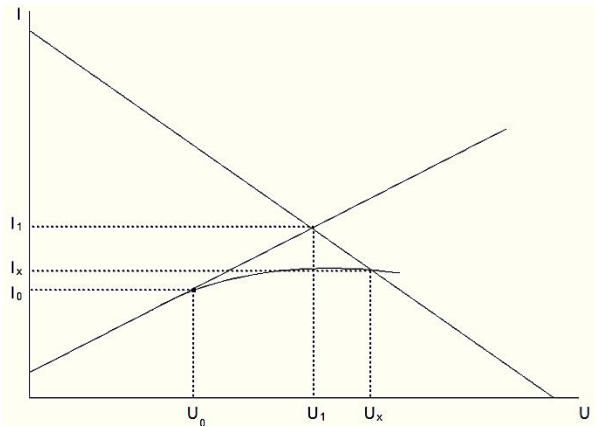


Рисунок 3 – Навантажувальна характеристика активного лінійного двополусника і ВАХ нелінійного резистивного елемента.

Нехай нам відомо якесь наближене рішення  $U_0, I_0$  – нульове наближення. В точці  $(U_0, I_0)$ , апроксимуємо ВАХ нелінійного опору прямої, дотичної до цієї точки. Тоді точка  $(U_1, I_1)$ , яка є точкою перетину апроксимуючої прямої і навантажувальної прямої, буде розташована ближче до точки  $(U_x, I_x)$ , і будемо розглядати її як наступне наближення до істинного рішення. В точці  $(U_1, I_1)$ , знову будується дотична до ВАХ, і знову ВАХ апроксимується цієї дотичної і так далі, поки не наблизимося до точки  $(U_x, I_x)$  з заданою точністю.

Розглянемо наступну інтерпретацію дотичній до ВАХ. Уявімо, що дотична до ВАХ – це навантажувальна характеристика деякого активного двополюсника, який замінимо еквівалентним генератором струму. Тоді активний лінійний двополюсник, навантажений на нелінійне опір можна представити схемою заміщення, наведеної на рис. 4.

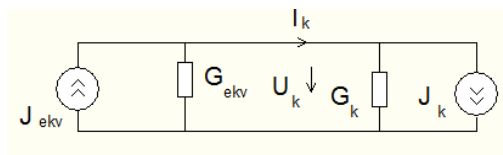


Рисунок 4 – Схема заміщення активного лінійного двополюсника, навантаженого на нелінійний резистивний елемент.

Таким чином, нелінійний резистивний елемент замінений еквівалентною струмовою моделлю з елементами  $G_k$  і  $J_k$ . Визначимо параметри струмової моделі нелінійного резистивного елемента. З геометричних міркувань (рис. 3) можна показати, що

$$G_k = \operatorname{tg}(\alpha); J_k = I_k - U_k \cdot G_k, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу дотичної до кривої в точці ВАХ  $U_k, I_k$ .

Таким чином, вирази (1) дозволять визначити параметри струмової моделі нелінійного опору, т. е.  $G_k$  і  $J_k$ . Провідність  $G_k$  дорівнює

$$G_k = \operatorname{tg}(\alpha) = \left. \frac{dI}{dU} \right|_{I=I_k}. \quad (2)$$

На кожному кроці ітерації параметри  $J_k, G_k$  струмової моделі змінюються. Тому дана струмова модель називається дискретною струмовою моделлю.

Якщо ітераційний процес не сходиться, то пропонується наступний прийом, підвищує збіжність. Значення  $J_k$ ,  $G_k$  на кроці ітерації  $k$  обчислюються з використанням значень на попередньому кроці:

$$G_k = \frac{G_k + (p-1) G_{k-1}}{p}; \quad J_k = \frac{J_k + (p-1) J_{k-1}}{p}, \quad (3)$$

де  $p$  – параметр, що приймає значення в межах 2-20.

Використовуючи формули (3) можна домогтися збіжності ітераційного процесу, навіть якщо спочатку процес був дивергентним.

Цикли ітерацій повторюються до тих пір, поки всі струми і напруги не досягнуть з заданою точністю своїх постійних значень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тиховод С. М. Усовершенствование итерационных методов решения систем нелинейных уравнений состояния магнитоэлектрических схем замещения/ С.М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика . – 2015. – №1 . – С. 46-49.

УДК 621.3.012

Козлов В.В.<sup>1</sup>, Піскун В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-317 НУ "Запорізька політехніка"

### АНАЛІЗ РЕЗОНАНСНИХ ЯВИЩ У ПОСЛІДОВНОМУ КОЛИВАЛЬНОМУ КОНТУРІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННИХ ТАБЛИЦЬ EXCEL

У наші дні вивчення дисципліни "Теоретичні основи електротехніки" важко уявити без використання комп'ютерного моделювання електричних і магнітних кіл. При цьому доцільно використовувати широкодоступні і відомі студентам програмні засоби. До таких можливостей належать електронні таблиці Excel. Це багатофункціональний табличний процесор, що включає в себе електронні таблиці, засоби візуального програмування й графічний модуль, за допомогою якого можна дістати кругові й стовпчасті діаграми, побудувати графіки. Пакет Excel дозволяє розв'язати безліч різних задач, пов'язаних зі знаходженням похідних, інтегралів, чисельним розв'язком диференціальних рівнянь. Головними перевагами пакета Excel перед іншими системами є: легкість і наочність програмування задач; запис складних

математичних виразів в тому вигляді, в якому вони зазвичай записуються на аркуші паперу; простота у використанні; можливість створення вбудованими засобами високоякісних технічних звітів з таблицями, графіками, текстом.

У якості приклада використання пакета Excel розглянемо аналіз резонансних явищ у послідовному коливальному контурі.

Нехай задана схема послідовного коливального контуру (рис. 1) та параметри окремих елементів. Потрібно розрахувати та побудувати графіки резонансних характеристик за умови зміни окремих параметрів.

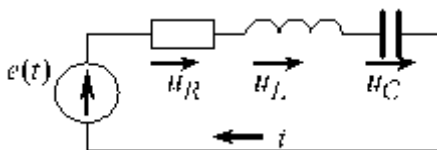


Рисунок 1 – Послідовний коливальний контур

Вихідні дані: змінною величиною є частота джерела живлення.

$$\omega = \text{var}; \quad E := 100 \text{ В}; \quad R := 200 \text{ Ом}; \quad L := 0.5 \text{ Гн}; \quad C := 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

Розрахункові формули, які використовувались для моделювання:

$$XL(\omega) = \omega \cdot L; \quad XC(\omega) = \frac{1}{\omega \cdot C}; \quad X(\omega) = XL(\omega) - XC(\omega);$$

$$I(\omega) = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X(\omega)^2}}; \quad UL(\omega) = XL(\omega) \cdot I(\omega);$$

$$UC(\omega) = XC(\omega) \cdot I(\omega); \quad F(\omega) = \frac{X(\omega)}{R}; \quad \omega = \arctg(F(\omega)).$$

Програма, текст якої представлено на рис. 2, створює таблицю, у стовбцях А...F якої фіксуються значення частоти  $\omega$ , сили струму  $I$ , спади напруги на резистивному  $U_R$ , індуктивному  $U_L$  та ємнісному  $U_C$  елементах і тангенс фазового зсуву  $F$ . Фазовий зсув між ЕРС джерела та струмом обчислюємо у сьомому стовбці G за допомогою стандартних функцій  $\text{ГРАДУСИ}()$  та  $\text{ATAN}()$ .

```

Sub Макрос1()
'Аналіз коливального контуру
E = 100: R = 200: L = 0.5: C = 0.000002:
For i = 1 To 150:
w = 20 * i: XL = w * L: XC = 1 / (w * C):
X = XL - XC: Z = Sqr(R * R + X * X):
Strum = E / Z: UR = Strum * R:
UL = Strum * XL: UC = Strum * XC: F = X / R:
Cells(i, 1) = w: Cells(i, 2) = Strum: Cells(i, 3) = UR:
Cells(i, 4) = UL: Cells(i, 5) = UC: Cells(i, 6) = F:
Next
End Sub

```

Рисунок 2 - Програма для моделювання резонансних явищ у послідовному коливальному контурі

Результати моделювання представлені на рис. 3.

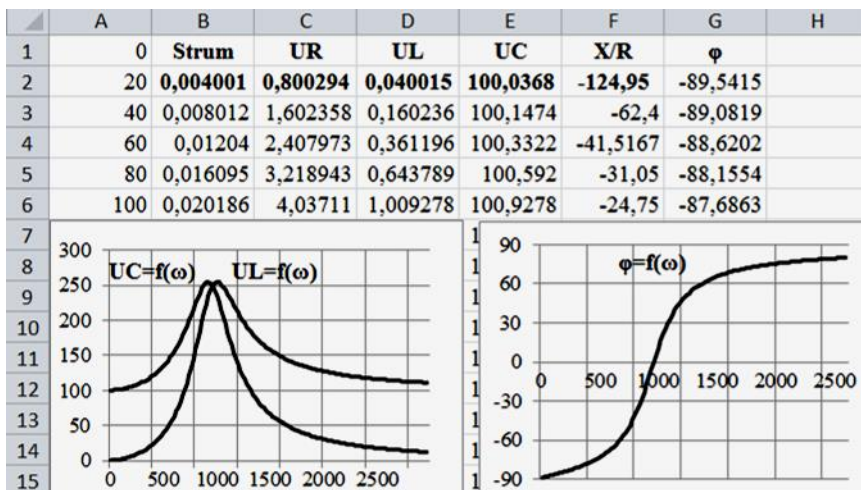


Рисунок 3 - Чисельні та графічні результати моделювання резонансних явищ у послідовному коливальному контурі

Як можна побачити з графіків, які приведені на рис.3 резонанс напруг має місце при частоті  $\omega_0 = 1000$  рад/с.

**Висновки.** Використання пакета Excel дає можливість не лише виконати аналіз послідовного коливального контуру при зміні його параметрів, але й відобразити результати такого аналізу у наочному графічному вигляді.

Комп'ютерне моделювання є досить ефективним засобом, який сприяє розвитку розвитку творчих здібностей студентів, поглиблює міждисциплінарну інтеграцію, формує культуру виконання дослідницької роботи з використанням комп'ютера. Систематична діяльність із комп'ютерного моделювання сприяє формуванню інтересу до дослідницької діяльності.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Курбатова Е.А. Microsoft Office Excel 2003. Стислий курс.
2. Козлов В.В., Набокова В.В. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими у лінійних електричних колах.
3. Козлов В.В., Піскун В.В. Аналіз резонансних явищ у послідовному коливальному контурі за допомогою пакета MATHCAD.

УДК 621.3.049

Набокова О.В.<sup>1</sup>, Дикусар І.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка

<sup>2</sup> студ. гр. Е-418а НУ "Запорізька політехніка

## **МІКРОПРОЦЕСОРИ – ПРИЗНАЧЕННЯ, ТИПИ, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ**

Мікропроцесор - це інтегральна схема , що виконує функції центрального процесора. Сьогодні слово мікропроцесор практично синонім слова процесор, оскільки функціональний блок, що на ранніх стадіях розвитку обчислювальної техніки займав цілу шафу, тепер вміщається в одну невеличку інтегральну схему із сотнями мільйонів транзисторів всередині. З середини 1990-х мікропроцесори витіснили інші види ЦП, але центральні процесорні пристрої деяких суперкомп'ютер навіть сьогодні є складними комплексами великих (BIC) і надвеликих (NBIC) інтегральних схем.

Електроенергетика належать до числа технічних систем, де автоматизація, а потім і комп'ютеризація розвивались досить успішно. Однак на теперішній час мова йде про перехід у якісно новий стан - в енергетику інформатизовану, що відрізняється суттєво більш високими показниками по відношенню якості енергії, продуктивності праці, економічності при дуже високій надійності. Важливим кроком у перетворенні енергетики в інформатизовану було створення ієрархічної системи протиаварійного управління, самою нижчою ланкою якого є кінцеві точки та вузли енергосистеми (ЕС): генератори, їх власні потреби, високовольні пристрої, системні підстанції, споживчі підстанції й безпосередньо комутаційне

електрообладнання. Тому без вирішення проблеми комплексної автоматизації й побудови розвинутої системи управління «знизу до верху», узгодження математичних моделей різних рівнів управління і забезпечення необхідного обміну інформацією між ними на основі використання мікропроцесорної техніки (і, у тому числі, мікроконтролерів) і з впровадженням нових інформаційних технологій неможливо підняти рівень енергетики на якісно новий рівень.

Закордонний досвід експлуатації мікропроцесорних (МП) пристроїв різного призначення показав, що вони мають такі ж або кращі показники надійності й значно менші затрати праці на технічне обслуговування порівняно із традиційними системами. За останні десятиліття мікропроцесорні захисти замінили електромеханічні реле на переважний більшість об'єктів енергетики й промисловості, крім розподільних мереж напругою 10 (6) кВ.

Пристрої мікропроцесорні РЗЛ-03-100 (-03-200) призначені для релейного захисту, автоматизації, керування й сигналізації про стан повітряних і кабельних ліній електропередачі напругою 10(6) кВ, трансформаторів (наприклад, як резервний захист) тощо.

Чотири основних переваги. По-перше, пристрій є повною заміною реле РТ-80, РС-80М2, тобто має ту ж форму корпусу і є аналогічним за умовами експлуатації ( $-40, +55$  °С), має схеми прив'язки під різні типи вимикачів, аналогічно існуючим, що спрощує проектні роботи й монтаж на підстанції, має аналогічні функції, у тому числі живлення від струмів КЗ за відсутності оперативної напруги на підстанції. По-друге, має додаткові незаперечні переваги порівняно з мікроелектронними й електромагнітними реле: постійна самодіагностика - реле несправності вказує на працездатність пристрою; додаткові функції захисту - прискорення МСЗ; оперативне прискорення; блокування ТО; захист двигуна від асинхронного ходу; додаткові функції контролю - вимірювання і відображення фазних струмів; контроль справності кіл керування вимикачем; додаткові функції індикації - відображення параметрів останньої аварії на дисплеї і світлодіодах, робота входів тощо). По-третє, спрощене меню і його візуалізація полегшує роботу релейного й оперативного персоналу. Меню містить всі необхідні уставки й параметри для використання реле. Мікропроцесорний пристрій РЗЛ-03 знижує трудомісткість робіт з технічного обслуговування; відображає параметри останньої аварії; легко квітується кнопкою керування або ключем керування за входом пристрою. По-четверте, має привабливу й конкурентоспроможну ціну порівняно з мікроелектронними реле й аналогічним рішенням на електромеханічні реле.

Недоліки мікропроцесорних реле: вплив на роботу реле електромагнітних збурень з боку мережі живлення. Існує досить дивна на



перший погляд ситуація, при якій швидкодіючі мікропроцесорні захисти реагують на аварійний режим набагато повільніше, ніж електромеханічні; надмірність інформації; можливість навмисних дистанційних дій на мікропроцесорний релейний захист з метою порушення його нормальної роботи.

Але недоліки мікропроцесорних пристроїв не є суттєвими. Впровадження мікропроцесорних технологій в підприємства електроенергетичної галузі доцільно і обґрунтовано безліччю незаперечних переваг.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Кідиба В. П., Релейний захист електричних систем: підручник. / В. П. Кідиба – Львів: «Львівська політехніка», 2015. –533 с.
2. Матвієнко М. П. Основи електроніки : Київ, 2017. – 226 с.

УДК 621.3.012

Набокова О.В.<sup>1</sup>, Бурлай Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-418а НУ "Запорізька політехніка"

## **EDDY CURRENTS - MAIN CHARACTERISTICS, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES**

Eddy currents (also called Foucault currents) are electric current loops that are induced inside the conductors by changing the magnetic field in the conductor according to the Faraday Law of induction. Eddy currents flow in closed loops inside the conductors, in planes perpendicular to the magnetic field. In such case, not the field itself can change, but the position of the conductor in this field, that is, if the conductor starts to move in a static field, then Foucault currents will still form in it. The trajectory of such currents cannot be determined. It is only known that the current flows in the place where the resistance is minimal.

Closed cyclic currents can be formed in a conductor only if the magnetic field in which the conductor is located has an unstable structure. From this it follows that the force of the eddy currents has a direct relationship with the rate of change of the magnetic flux passing through the conductor. According to the generally accepted theory, electrons move linearly in the conductor due to the potential difference, which means that the current has a direct direction. Foucault currents behave in a completely different way and form a vortex closed circuit directly in the conductor. Moreover, these currents are capable to interact with the magnetic field, which created them. That is, the conclusion is that the magnetic

field generated by eddy currents does not allow the magnetic flux that created these currents to change.

In the transformer, the core is assembled from separate plates. With this “fragmentation”, they try to minimize the negative influence of the Foucault currents, which heat the core. Heating leads to reduced efficiency, and severe overheating leads to melting of the insulation and destruction of the transformer.

That is why, the core is assembled from thin plates, isolated from each other by a layer of varnish or other insulating material. This method of core assembly minimizes core losses, that is, reduce eddy currents to a minimum.

These currents carry not only negative effects. They have long learned to use it for the benefit of our lives. For example, the properties of eddy currents are used in induction meters. These currents slow down the rotation of the aluminum disk, which rotates under the influence of a magnetic field. Also, the creation of induction steel-making furnaces has made an incomparable contribution to the development of the entire modern steel industry. Such furnaces work as follows: the metal to be melted is placed inside the coil, through which an increased frequency current begins to pass.

The same interactions helped to realize the idea of creating a pump for pumping molten metals. Foucault currents cause the appearance of a skin effect. As a result of their action, the efficiency of the conductor decreases, since the actual current is absent in the center of the conductor cross section, but prevails at its periphery.

To reduce energy losses, especially when transmitting over long distances, a multi-channel cable is adopted, each core in which has its own insulation. Eddy currents, namely induction furnaces designed on their basis, are widely used in metallurgy. Even in everyday life, we use induction stove, the principle of which is also based on the use of the effect of the formation of eddy currents.

УДК 621.3.012

Набокова О.В.<sup>1</sup>, Колісник Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-418а НУ "Запорізька політехніка"

## **THE APPLICATION OF LAPLACE-TRANSFORM METHOD TO FINDING CIRCUIT SOLUTIONS**

The classical method of transient analysis requires, in the general case, the repeated manipulation of algebraic equations in order to elucidate constants of integration from initial conditions and the initial values of a function and its derivatives. This is the major drawback of the classical method.

As the differential equations describing the transient taking place in lumped-parameter linear circuits are linear equations with constant coefficients, they may be integrated by the operational method based on Laplace transform.

At a transient analysis by operational method it is convenient to write down the equations by any known method which is based on Kirchhoff's equations. Each of these combined equations can be written having made equivalent operational circuit for the rated electrical circuit. The definition of originals of required currents or voltages is used by going from the image domain to the time domain through the performing the inverse Laplace transformation.

Let's consider step response of second-order system (*RLC* circuit). Let it be desired to find the complete current response in the circuit of Fig. 1 after the switch *S* is closed. For simplification of the problem we consider that the capacitor has no initial charge before switching.

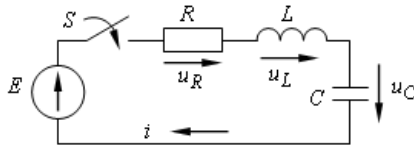


Figure 1 - RLC series circuit

Because the switch in Fig. 1 is initially open, it follows that  $u_C(0) = 0$ . Since we have a zero initial condition here the internal e.m.f. produced by the voltage across the capacitor is also equal to zero. Then we have the following operational circuit described in Fig.2.

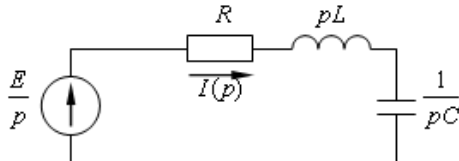


Figure 2 - Operational RLC circuit.

The governing differential equation for the circuit is found upon applying Kirchhoff's voltage law. Thus

$$E = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt . \quad (1)$$

Equation (1) is a second-order nonhomogeneous differential equation because it involves a derivative as well as an integral term. Laplace transforming each term of the equation yields

$$\frac{E}{p} = I(p) \cdot \left( R + pL + \frac{1}{pC} \right). \quad (2)$$

The function in brackets is the operational impedance of the series  $RLC$  circuit. The operational current in the  $p$  domain then readily becomes

$$I(p) = \frac{CE}{p^2LC + pRC + 1} = \frac{E/L}{\left( p^2 + p \frac{R}{L} + \frac{1}{LC} \right)}. \quad (3)$$

A glance at Eq. (3) shows that the denominator expression does not include an  $p$  factor standing alone. This means that a constant term in the steady-state solution does not exist. Accordingly, it involves each of the three circuit parameters. Moreover, the expression is quadratic because of the presence of two energy-storing elements. From the experience we have gained so far in evaluating the inverse Laplace transform using the Table of Laplace transform into a time function.

Before we can proceed further in the solution procedure for  $i(t)$  in the situation now under consideration, we must first find the specific roots of the quadratic expression. That is, we must determine those values of  $p$  which satisfy the equation

$$R + pL + \frac{1}{pC} = 0. \quad (4)$$

It is called the *characteristic equation* of the second-order system. The roots of this equation, which are also the poles of  $I(p)$  in this instance, depend solely upon the circuit parameters. If  $p_1$  and  $p_2$  are the roots of the characteristic equation the formal expression for the time solution becomes

$$i(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}. \quad (5)$$

Thus the characteristic manner in which the transient terms decay is solely dependent on the roots  $p_1$  and  $p_2$ . The total solution in this case involves only a transient term because the forced solution is zero because it is always equal to zero in dc series  $RLC$  branches.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Данько В.Г., Мілих В.І., Черкасов А.К. та ін. Електротехніка: Навчальний посібник для самостійної роботи студентів. - К.: УМК ВО, 2004 - 94 с.

2. Nabokova O.V. Theoretical Electrical Engineering. Навчальний посібник для електро-технічних спеціальностей ВНЗів. – Запоріжжя: Видавництво ЗНТУ, 2015. – 477с.

УДК 621.3.012

Набокова О.В.<sup>1</sup>, Вовк В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-418а НУ "Запорізька політехніка"

### ПОТЯГИ НА МАГНІТНІЙ ПОДУШЦІ – ТРАНСПОРТ, ЗДАТНИЙ ЗМІНИТИ СВІТ

Потяги на магнітній подушці, маглева (Maglev trains) - найшвидший вид наземного громадського транспорту. Як це працює? Якщо піднести північний полюс постійного магніту до північного полюса іншого магніту вони будуть відштовхуватися. Якщо один з магнітів перевернути, з'єднавши різні полюси - притягатися. Цей принцип закладений в поїздах-маглева, які ковзають по повітрю над рейкою на незначній відстані.

В основі технології магнітного підвісу лежать три основні підсистеми: левітації, стабілізації і прискорення. У той же час на даний момент існує дві основні технології магнітного підвісу і одна експериментальна, доведена лише на папері.

Потяги, побудовані на базі технології електромагнітного підвісу (EMS) для левітації використовують електромагнітне поле, сила якого змінюється за часом. При цьому практична реалізація даної системи дуже схожа на роботу звичайного залізничного транспорту. Тут застосовується Т-образне рейковий полотно, виконане з провідника (в основному металу), але поїзд замість колісних пар використовує систему електромагнітів - опорних і напрямних. Працює система левітації завдяки батареям, встановленим на борту поїзда, які заряджаються лінійними генераторами, вбудованими в опорні магніти. Таким чином, в разі зупинки потяг зможе досить довго левітувати на батареях. На базі технології EMS побудовані поїзда Transrapid і, зокрема, шанхайський маглев.

Потяги на базі технології EMS наводяться в рух і здійснюють гальмування за допомогою синхронного лінійного двигуна низького прискорення, представленого опорними магнітами і полотном, над яким

летить магнітоплан. За великим рахунком, рухова система, вбудована в полотно, являє собою звичайний статор, розгорнутий вздовж нижньої частини полотна, а опорні електромагніти, в свою чергу, працюють в якості якоря електродвигуна. При цьому щоб уповільнити хід, потрібно всього лише змінити напрям магнітного поля.

У разі застосування технології електродинамічного підвісу (EDS) левітація здійснюється при взаємодії магнітного поля в полотні й поля, створюваного надпровідними магнітами на борту складу.

Головною перевагою системи EDS є висока стабільність - при незначному скороченні відстані між полотном і магнітами виникає сила відштовхування, яка повертає магніти в початкове положення, в той же час збільшення відстані знижує силу відштовхування і підвищує силу тяжіння, що знову ж таки веде до стабілізації системи. У цьому випадку ніякої електроніки для контролю і коригування відстані між поїздом і полотном не потрібно.

Варто також відзначити, що сильні магнітні поля в секції для пасажирів породжують необхідність установки магнітного захисту. Без екранування подорож в такому вагоні для пасажирів з електронним стимулятором серця або магнітними носіями інформації протипоказано.

На даний момент майбутнє поїздів на магнітній підвісці виглядає туманно більшою мірою через позамежної дорожнечі подібних проектів і тривалого періоду окупності. У той же час безліч країн продовжують інвестувати величезні кошти в проекти зі створення високошвидкісних залізничних магістралей (BCM). Не так давно в Японії було відновлено швидкісні випробування поїзда на магнітній подушці Maglev L0, який увійде в експлуатацію до 2027 року.

Є ще один сценарій розвитку подій. Як відомо, одним із шляхів підвищення ефективності поїздів на магнітній подушці є застосування надпровідників, які при охолодженні до близьких до абсолютного нуля температур повністю втрачають електричний опір. Однак тримати величезні магніти в баках з надзвичайно холодними рідинами дуже дорого, так як щоб утримувати потрібну температуру, потрібні величезні «холодильники», що ще більше підвищує вартість.

Але ніхто не виключає ймовірності, що в найближчому майбутньому світила фізики вдасться створити недороге речовина, що зберігають надпровідні властивості навіть при кімнатній температурі. При досягненні надпровідності при високих температурах потужні магнітні поля, здатні утримувати на вазі машини і поїзди, стануть настільки доступними, що навіть «літаючі автомобілі» виявляться економічно вигідними.

## **АКТУАЛЬНІСТЬ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ**

Починаючи з 1970-х років, вугілля послідовно займало 60-70% у глобальному виробництві електроенергії. 50-річний період добігає кінця, оскільки дешеві відновлювані джерела енергії і акумулятори принципово перебудовують енергосистеми по всьому світу.

Інвестиції у чисту енергію продовжуватимуть зростати, оскільки зелені технології стануть дешевшими і ефективнішими. Згідно зі звітом, в нові енергопотужності в період між 2018 і 2050 роками буде інвестовано \$11,5 трлн, з яких \$8,4 трлн припадатиме на вітрову і сонячну енергію, а ще \$1,5 трлн – на інші безвугільні технології, такі як гідроелектростанції та АЕС.

До 2050 року близько 50% усієї світової електроенергії видобуватиметься на сонячних та вітряних електростанціях. Причиною цього стане те, що суттєво впаде собівартість її видобутку через появу дешевих літій-іонних батарей та спрощення накопичення, зберігання й розподілу енергії.

Загалом же частка безвуглецевих видів енергії (ГЕС, АЕС тощо) до 2050 року складе 71%, і лише 29% припадатиме на викопні джерела енергії.

Вартість установки сонячних ферм та видобутку сонячної енергії до 2050 року знизиться на 71%, а вітрової – на 58%. Таким чином, конструювання нових сонячних та вітрових електростанцій стане значно прибутковішою справою, ніж будівництво нових масштабних вугільних і газових заводів.

Літій-іонні батареї уже впали в ціні на 80% порівняно з 2010 роком, а їхнє подальше здешевлення дозволить накопичувати електроенергію в непікові періоди і продавати її в систему, коли навантаження найбільше.

Поява дешевого сховища електроенергії буде означати, що накопичувати електроенергію від вітру та сонця стає все вигідніше, оскільки нові технології дозволять задовольняти попит навіть тоді, коли вітер не віє, а сонце не світить.

Економічні передумови для будівництва нових вугільних і газових потужностей зникають, оскільки акумулятори високої ємності перебирають на себе основну функцію цих потужностей – генерувати максимальну кількість електроенергії в часи пікового навантаження.

Окрім зниження цін на літій-іонні батареї, ключову роль в розвитку зеленої енергетики відіграватиме збільшення розміру вітрових турбін – їхній

великий розмір допоможе знизити вартість енергії і в разі підвищити ефективність.

До 2050 року відновлювані джерела енергії становитимуть 87% від усієї електроенергії, причому домінуючу роль відіграватимуть вітрова і сонячна енергія.

УДК 621.3.012

Набокова О.В.<sup>1</sup>, Безродній О.Є.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. Е-418а НУ "Запорізька політехніка"

## НЕЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Нелінійними називаються електричні кола, що містять елементи, які мають нелінійну вольт-амперну характеристику (ВАХ) (залежність між струмом, що протікає по елементу, і напругою на ньому). На відміну від лінійних, що мають прямолінійну ВАХ, нелінійні елементи (НЕ) не підкоряються закону Ома:  $I = U/R$

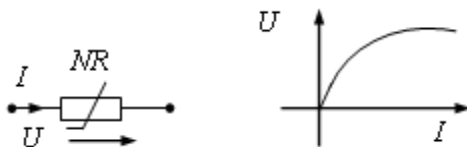


Fig. 1. A general nonlinear resistor and its volt-ampere characteristic

Для виконання розрахунку нелінійних електричних кіл постійного струму повинна бути відома ВАХ нелінійного елемента (або елементів, якщо їх декілька), представлена у вигляді графіка або таблиці. Аналітичний метод розрахунку таких кіл досить складний, тому найбільш прийнятним на практиці є графоаналітичний метод.

При цьому до тієї частини електричного кола, яка містить лінійні елементи, застосовні всі методи розрахунку і перетворення електричних кіл.

Якщо в колі міститься кілька нелінійних елементів, то їх необхідно замінити еквівалентним НЕ з еквівалентної ВАХ за наступним принципом:

- при послідовному з'єднанні загальним є струм, а напруга дорівнює сумі напруг на окремих елементах, тому, задавшись значенням струму, по ВАХ нелінійних елементів знаходять відповідні напруги, а потім їх суму: задане значення струму і сумарне значення напруги визначають точку еквівалентної ВАХ;



- при паралельному з'єднанні загальною є напруга, а струм дорівнює сумі струмів окремих елементів, тому, задавшись значенням напруги, по ВАХ нелінійних елементів знаходять відповідні струми, а потім їх суму: задане значення напруги і сумарне значення струму визначають точку еквівалентної ВАХ.

- при змішаному сполученні слід спочатку побудувати ВАХ ділянки з паралельним з'єднанням елементів, а потім ВАХ всього кола. Маючи в розпорядженні всі ВАХ, неважко визначити струми і напруги окремих елементів.

Характеристики нелінійних елементів

Для кожного нелінійного елемента розрізняють статичний опір, що відповідає даній точці вольт-амперної характеристики, наприклад, точці А:

$$R_{ст} = U/I = \mu_{OB} / m_{iBA} = m_r \operatorname{tg} \alpha$$

і диференційний опір, яке для тієї ж точки А визначається за формулою:

$$R_{диф} = dU/dI = \mu_{DC} / m_{iCA} = m_r \operatorname{tg} \beta$$

де  $\mu$ ,  $m_i$ ,  $m_r$  - відповідно масштаби напруг, струмів та опорів.

Статичний опір характеризує властивості нелінійного елемента в режимі постійного струму, а диференціальне - при малих відхиленнях струму від сталого значення. Обидва вони змінюються при переході від однієї точки і вольт-амперної характеристики до іншої, причому перше завжди позитивне, а друге - знакозмінні: на висхідному ділянці вольт-амперної характеристики воно позитивне, а на падаючому ділянці - негативний.

Нелінійні елементи характеризуються також зворотними величинами: статичної провідністю  $G_{ст}$  і диференціальної провідністю  $G_{диф}$  або безрозмірними параметрами - відносним опором:  $K_r = - (R_{диф}/R_{ст})$  або відносною провідністю:  $K_g = - (G_{диф} / G_{ст})$

У лінійних елементів параметри  $K_r$  і  $K_g$  рівні одиниці, а у нелінійних елементів відрізняються від неї, причому чим більше вони відрізняються від одиниці, тим більше проявляється нелінійність електричного кола.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідковий посібник з електротехніки та основ електроніки / Під ред. А.А.Нетушіла.-М.: Вища школа, 1985.-248 с
2. Електротехніка / Під ред. В.Г.Герасімова. - М.: Вища школа, 1985.-480с.

УДК 631.544

Афанасьєва І.О.<sup>1</sup>, Дідух Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ст. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. М- 218 НУ "Запорізька політехніка"

## ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДІВ

Перший світлодіод, який працює у видимому діапазоні, був розроблений групою Ніка Голоняка, в компанії General Electric, в 1962 р. Нік Голоняк до речі має українське коріння.

Світлодіод - напівпровідниковий пристрій, що випромінює некогерентне світло, при пропусканні через нього електричного струму (ефект, відомий як електролюмінесценція. На відміну від ламп розжарювання, які випромінюють світловий потік широкого спектру, рівномірно у всіх напрямках, звичайні світлодіоди випромінюють світло певної довжини хвилі і в певному напрямі. Світлодіоди були удосконалені до лазерних діодів, які працюють на тому ж принципі, але можуть напрямлено випромінювати когерентне світло.

Еволюція світлодіодів у 1960–1970-х роках, поступово привела до створення світлодіодів, що мають колір від червоного до зеленого, - постійно зсуваючи межу у сторону коротких хвиль. Іншим напрямком роботи, було підвищення ефективності світлодіодів. Хоча надійність світлодіодів завжди перевищувала надійність ламп розжарювання, неонових ламп тощо, відсоток вибраковки ранніх пристроїв був набагато вищим.

При протіканні через діод прямого струму відбувається інжекція електронів. Процес самовільної рекомбінації інжектованих електронів, що відбувається, як в базовій області, так і в самому р-п переході, супроводжується їхнім переходом з високого енергетичного рівня на нижчий. Електрон після рекомбінації знаходиться у дуже нестабільному стані, оскільки він має зайву енергію. В такому стані електрон довго перебувати не може. Він перейде на стаціонарну орбіту з нижчим енергетичним рівнем випромінюючи квант світла. Щоб кванти енергії (фотони), які вивільнились при рекомбінації відповідали квантам видимого світла, збільшують кількість р-п переходів. Не всі напівпровідникові матеріали ефективно випромінюють світло при рекомбінації. Варіюючи склад напівпровідників, можна створювати світлодіоди різних довжин хвиль, - від ультрафіолету (GaN) до середнього інфрачервоного діапазону (PbS).

Ефективність світлодіодів найбільше проявляється там, де потрібно виробляти потужні кольорові світлові потоки (світлові сигнали). Світлодіодні лампи, є енергоощадними та споживають від 3 % до 60 % потужності, необхідної для звичайних ламп розжарення, аналогічної яскравості та станом

на 2017 рік, мають високий індекс передавання кольору. Світлодіоди не бояться частих вмикань і вимикань. Термін служби світлодіодної лампи - понад 100 000 годин (11 років).

Використовуючи світлодіоди можна одержати світло з високою насиченістю кольору. Світлодіоди застосовують в індикаційній техніці (світлові індикатори, та інше), при побудові світлодіодних джерел світла (інформаційні табло, світлофори, ліхтарики, гірлянди тощо).

УДК 621.314.211

Афанасьєва І.О.<sup>1</sup>, Вечеря Е.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ст. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. М- 318 НУ "Запорізька політехніка"

## **ЗАСТОСУВАННЯ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

Трансформатор - пристрій для перетворення параметрів (амплітуд і фаз) напруг і струмів. Це статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більше індуктивнозв'язані обмотки і призначений для перетворення за допомогою електромагнітної індукції однієї або кількох систем (напруг) змінного струму в одну або декілька інших систем (напруг) змінного струму без зміни частоти системи (напруги) змінного струму. Вперше трансформатори, як такі були продемонстровані в 1882 році. Це був трансформатор з розімкнутим осердям, у вигляді стрижня, на який намотувались обмотки.

Сухі трансформатори широко застосовуються і на промислових підприємствах, металургійних комбінатах, машинобудівні підприємства, об'єктах нафтогазової галузі. Це пояснюється двома причинами. Перша - немає необхідності в системі пожежогасіння, що вигідно з точки зору промислових споживачів. Друга - можливість розташування обладнання в безпосередній близькості від центру навантаження, що дозволяє оптимізувати схему електропостачання, а також звести до мінімуму використання кіл низької напруги. Виходить, навіть при солідних початкових капіталовкладеннях сучасне обладнання дозволяє економити електроенергію за рахунок зниження втрат в кабельних мережах низької напруги.

І нарешті, сухі трансформатори з литою ізоляцією зручно використовувати для живлення навантажень з частими кидками пускового струму, оскільки через повітряного охолодження у них більша переваганажувальна здатність, ніж у масляних трансформаторів. До того ж у разі потреби номінальну потужність трансформатора можна збільшити, використовуючи систему примусової вентиляції.

Завдяки цим перевагам сьогодні сухі трансформатори знаходять широке застосування:

- в промисловості (автомобілебудування, машинобудування, хімічна промисловість, целюлозно-паперові комбінати, ливарне виробництво);
- в громадських будівлях (лікарні, готелі, банки, школи, торгові та культурні центри, офісні будівлі);
- на інфраструктурних об'єктах (аеропорти, військові об'єкти, порти, установки в прибережній зоні).

Сухі трансформатори можуть використовуватися в якості:

- перетворювачів і випрямлячів (в системах кондиціонування повітря, на підприємствах безперервного циклу, зварювальних лініях, індукційних печах і насосних станціях);
- підвищує обладнання для виробництва електроенергії (в сфері вітро- та сонячної енергетики, на ТЕЦ, промислових електроустановках, гідроелектростанціях);
- трансформаторів для тягових підстанцій (на залізниці, в трамваях);
- трансформаторів морського виконання (в круїзних судах, танкерах СПГ, на морських бурових установках).

УДК 621.3.01

Афанасьєва І.О.<sup>1</sup>, Нечибой Л.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ст. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> студ. гр. ІФ- 517 НУ "Запорізька політехніка"

## ЕЛЕКТРИЧНА ДУГА

Електрична дуга, або дуговий розряд - один з видів електричних розрядів в газі або парах. Газ за своєю природою електронейтральний, тобто він складається з частинок, які не мають електричного заряду. Для проходження електричного розряду через газ, в останньому повинні з'явитися електричнозаряджені частинки - іони та електрони.

Якщо заряджені частинки в газі з'являються при будь-якому зовнішньому впливі на газ і потім відбувається електричний розряд, то такий розряд називають несамостійним.

Якщо поява заряджених частинок в газі пов'язано тільки з наявністю електричного поля, що викликає розряд, то такий розряд називають самостійним. Напруга, при якій утворюється самостійний розряд, носить назву напруги запалювання або потенціалу запалювання.

В металургії електрична дуга використовується як джерело тепла для розплавлення металу у дуговій печі (далі ДП). Тепло від випромінювання дуг

нагріває метал і футеровку печі. Нагріта до високої температури футеровка печі значну частку тепла повертає назад до металу. Регулювання температури в печі здійснюється зміною напруги, що подається на електроди, і сили струму, що проходить через електричну дугу. Електрична дуга може виникати як при постійному, так і при змінному струмі. Однак ДП працюють тільки на змінному струмі, так як отримувати великі потужності постійного струму важко. Оскільки температура в зоні горіння дуги близько 2000°C, в таких печах найчастіше плавлять чорні метали, так як кольорові метали через високу температуру сильно вигорають, що економічно не вигідно. Великою перевагою ДП є те, що під час плавки сталі електрична дуга заважає затвердінню шлакової фази на поверхні металу, тому що дуга проходить через шар шлаку. Цей недолік присутній в індукційних печах.

Таким чином можна сказати, що електрична дуга – це досить вигідне джерело тепла в ДП, хоча дана піч не вигідна для кольорових металів, бо вони сильно вигорають в ДП. Найбільше застосування електрична дуга знайшла у зварювальному виробництві деталей і металоконструкцій. Завдяки відкриттю академіком Петровим електричної дуги, людство зробило великий стрибок уперед у галузі машинобудування і металургії.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Данько В.Г., Мілих В.І., та ін. Електротехніка: Навчальний посібник для самостійної роботи студентів. - К.: УМК ВО, 1993 - 94 с.

2. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. и др. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 528 с.

УДК 621.3.01

Романіченко Г.М.<sup>1</sup>, Баранов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ст. викл. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> ст. гр. РТ-218сп НУ "Запорізька політехніка"

## **МАГНІТНЕ ПОЛЕ КОЛОВОГО СТРУМУ**

В сучасному світі, насиченому електромагнітними приладами та устаткуваннями, великого значення набувають проблеми реєстрації рівня випромінювання магнітного і електричного поля, а також проблеми електромагнітної сумісності між приладами під час їхньої роботи. Для вимірювання рівня магнітного поля в оточуючому середовищі застосовують різні магнітометричні прилади. Фактичною їхньою основою слугує коловий контур певних розмірів, в якому проходить електричний струм.

Для вивчення фізичних процесів, які виникають під час проходження струму в коловому контурі застосовують класичну теорію електромагнітного поля – за законом Біо-Савара-Лапласа. Ці принципові положення детально викладено в [1]. Наприклад, розрахунок напруженості магнітного поля в *плоскості* колового витка радіуса  $R$  зі струмом  $I$  проводять за формулою:

$$H_z = \frac{I}{\pi R(1 - k^2)} \cdot \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - (k \cdot \sin \psi)^2} d\psi ,$$

де:  $k=x/R < 1$  – положення точки спостереження відносно центру витка зі струмом нормоване до радіуса витка;  $x$  – відстань від центру витка зі струмом до точки спостереження;  $\psi$  – кут, під яким видно елемент струму  $I \cdot dl$  в точці спостереження.

Визначений інтеграл, що застосовано в формулі (1), в математиці називають *повним еліптичним інтегралом другого роду* і позначають  $E(k)$ . Його значення наведено в довідниках з математики, наприклад [2]. Тому можна замість складних точних розрахунків  $E(k)$  застосувати наближений розрахунок в фіксованих точках, для яких цей інтеграл визначено:

$$H_z(k) = \frac{I}{\pi R(1 - k^2)} \cdot E(k) ,$$

Напруженість магнітного поля в будь-якій точці, яка лежить в площині витка всередині його, має тільки одну складову, що направлена вздовж осі  $Z$ , яка розташована в центрі витка перпендикулярно його площині. Це дає можливість застосувати сучасні комп'ютерні програми, наприклад Mathcad, для проведення необхідних розрахунків і побудови графічних залежностей.

Результати розрахунків напруженості магнітного поля представлено в табл. 1 і надано у нормованих одиницях до відношення  $I/R$ .

Таблиця 1. – Результати математичного моделювання

k	0	01.	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$E(k)$	1.5708	1.567	1.554	1.5338	1.5039	1.4675	1.4178	1.3539	1.2757	1.1653
$H_z(k)$	0.500	0.504	0.515	0.537	0.570	0.623	0.705	0.845	1.128	1.952

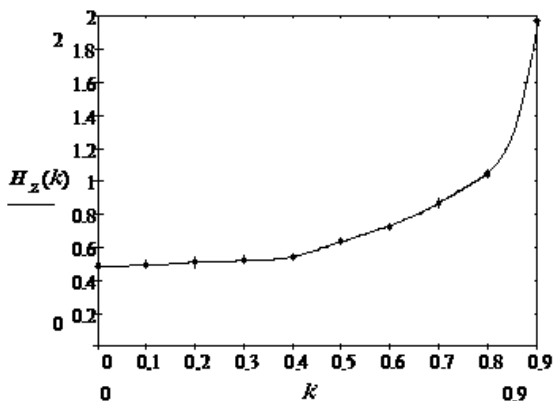


Рисунок 1 – Графічна залежність напруженості магнітного поля, нормованої до відношення  $I/R$ , від відстані від центру вітка, нормованої до радіусу вітка.

**Висновки.** Напруженість магнітного поля в центрі вітка ( $k=0$ ) буде найнижчою:  $H_z(0) = 0.5 \cdot I/R$ . На середині радіуса вітка ( $k=0.5$ ) буде майже на 25% вищою, ніж значення  $H_z$  в центрі:  $H_z(0.5) = 0.623 \cdot I/R$ .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. Изд.3-е, перераб. и доп. М.: «Энергия», 1968. - 488 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. -13-е изд., исправленное. - М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. – 544 с.

## СЕКЦІЯ «ФІЗИКА»

УДК 669.1'24:537.636

Золотаревський І.В.<sup>1</sup>, Щетініна М.О.<sup>2</sup>, Золотаревський О.І.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

<sup>3</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

### ВПЛИВ СИЛЬНИХ ІМПУЛЬСНИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА МАРТЕНСИТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ У СПЛАВАХ ЗАЛІЗА. СТАТИСТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ

Вважається, що мартенситне  $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення (МП), яке широко використовується для покращення механічних властивостей сталей і сплавів заліза, представляє собою звичайний структурний фазовий перехід. Разом з тим відомо, що мартенсит ( $\alpha$ -фаза) є феромагнітним матеріалом, а аустеніт ( $\gamma$ -фаза) в залежності від хімічного складу і температури може бути пара-, феро-, антиферо- або навіть суперпара-магнітним матеріалом. Тонка магнітна структура аустеніту на відміну від мартенситу не колінеарна. В залежності від магнітного стану аустеніту кінетика МП може протікати двома принципово різними шляхами: ізотермічно або атермічно. Чому одне і те ж перетворення у різних сплавах, або навіть в одному сплаві при різних температурах, йде різними шляхами – невідомо.

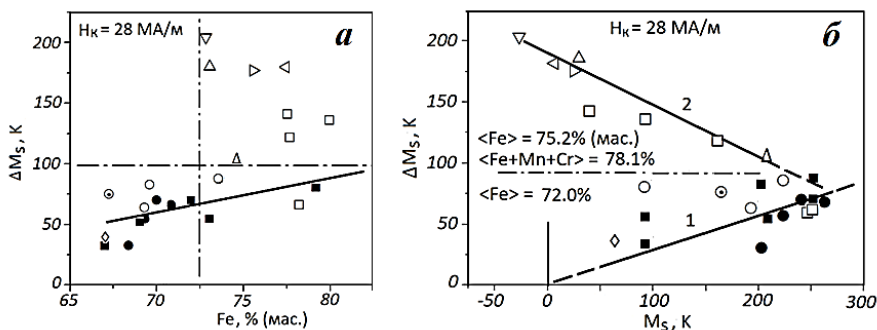
На МП впливають сильні магнітні поля, у тому числі і імпульсні. Вони приводять до зміщення температурного інтервалу МП. Цей вплив зумовлений двома причинами: різницею магнітних моментів фаз [1] і різницею об'ємів цих фаз (магнітострикцією) [2]. Тобто, магнітний стан обох фаз (аустеніту і мартенситу) може відігравати у МП не останню роль [3]. В роботах [4-6] наводяться докази існування ще одного механізму МП у магнітних полях, що також обумовлений магнітострикцією. Він пов'язаний з перерозподілом обмінної енергії електронів незаповненої 3d підоболонки атомів у  $\gamma$ -фазі ГЦК-гратки при досягненні критичної міжатомної відстані  $d_K$ . Цей механізм у сплавах інварного типу може бути реалізований і без магнітного поля за рахунок спонтанної магнітострикції, яка у сплавах Fe-Ni сумірна з магнітострикцією у магнітних полях [7].

У даній роботі відомі результати досліджень впливу сильного імпульсного магнітного поля на МП у сталях і сплавах заліза, отримані різними авторами з часу його відкриття В.Д. Садовським зі співавторами у 1961 р.

На рис. 1а представлена залежність між зміщенням мартенситних точок  $\Delta M_s$  у критичному магнітному полі напруженістю 28 МА/м (350 кЕ) і



вмістом заліза у сталях і сплавах заліза з нікелем. Видно, що із збільшенням заліза ефективність магнітного поля зростає, особливо при  $Fe > 72,5\%$ .



а – Fe; б –  $M_s$ .

Рисунок 1 – Залежність  $\Delta M_s$  при  $H_k = 28 \text{ MA/m}$  від вмісту заліза і  $M_s$ .

На рис. 1б зображено розподіл величини зміщення мартенситних точок  $\Delta M_s$  тих же сплавів у залежності від  $M_s$  при  $H_k = 0$ . Відрізок прямої 1 відповідає теоретичним розрахункам [1, 2]. Частина сплавів з середнім вмістом  $\langle Fe \rangle = 72\%$  задовільно корелює з теоретичними значеннями. Для іншої частини сплавів з середнім вмістом  $\langle Fe \rangle = 75,2\%$  і деяким вмістом перехідних елементів, здатних в ГЦК фазі взаємодіяти, як і  $\gamma\text{-Fe}$ , антиферомагнітно (Mn, Cr), спостерігається протилежна залежність  $\Delta M_s$  від  $M_s$ .

Таким чином, отримані нами результати свідчать про різні механізми впливу магнітного поля на МП. У сплавах, що корелюють з теоретичною залежністю 1 (рис. 1б), отриманою узагальненням рівняння Клапейрона-Клаузіуса, спостерігається структурний фазовий перехід. У сплавах, що не відповідають рівнянню Клапейрона-Клаузіуса (залежність 2), можна говорити лише про «магнітний» фазовий перехід першого роду.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кривоглаз, М.А. О влиянии сильных магнитных полей на фазовые переходы / М.А. Кривоглаз, В.Д. Садовский // ФММ. – 1964. – Т. 18. – С. 502–505.
2. Золотаревский, И.В. Влияние магнитострикции на сдвиг точки мартенситного превращения в сильном магнитном поле / И.В. Золотаревский, Н.С. Косенко, М.А. Кривоглаз // Металлофизика. – 1979. – Т. 1, № 2. – С. 17–22.

3. Влияние магнитного поля на обратное и прямое мартенситное превращение в сплаве Fe–33% Ni / И.В. Золотаревский, С.В. Лоскутов, В.К. Манько и др. // ФММ. – 2009. – Т. 108, № 2. – С. 147–154.

4. Золотаревский, И.В. Влияние объемной магнитострикции на мартенситное превращение в сплавах железа. Магнитный фазовый переход первого рода / И.В. Золотаревский // Металлофизика и новейшие технологии. – 2015. – Т. 37, № 5. – С. 625–636.

5. Золотаревский, И.В. Влияние магнитного состояния аустенита на мартенситное превращение в сплавах Fe–Ni в сильном магнитном поле и без него / И.В. Золотаревский, С.В. Лоскутов, М.О. Щетинина // ФММ. – 2018. – Т. 119, № 8. – С. 794–801.

6. Золотаревский, И.В. Мартенситное превращение в системах на основе инварных сплавов Fe–Ni в сильных магнитных полях / И.В. Золотаревский // ФММ. – 2020. – Т. 121. – (у друку)

7. Золотаревский, И.В. Инварные аномалии в сплавах железа и мартенситное превращение в сильных магнитных полях / И.В. Золотаревский, М.О. Щетинина, А.И. Золотаревский // ФММ. – 2020. – Т. 121. – (у друку)

УДК 531.42

Манько В.К.

канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ “Запорізька політехніка”

## ДЕМОНСТРАЦІЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТА НЕВАГОМОСТІ

Для демонстрації зміни ваги тіла при його вертикальному русі використовується зігнутий стержень (коромисло) 2 (рис.1), що підвішений до штатива 4 через шарнір 3. На штативі є два упори 5, які обмежують рух коромисла. На одному кінці коромисла підвішена котушка 9 через намотану на її вісь нитку. У вихідному положенні від опускання котушка утримується ниткою (петлею) 8. На другому кінці коромисла на різьбі може переміщуватись муфта 1 для зрівноважування коромисла. Положення коромисла показує стрілка 6 по шкалі 7.

Методика проведення демонстрації. На котушку намотують нитку, закріплену на коромислі. Від опускання її фіксують нитковою петлею 8, зачіпляючи її за виступи осі котушки. Переміщуючи муфту 1, зрівноважують терези. Петлю 7 перепалюють або перерізають ножицями. Котушка починає рухатись з деяким прискоренням, направленим вниз. Тому сила натягу нитки (вага котушки)  $T = m(g - a)$  менша за силу тяжіння котушки. Стрілка відхиляється вправо. В нижній точці відбувається різка зміна напрямку

швидкості, а отже і вектора імпульсу. За другим законом Ньютона  $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot \vec{v})$  сила натягу нитки різко зростає.

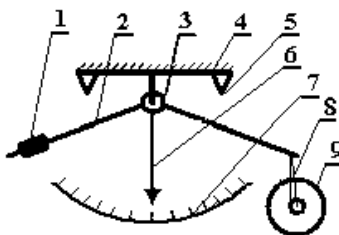


Рисунок 1 – Схема установки.

Котушка зазнає перевантаження. Стрілка різко повертається вліво аж до лівого упору. За інерцією котушка продовжує обертатись у тому ж напрямку, намотуючи нитку. Котушка рухається вгору сповільнено. Вектор прискорення знову направлений вниз, тому вага котушки менша за силу тяжіння. Стрілка повертається право. У найвищій точці на деяку мить прискорення стає рівним нулю, тобто на котушку діє тільки сила тяжіння. Вона переходить у стан невагомості. Стрілка різко рухається вправо до дотику з правим упором, ілюструючи зникнення сили натягу нитки, тобто ваги котушки.

УДК 53.087.61

Золотаревський О.І.<sup>1</sup>, Сейдаметов С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> старш. викл. НУ “Запорізька політехніка”

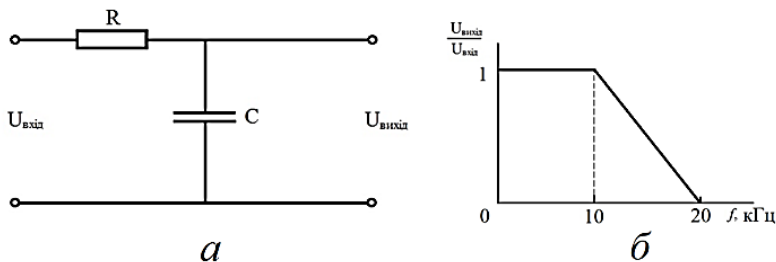
## ДОСЛІДЖЕННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ RC-ФІЛЬТРА

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) електричного кола показує залежність рівня сигналу на виході цього пристрою від частоти сигналу, що передається при постійній амплітуді синусоїдального сигналу на вході цього пристрою. АЧХ може бути визначена аналітично через формули або експериментально. Будь-який пристрій призначений для передачі або посилення електричних сигналів. АЧХ пристрою визначається по залежності коефіцієнта передачі (або коефіцієнта підсилення) від частоти [1].

На основі RC-кола був виготовлений фільтр низьких частот. Використовувався конденсатор ємністю 22 нФ та змінний резистор опором 3 кОм.

Електрична схема RC-фільтра наведена на рис. 1а. Генератором і осцилографом служила комп'ютерна програма, що керує звуковою картою комп'ютера [2].

Спостерігалось зменшення амплітуди на виході кола зі збільшенням частоти, рис. 1б. Це означає, що наше RC-коло працює як частотний фільтр. Такий фільтр пропускає низькі частоти (у нашому випадку до 10 кГц), а потім з ростом частоти починає їх "тиснути" (плавно зменшуючись до нуля при частоті 20 кГц).



а – схема RC-фільтра; б – АЧХ.

Рисунок 1 – Схема RC-фільтра і його АЧХ.

Отже, за допомогою комп'ютера та програми-емулятора, було досліджено амплітудно-частотну характеристику RC-фільтра низьких частот.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Що таке АЧХ і ФЧХ. – Режим доступу: <https://www.ruselectronic.co/ac>
2. Зубаль, И. – Режим доступу: <http://www.terralab.ru/supply/17758/>.

УДК 669.1'24:537.636

Золотаревський І.В.<sup>1</sup>, Золотаревський О.І.<sup>2</sup>, Щетініна М.О.<sup>2</sup>

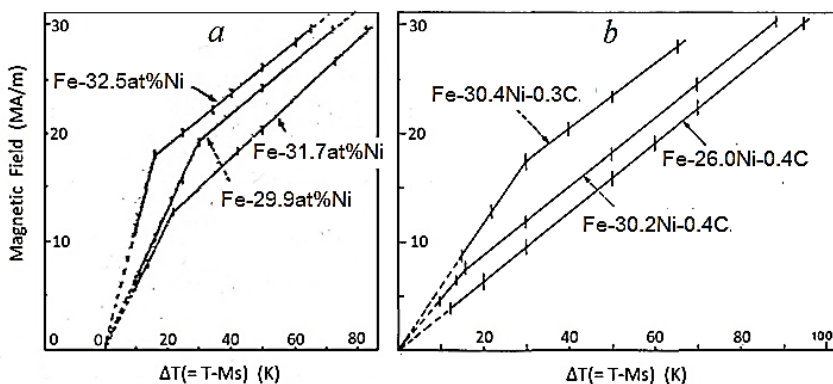
<sup>1</sup> канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

## МАГНІТНИЙ ФАЗОВИЙ ПЕРЕХІД ПЕРШОГО РОДУ У СПЛАВАХ ЗАЛІЗА ІНВАРНОГО ТИПУ

Зміщення мартенситної точки MS у магнітному полі раніше було пояснене узагальненням рівняння Клапейрона-Клаузіуса, враховуючи, що зміна термодинамічного потенціалу у сильному зовнішньому полі напруженістю H визначається різницею магнітних моментів фаз [1] і різницею їх об'ємів

внаслідок магнітострикції [2]. Дослід показує, що у багатьох випадках зміщення  $M_S$  у магнітному полі ( $\Delta M_S$ ) пропорційне напруженості поля  $H_K$ , як це можна спостерігати на рис. 1б – сплав Fe-26,0Ni-0,4C. Це якісно співпадає з теоретичними оцінками [1, 2]. Разом з тим криві, зображені на рис. 1а, і інші криві на рис. 1б, які суттєво відхиляються від прямої лінії в області слабших полів, не знаходять пояснень у рамках запропонованих моделей. Крім того, ефективність впливу магнітного поля на  $\Delta M_S$  в деяких сталях і сплавах заліза в багато раз перевищує розраховане значення по узагальненим рівнянням Клапейрона-Клаузіуса [1, 2].

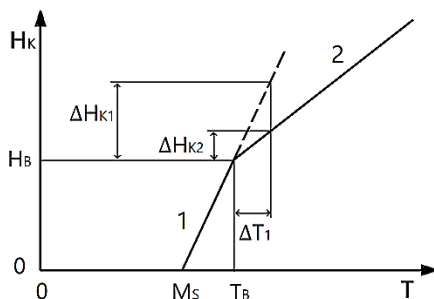


а – інварні сплави Fe-Ni; б – сплави Fe-Ni з добавкою вуглецю.

Рисунок 1 – Залежність між напруженістю критичного магнітного поля  $H_K$  і зміщенням мартенситної точки  $\Delta T$  [3, 4].

Автори робіт [3, 4] пояснили існування двох видів залежності  $H_K(\Delta T)$  двома станами  $\gamma$ -фази: «інварного» і «неінварного». Таке пояснення має суттєві недоліки. Не зупиняючись на них, коротко з'ясуємо наш підхід до цього питання.

У попередній роботі [5] (Тиждень науки–2020) нами обґрунтовується точка зору, згідно якої МП у сплавах заліза у сильному магнітному полі може протікати двома різними шляхами: як «структурний фазовий перехід», який завжди є переходом першого роду, і як «магнітний фазовий перехід першого роду». Останній здійснюється силами обмінної взаємодії між електронами незаповнених 3d підоболонки атомів в ГЦК структурі, коли міжатомна відстань за рахунок об'ємної магнітострикції (парапроцесної, спонтанної або сукупної) досягає критичного значення  $d_K$  (рис. 2, точка на графіку з координатами  $H_B$ ;  $T_B$ ).



$H_B$  і  $T_B$  – координати точки на кривій, яка відділяє «структурний фазовий перехід» (1) від «магнітного фазового переходу першого роду» (2).  
Рисунок 2 – Пояснення залежності між напруженістю критичного магнітного поля  $H_K$  і зміщенням мартенситної точки  $\Delta T$  в інварних сплавах Fe-Ni.

При подальшому підвищенні температури на  $\Delta T_1$  потрібно збільшити напруженість критичного магнітного поля на  $\Delta H_{K1}$ . Таке збільшення напруженості потрібне для звичайного «структурного фазового переходу». Але оскільки при температурі  $T_B$  було досягнуто критичної міжатомної відстані  $d_K$ , то при наступній температурі  $T_B + \Delta T_1$  (в інших умовах теплового руху) її значення досягається при збільшенні критичної напруженості магнітного поля на  $\Delta H_{K2} < \Delta H_{K1}$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кривоглаз, М.А. О влиянии сильных магнитных полей на фазовые переходы / М.А. Кривоглаз, В.Д. Садовский // ФММ. – 1964. – Т. 18. – С. 502–505.
2. Золотаревский, И.В. Влияние магнитострикции на сдвиг точки мартенситного превращения в сильном магнитном поле / И.В. Золотаревский, Н.С. Косенко, М.А. Кривоглаз // Металлофизика. – 1979. – Т. 1, № 2. – С. 17–22.
3. Magnetic Field-Induced Martensitic Transformations in Fe-Ni-C Invar and Non-Invar Alloys / T. Kakeshita, K. Shimizu, S. Kijima and others // Trans. Jpn. Inst. Met. – 1985. – V. 26. – P. 630–637.
4. Composition dependence of magnetic field-induced martensitic transformations in Fe-Ni alloys / T. Kakeshita, K. Shimizu, S. Funada and others // Acta metal. – 1985. – V. 33, № 8. – P. 1381–1389.
5. Золотаревський, І.В. Вплив сильних імпульсних магнітних полів на мартенситне перетворення у сплавах заліза. Статистичні закономірності / І.В.

УДК 669.715:53.092

Павленко Д.В.<sup>1</sup>, Щетініна М.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, проф. НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

## **ВПЛИВ КРУЧЕННЯ ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ НА ТВЕРДІСТЬ СИЛУМІНУ, ОТРИМАНОГО СЕЛЕКТИВНИМ ЛАЗЕРНИМ СПІКАННЯМ**

Ливарні алюмінієві сплави на основі системи Al-Si знаходять широке застосування у різних галузях промисловості завдяки високій зносостійкості і невеликій густині. У теперішній час активно розвиваються також технології отримання деталей з них на основі методів адитивних технологій. Однак головною проблемою цих сплавів є досить низькі характеристики міцності та пластичності. Оскільки основним фактором, що знижує міцність доевтектичних силумінів, є грубі включення кремнію в евтектиці, то підвищення дисперсності його кристалів є найважливішим завданням, спрямованим на покращення властивостей. З цією метою використовуються різні методи впливу на структуру: модифікування натрієм, термічна обробка тощо. Одним з перспективних методів, який можливо застосовувати для деталей, отриманих методами адитивних технологій, є інтенсивне пластичне деформування (ПД).

Метою роботи було дослідження впливу параметрів ПД шляхом кручення під високим тиском на твердість доевтектичного силуміну, отриманого за допомогою селективного лазерного спікання.

Зразки отримували шляхом селективного лазерного спікання порошкової суміші, яка мала хімічний склад: Si – 9,6%, Mg – 0,3%, Fe – 0,1%, Mn – 0,1%, решта – Al, на 3D принтері фірми Conceptlaser. Інтенсивна пластична деформація крученням під високим тиском зразків циліндричної форми (діаметр 10 мм, висота 1 мм) здійснювалась шляхом прикладання тиску 5 ГПа і прокручуванням на 5 повних обертів при кімнатній температурі. Швидкість кручення становила 0,5 і 1 об/хв. Еквівалентна деформація обох зразків складала ~90. Густина зразків визначали методом гідростатичного зважування, яке проводилось на електронних аналітичних вагах типу XA 310/X.

Результати досліджень показали, що густина зразка у вихідному стані становила 2558 кг/м<sup>3</sup>, після кручення зі швидкістю 0,5 об/хв – 2775 кг/м<sup>3</sup>, а зі швидкістю 1 об/хв – 2162 кг/м<sup>3</sup>. Отже, густина зразків після деформування крученням під високим тиском змінювалась неоднозначно: при крученні з

більшою швидкістю вона зменшувалась на 15%, а при крученні з меншою швидкістю – збільшувалась на 8%.

Вимірювання мікротвердості виконували на мікротвердомірі HVA-1 при навантаженні 0,5 Н. Дослідження розподілу мікротвердості вздовж діаметру зразків показало (рис. 1), що після ПД у них виникає радіальний градієнт зміцнення. Значення мікротвердості у центральній частині обох зразків виявились приблизно на 18% меншими, ніж на периферії. Результати досліджень подібного за хімічним складом сплаву показують [1], що рівномірний радіальний розподіл мікротвердості зразків не досягається навіть при набагато більших ступенях деформації (10 обертів).

З рис.1 видно, що швидкість деформації у значній мірі впливає на величину мікротвердості зразків: при меншій швидкості кручення твердість поверхневого шару більша. Це суперечить даним з дослідження Al 1050 [2], де різна швидкість деформації (0,2 і 5 об/хв) приводила до одних і тих самих значень мікротвердості протягом усього процесу деформування. Варто зазначити, що густина зразків та значення їх мікротвердості між собою не корелюють. Це може свідчити про протікання процесів як зміцнення, так і знеміцнення під час обробки.

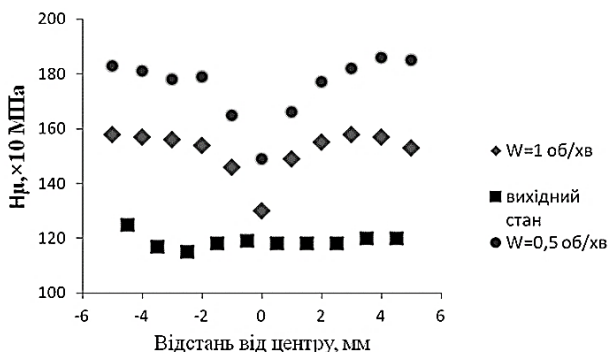


Рисунок 1 – Розподіл мікротвердості вздовж поперечного перерізу зразків.

Отже, з метою зміцнення доевтектичного силуміну інтенсивною пластичною деформацією шляхом кручення під високим тиском варто враховувати не лише величину тиску і деформації, але й швидкість деформування. Перспективою подальших досліджень є вивчення особливостей структури, механічних та фізичних властивостей зразків, оброблених крученням під високим тиском з різними режимами.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yusuf, S.M. Effect of sample orientation on the microstructure and microhardness of additively manufactured AlSi10Mg processed by high-pressure torsion / S.M. Yusuf, M. Hoegden, N. Gao // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – № 106. – P. 4321–4337.
2. Influence of High-Pressure Torsion Straining Conditions on Microstructure Evolution in Commercial Purity Aluminum / Y. Todaka, M. Umemoto, A. Yamazaki and others // Materials Transactions. – 2008. – Vol.49, № 1. – P. 7–14.

УДК 621.793.7: 533.924

Єршов А.В.<sup>1</sup>, Зеленіна О.А.<sup>2</sup>, Залозецький В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, проф. НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

<sup>3</sup> студ. гр. ІФ-319 НУ “Запорізька політехніка”

## ДЕФОРМАЦІЯ ЗРАЗКА ПІСЛЯ НАНЕСЕННЯ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ

Підвищена температура плазмового покриття у процесі його формування у порівнянні з температурою основи призводить до значних температурних деформацій і виникнення залишкових напруг у ньому, які деформують основу. Завданням дослідження є встановлення закономірності між деформацією зразка і залишковим напруженням у покритті. Використано модель позacentрового стиснення основи під дією результуючої сили у покритті. У розрахунковій моделі прийнято, що залишкове напруження лінійно зростає по товщині шару хромонікелевого покриття, а інтегральна сила  $F$  у покритті дорівнює

$$F = \frac{\sigma_{\text{мп}} b h}{2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\text{мп}}$  – максимальне залишкове напруження у покритті;  $b$  – ширина прямокутного зразка;  $h$  – товщина покриття.

Плече дії сили, відносно центру перетину основи, дорівнює сумі половини товщини основи і координати результуючої сили стиснення. Момент сили стиснення зразка щодо центральної осі основи визначиться формулою

$$M = F\left(\frac{H}{2} + \frac{2h}{3}\right) = \frac{\sigma_{mn}bh}{2}\left(\frac{H}{2} + \frac{2h}{3}\right), \quad (2)$$

де  $H$  – товщина основи.

Диференційне рівняння пружної лінії вигину основи має вигляд

$$\frac{d^2 Y}{dx^2} = \frac{M}{EI}, \quad (3)$$

де  $Y$  – координата поперечної деформації (прогину) основи;  $x$  – поздовжня координата;  $E$  – модуль пружності основи,  $I = bH^3/12$  – момент інерції основи.

Величину прогину основи, як відхилення від початкової прямолінійності, можна визначити подвійним інтегруванням (3) при наступних граничних умовах:

$$\begin{aligned} x = 0 : Y = 0; \frac{dY}{dx} &= 0, \\ x = L : Y &= Y_m \end{aligned} \quad (4)$$

де  $L$  – довжина підкладки,  $Y_m$  – максимальний прогин підкладки під дією моменту сили позacentрового стиснення підкладки, який визначиться після інтегрування (3) у вигляді:

$$Y_m = \frac{M}{EI} \frac{L^2}{2}. \quad (5)$$

Максимальне напруження у покритті, визначене з (1), (2), (5):

$$\sigma_{mn} = \frac{4EIY_m}{L^2bh\left(\frac{H}{2} + \frac{2h}{3}\right)}. \quad (6)$$

Величина прогину визначалася як відхилення від прямолінійності зразка. Один кінець зразка разом з плоскою пластиною встановлюється в затиск. При цьому пластина розташовувалася зверху. На пластині встановлювався індикатор годинникового типу, який можна було переміщувати вздовж поверхні. При переміщенні його було виміряно розподіл прогину по довжині 3-х зразків. Результати вимірювань розподілу прогинів і їх середні значення  $Y_{cp}$  та максимальні напруження у покритті, визначені за формулою (6), наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Деформація зразка та залишкове напруження у покритті

№ зразка	$x, 10^{-2}, \text{м}$	1	2	3	4	4,5	$\sigma_{\text{мп}}, \text{МПа}$
1	$Y, 10^{-5}, \text{м}$	4	14	29	52	70	89,5
2	$Y, 10^{-5}, \text{м}$	4	16	32	55	71	90,8
3	$Y, 10^{-5}, \text{м}$	4	15	34	53	68	87,2
	$Y_{\text{ср}}$	4	15	31,7	53,3	69,7	
	$Y=k L^2$	3,4	13,9	31	54,5	70	

У нижньому рядку табл. 1 наведено розрахунок параболічної залежності прогину від довжини зразка, яка узгоджується з результатами вимірювань.

#### Висновки

1 Розроблено метод визначення максимального залишкового напруження у покритті в залежності від згинальної деформації зразка.

2 Експериментально встановлено, що розподіл деформації основи уздовж зразка підпорядковується параболічній залежності.

УДК 621.793.7: 533.924

Єршов А.В.<sup>1</sup>, Зеленіна О.А.<sup>2</sup>, Залозецький В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, проф. НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> ст. лаборант НУ “Запорізька політехніка”

<sup>3</sup> студ. гр. ІФ-319 НУ “Запорізька політехніка”

## НАПРУЖЕНИЙ СТАН ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ТА ЖОРСТКОЇ ОСНОВИ

Залишкові напруження плазмових покриттів призводять до деформації та створюють напруження основи. Розробка методики визначення механічних характеристик і залишкових напружень в залежності від товщини покриття і основи є актуальною для зміцнення і відновлення поверхонь деталей.

У розрахунковій моделі враховано, що залишкове напруження можна прийняти лінійно зростаючим по товщині шару хромопелетного покриття. Для моделі позацинтового стиснення зразка визначається діюча сила  $F$

$$F = \frac{\sigma_{\text{мп}} b h}{2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\text{м}}$  – максимальне залишкове напруження на поверхні покриття товщиною  $h$ ;  $y$  – координата уздовж товщини покриття.

Момент сили у залежності від максимального залишкового напруження у покритті

$$M = F\left(\frac{H}{2} + \frac{2h}{3}\right) = \frac{\sigma_{mn}bh}{2}\left(\frac{H}{2} + \frac{2h}{3}\right), \quad (2)$$

де  $H$  і  $b$  – товщина та ширина основи.

Плече дії сили позацентрового стиснення складається з половини товщини основи та  $2/3 h$ . Максимальне згинаюче напруження в основі визначається за формулою

$$\sigma_u = \frac{6M}{bH^2} = \frac{3\sigma_m h}{H^2}\left(\frac{H}{2} + \frac{2h}{3}\right). \quad (3)$$

Напруження стиснення в основі

$$\sigma_c = \frac{F}{bH} = \frac{\sigma_m h}{2H}. \quad (4)$$

Максимальне залишкове напруження в основі розташоване в точці контакту з покриттям і визначається сумою (4) і (5). Отримані епюри розподілу напружень у покритті і основі показані на рис.1.

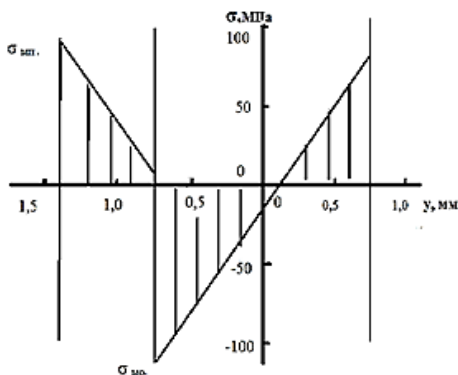


Рисунок 1 – Епюри розподілу напружень у покритті ПРНХ15СР2 і сталевій основі Ст.3.

Початок координат на рис.1 розташований у центрі основи товщиною 1,5 мм, а плазмове хромонікелеве покриття ПРНХ15СР2, товщиною 0,6 мм,

знаходиться зліва. Покриття нанесено при струмені плазмотрона 450А і внаслідок значного енерговкладу відрізняється підвищеним залишковим напруженням. Величина максимального залишкового напруження у покритті, визначена по величині деформації зразка, становить в середньому 90 МПа. Напруження в поверхневому шарі основи визначалися за формулами (4)-(5). При заданих співвідношеннях розмірів покриття і основи максимальне напруження стиснення у поверхневому шарі основи на границі з покриттям складає у середньому  $\sigma_{\text{мо}} = -110$  МПа, а максимальне напруження розтягу на протилежній поверхні основи менше на величину напруження осьового стиснення і становить приблизно 90 МПа.

#### Висновки

1. З використанням моделі позацентрового стиснення розроблено інженерну методику розрахунку напружено-деформованого стану зразка та визначено розподіл та співвідношення напруження у покритті та основи.

2. Визначено, що напруження стиснення у поверхневому шарі основи товщиною 1,5 мм по абсолютній величині перевершує найбільше напруження розтягу у покритті.

УДК 535.37

Кубишкін А.А.<sup>1</sup>, Герасін Ю.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> зав.лаб. кафедри фізики НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. КНТ-519 НУ «Запорізька політехніка»

### ВПЛИВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕЛЕКТРОЛЮМІНІСЦЕНЦІЮ ЦИНК СУЛЬФІДНИХ ЛЮМІНОФОРІВ

Кристалосфосфори під дією електричного поля напруженістю  $E \sim 10^6$  В/м дають свічіння. Це явище називається електролюмінісценцією.

Вважають, для всіх процесів люмінесценції характерне те, що час висвічування люмінофора,  $t \sim (10^{-9} \dots 10^6)$  с значно перевищує час власних коливань молекули, яка світиться  $t \sim (10^{-10} \dots 10^{-15})$  с.

У дослідях використовували порошкові ZnS кристалосфосфори. Ці речовини дають інтенсивне свічіння. Кристалосфосфори реагують на теплові випромінювання. В одних випадках підвищення температури скорочує час висвічування люмінофора і одночасно може привести до збільшення яскравості висвічування. Це залежить від активатора. Відомо, що дія ІЧВ не приводить до нагрівання екрану. Ці явища підлягають глибокому вивченню.

Результати проведеного дослідження впливу інфрачервоного випромінювання (ІЧ) на електролюмінісценцію (ЕЛ) порошкового люмінофора ZnS-Cu можуть бути застосовані для корегування яскравості

свічіння. Знаючи механізми взаємодії ІЧВ з люмінофорами, є можливість керувати світністю електролюмінофорів.

Метою роботи було дослідити характер впливу інфрачервоного випромінювання (ІЧ) на електролюмінесценцію (ЕЛ) порошкових люмінофорів ZnS-Cu; ZnS-Cu,Mn.

Для вивчення впливу ІЧВ на електролюмінесценцію була створена установка, яка мала камеру, де знаходився зразок електролюмінофора. До зразка прикладали електричне поле, напруженністю  $E=8 \times 10^6$  В/м. В камері було два отвори. Через один з отворів світло від зразка йшло на приймальний пристрій з ФЕМ. Через інший отвір йшло випромінювання від інфрачервоного джерела, та попадало на зразок. Між джерелом ІЧВ та люмінофором розміщували фільтр ІЧС-5. Джерелом інфра-червоного випромінювання був штіфт Нерста Зразок люмінофора – це скляна пластина розміром  $\sim 30 \times 40$  мм. На скло наносили тонкий шар олова. На олово накладали кристалоллюмінофор.

При дії інфрачервоного випромінювання електролюмінесценція для ZnS-Cu гаситься по всьому електральному інтервалу випромінювання, а для ZnS-Cu,Mn спостерігається підсилення яскравості електролюмінесценції.

Під дією електричного поля ZnS-Cu фосфор дає блакитне випромінювання з максимумом  $\lambda=460$  нм. Спектральний розподіл ZnS-Cu,Mn має дві полоси: слабу, з максимумом  $\lambda=460$  нм, та полосу  $\lambda=585$  нм. Вплив ІЧВ на ЕЛ оцінювався коефіцієнтом

$$R = B_{\text{січ}}/B_e, \quad (1)$$

де  $B_e$  – яскравість люмінофора, яка виникла за рахунок електричного поля змінної величини та частоти 50 Гц;  $B_{\text{січ}}$  – яскравість люмінофора при сумісній дії електричного поля та ІЧВ.

Була досліджена залежність коефіцієнта  $R$  від інтенсивності ІЧВ та залежність  $R$  від довжини хвилі випромінювання. Всі досліді проводились з метою розширення можливостей сумісної дії електричного поля та ІЧВ на електролюмінесценцію та перетворювання «невидимого» сигналу в «видимий».

Отже, ІЧВ в одних зразках гасить електролюмінесценцію, а в інших – її підсилює. Ефект гасіння пов'язують з процесом заповнення валентними електронами рівнів активатора, іонізованих при збудженні. Цей перехід електронів може бути стимульованим квантами ІЧВ. Це приводить до того, що ІЧВ зменшує яскравість ЕЛ. Підсилення ЕЛС в ZnS – Cu,Mn може бути пов'язаним зі стимулюванням електронних переходів між рівнями іона  $Mn^{2+}$ .

## THE ENVIRONMENT MATHCAD IS USING FOR TECHNICAL CALCULATIONS

To solve problem of study the characteristics of magnetic material it is necessary to use mathematical apparatus and modelling. Increasing the coercive force will allow you to obtain higher operating points at which the specific energy of the magnet is highest. Larger operating points allow more energy to be generated from permanent magnet operation. Accordingly, if you know the maximums of the working range of these materials, it is possible to achieve a reduction in the dimensions of the magnetic material itself in the design of the equipment or appliance. This will save on materials and make their production more ergonomically advantageous and cheaper. In turn, reducing the size will lead to the development of industries such as nanotechnology, robotics and microprocessor technology. In addition, the reduction of re-magnetization losses can be achieved by calculating the operating points of the magnet, analyzing the residual induction and coercive force. It is also possible to develop methods for extending the life of magnetic materials and storing residual induction without re-magnetization.

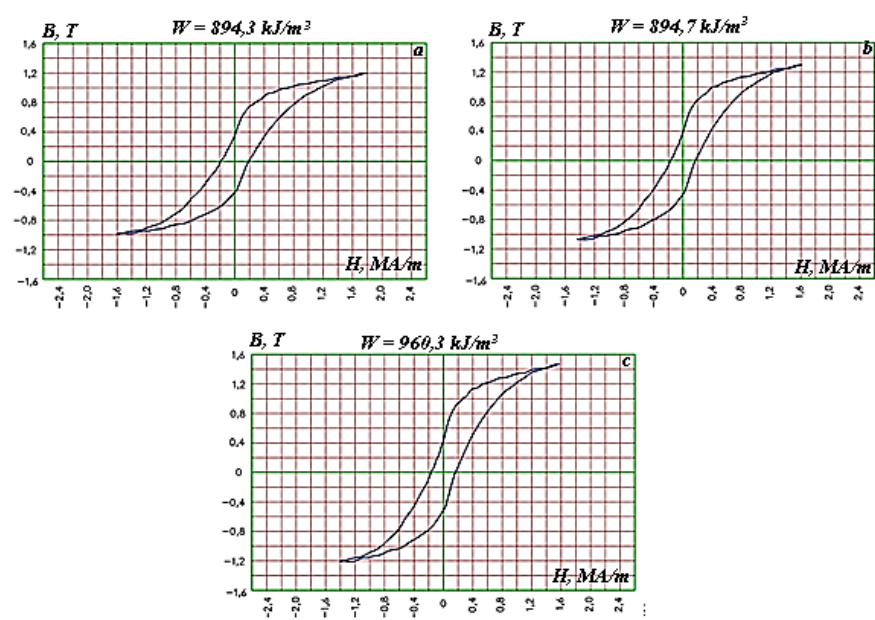
Purpose of the study. To calculate the re-magnetization energy for the permanent magnets consisted of  $\text{Nd}_{15,2}\text{Fe}_{74,99}\text{B}_{6,6}\text{C}_{0,51}\text{Cu}_{1,57}\text{Ti}_{1,38}$ , obtained under different conditions, by the method of integration along the contour of the maximum hysteresis loop.

composition, which were obtained under different conditions, were investigated (see Table 1).

Table 1. Conditions for obtaining permanent magnets consisted of  $\text{Nd}_{15,2}\text{Fe}_{74,99}\text{B}_{6,6}\text{C}_{0,51}\text{Cu}_{1,57}\text{Ti}_{1,38}$

Example No.	Chemical composition of permanent magnet	Initial pressure, P, MPa	Sintering / annealing temperature, K.
1	$\text{Nd}_{15,2}\text{Fe}_{74,99}\text{B}_{6,6}\text{C}_{0,51}\text{Cu}_{1,57}\text{Ti}_{1,38}$	0,5	1323 / 813
2		3	
3		9,5	

To determine the re-magnetization energy, it is necessary to find the hysteresis loop area by integrating along the loop path. The magnetisation energy of the examples was calculated as the hysteresis loop area (see Pic. 1).



a – 0,5 MPa; b – 3 MPa; c – 9,5 MPa

Picture 1 – Hysteresis loops for samples consisted of  $Nd_{15,2}Fe_{74,99}B_{6,6}C_{0,51}Cu_{1,57}Ti_{1,38}$  caused under different conditions

To accomplish this task, splines were obtained and the area of the figures was calculated by numerical methods. Given that the samples under study were in the shape of a cylinder  $h = 5 \text{ mm}$  and  $d = 9 \text{ mm}$  ( $S = 3,18 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ ), it is possible to find the real re-magnetization energy for each sample. The results of the calculations are presented in Table. 2.

Table 2. The value of the specific and real energy of the re-magnetization of the samples

Example No.	1	2	3
Numerical Methods			
$W_{\text{num}}, \text{ kJ/m}^3$	894,3	894,7	960,3
$W, \text{ J}$	0,2844	0,2845	0,3054



Example No.	1	2	3
By points			
$W_{\text{int}}, \text{kJ/m}^3$	784,5	792,6	869,7
$W, \text{J}$	0,2495	0,2521	0,2766

Thus, calculations and simulations have shown that the use of matkad environment gives more accurate results.

UDC 621.311.243

Bondarenko A.O.<sup>1</sup>, Lushchin S.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419A National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Phys.-math. sciences.), associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## PROSPECTS FOR USING SOLAR PANELS

A solar battery is a combination of photoelectric converters (photocells) - semiconductor devices that directly convert solar energy into direct electric current. Then it accumulates in batteries and is used for domestic purposes.

The energy received through the sun is a renewable resource, which means that the potential from this method of generating electricity is eternal. In the sunny day we can almost completely supply electricity to our homes. Also they are very durable and serve from 25 years or more.

For the most efficient use of solar panels, we need: solar panels, a controller (distributes the charge between the consumer and the battery), batteries and inverter (converts 12 V from the battery into 220 V for the operation of the devices).

There are such types of solar batteries: Monocrystalline, Polycrystalline, Amorphous, Cadmium Telluride panels, Copper-Indium Selenide panels, Polymeric.

So why solar panels are not widespread now? One of the problems is low efficiency. The most effective solar batteries nowadays are Monocrystalline (17...22 %) and Copper-Indium Selenide solar batteries (15...20 %). This problem can be particularly solved by using swivel mechanism at the dawn and sunset or mirrors that slightly increase the efficiency and energy released. Also we can use lenses. And the second problem is high cost. But over time and simplification of production, they will naturally become cheaper, but now this is still a problem.

Difficulties in using electricity from solar panels:

- the produced current is direct and nearby to 12-48 volts, to use it in everyday life, it needed to be convert;

- on cloudy days, efficiency drops significantly;
- need a lot of territory.

The advantages in using solar panels are much more than the disadvantages. This way of generating electricity does not pollute nature, works automatically, is an endless resource.

UDC 621.311.243

Demidenko I.V.<sup>1</sup>, Lushchin S.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419A National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Phys.-math. sciences.), associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT IN UKRAINE**

It is widely recognized that the main factor determining the development of material culture of people is the creation and use of energy sources. Obtaining, transforming and conserving energy are fundamental processes studied in physics. The basic pattern established by physics is the law of conservation and transformation of energy.

The law provides for a global energy crisis. Now peat, coal, oil and natural gas are used as the main energy resources. At the current rate of use, these resources will suffice for humanity for 50 years. In this regard, EU countries are actively promoting the introduction of alternative energy sources. By 2020, their share in the structure of electricity production should be up to 20 %, and in 2030 it should already be 50 %. Ukraine's plans are much more modest: according to the Energy Strategy for the period until 2035, the share of renewable sources in electricity generation in 2020 should be 7 %, and in 2025 - more than 13 %.

Now the dynamics of the introduction of new renewable energy capacity in Ukraine from year to year remains positive. In the first 6 months of 2019, renewable energy sources (solar, wind and other power plants) generated 2.37 billion kilowatt hours of electricity in Ukraine. This is 1.9 times more than in the first half of 2018.

Ukraine's energy independence is not only about rational energy consumption but also about the development of energy as a whole. Today, this development is about investing in renewable energy. Moreover, it is cheaper to build solar power plants than coal or thermal power plants. The development and creation of thermal and power plants operating on renewable energy is the basis, safe and environmentally friendly. In the hands of mankind there are several perspective sources of energy: solar, hydrogen, thermonuclear. The use of these energy sources is related to high-tech technologies based on current scientific knowledge. To bring

the use of these energy sources to the industrial level it is necessary to solve many problems in which the crucial role will be given to scientific researches and, above all, in the field of physics. Therefore, energy of the future is a modern problem of physics.

UDC 621.314

Pidlisniy O.S.<sup>1</sup>, Lushchin S.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419A National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Phys.-math. sciences), associate professor National University  
“Zaporizhzhia Polytechnic”

## **METHODS OF REDUCING LOAD LOSSES IN TRANSFORMER WINDINGS**

In contrast to idle losses, the reduction in load losses was not accompanied by a significant improvement in materials. Load losses in the wire consist of direct current losses in the ohmic resistance of windings ( $I^2R$  losses), eddy current losses in the wire and additional losses in the tank walls and metal parts of the structure. The main way to reduce load losses was to reduce the current density in the wire by increasing its cross section. However, this had two negative consequences: firstly, the dimensions of the core, its weight, and idle losses increased; secondly, losses caused by eddy currents increased. The use of a compact transposed wire, consisting of a large number of insulated from each other and transposed conductors with common insulation, partially removed the first drawback and to a greater extent the second.

Currently, large transformers use a transposed wire in which the number of elementary conductors can reach 80.

The wire may have insulation with epoxy resin, which after polymerization during the drying process gives greater rigidity to the wire, which increases the strength of the windings when exposed to short circuit currents.

The additional losses in the metal parts external to the windings are caused by the scattering flux generated by the windings, which depends on the configuration of the windings and is independent of the current density. As the loss in the wire in the load loss decreases, the proportion of additional losses outside the windings increases, especially in transformers with a large value of short-circuit resistance. As ratings of transformers increase, the proportion of stray losses in their load loss may increase significantly. These losses in structural components may exceed the stray losses in windings in large power transformers (especially autotransformers). A major portion of these stray losses occurs in structural components with a large area (e.g., tank plates) and core clamping elements(e.g.,

frames). The high magnitude of stray flux usually does not permit designers to disregard the nonlinear magnetic characteristics of steel elements.

Previously, control of the scattering field was carried out primarily in order to avoid unacceptable heating at individual points on the walls of the tank and other metal parts, especially in transformers of high power or having a high value of short-circuit resistance. Today, such control is also carried out to reduce additional losses. To reduce additional losses, conductive screens are used, which serve to deflect the magnetic flux from the surface to be protected, or electromagnetic shunts that collect and direct part of the magnetic flux in the desired direction.

The advantage of electromagnetic conductive screens is their simplicity and the ability to give them the necessary shape to protect the surface of a complex configuration. Their disadvantage is that in the screen itself there are losses that must be estimated, and the screens themselves must have cooling. In this case, it is necessary to control the scattered flux deflected by the screen, which can induce losses in other parts made of magnetic material.

Electromagnetic shunts direct magnetic flux along paths where there can be only small losses, preferably outside the walls of the tank and other metal parts. The advantage of electromagnetic shunts recruited from electrical steel is the better control of the scattering field and losses created by this field. The disadvantage is the difficulty in giving the shunts the necessary shape when protecting parts of complex configuration.

Shielding allows you to reduce additional losses in the protected parts by more than 50 %. In modern transformers, the additional losses can be from 10 to 50 load.

Existing calculation methods to determine the most favorable location: protective devices (shields or shunts), losses created by the scattering field, and the temperature at the site of the greatest losses.

УДК 378.14:53 (043.2)

Лозовенко О.А.<sup>1</sup>, Задоян М.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. пед. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. КНТ-116 НУ «Запорізька політехніка»

## **РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ПРО УМОВУ ЗРУШЕННЯ З МІСЦЯ**

У минулорічній публікації ми звертали увагу читачів на парадоксальну відповідь до задачі про рух системи, яка складається з двох тіл з'єднаних пружиною. Цього разу ми докладно розглянемо, як, за допомогою математичного моделювання, можна пояснити цю ситуацію. Нагадаємо умову задачі:

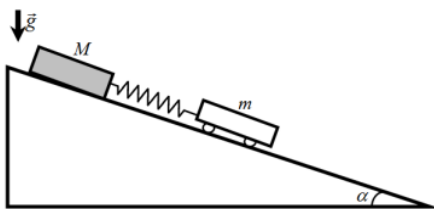


Рисунок 1 – Система, що розглядається

Два тіла масами  $M$  (брусок) та  $m$  (візок) з'єднані невагомю пружиною і знаходяться у спокої на похилій площині, що нахилена під кутом  $\alpha$  до горизонту (рис. 1). Коефіцієнт тертя між бруском та похилою площиною дорівнює  $\mu$ , тертям між візком та площиною можна знехтувати. Візок підтягують ближче до бруска так, щоб деформація пружини стала дорівнювати нулю, і відпускають без поштовху. Якщо маса візка перевищує певне критичне значення, брусок починає рухатися. Знайдіть цю критичну масу  $m_{cr}$  візка.

Типовий розв'язок цієї задачі починається з використання критичної умови зрушення блоку:

$$-\mu Mg \cos \alpha + Mg \sin \alpha + k\Delta x_{cr} = 0,$$

де  $\Delta x_{cr}$  — максимальне значення видовження пружини,  $k$  — коефіцієнт жорсткості пружини.

Закон збереження механічної енергії можна записати так:

$$k\Delta x_{cr}^2 / 2 = m_{cr} g \Delta x_{cr} \sin \alpha.$$

Формулу для критичної маси візка можна отримати, поєднавши ці два рівняння:

$$m_{cr} = M(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1) / 2.$$

Якщо маса візка більша за це значення, блок починає рухатися. Якщо маса візка менша ніж  $m_{cr}$ , блок не рухається, а візок здійснює гармонічні коливання. Можна помітити, що в остаточній відповіді немає коефіцієнта жорсткості пружини, і це виглядає дещо дивно. Розглянемо детальніше рух цієї системи.

**Опис моделі.** Модель, яку ми будемо використовувати для аналізу описаної системи, містить три спрощуючих припущення: (1) сила тертя діє лише на блок, але не на візок; (2) величина сили тертя ковзання дорівнює

$$F = \mu N,$$

де  $N$  — сила нормальної реакції; і (3) похила площина достатньо довга.

Зверніть також увагу на те, що відповідно до умови задачі спочатку обидва об'єкти знаходяться у стані спокою, отже,

$$m \leq M(\mu \operatorname{tg} \alpha - 1).$$

Розглянемо ситуацію, коли  $m > m_{cr}$ . Для моделювання руху системи слід враховувати існування двох типів альтернативних фаз: *1-го типу* — коли блок нерухомий, та *2-го типу* — коли блок рухається. Рівняння руху однакові протягом усіх фаз певного типу, але початкові умови відрізняються.

**Рівняння руху для фази 1-го типу.** Якщо спроектувати сили на вісь, що паралельна похилій площині та спрямована вниз (див. рис. 2), то другий закон Ньютона для візка можна записати так

$$\ddot{x}_1 = g \sin \alpha - \frac{k}{m}(x_1 - \ell_0), \quad (1)$$

де  $x_1$  визначає положення маси  $m$ ,  $\ell_0$  — довжина нерозтягнутої пружини, а початкові умови такі:  $x_1(0) = \ell_0$ ,  $\dot{x}_1(0) = 0$ .

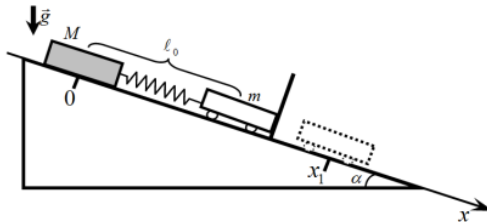


Рисунок 2 – Вибір координат

Рівняння (1) слід трохи змінити, якщо фаза цього типу повториться  $n$ -ий раз під час подальшого руху:

$$\ddot{x}_1 = g \sin \alpha - \frac{k}{m}(x_1 - \ell_0 - x_{2n}), \quad (2)$$

де  $x_{2n}$  — координата блоку під час  $n$ -ої фази 1-го типу. Зрозуміло, що  $x_{21} = 0$ .

Якщо в якийсь момент сума сил  $k(x_1 - \ell_0 - x_{2n})$  та  $Mg \sin \alpha$ , що діють на блок, стає більшою, ніж сила тертя  $\mu Mg \cos \alpha$ , починається фаза 2-го типу.

**Рівняння руху для фази 2-го типу.** Ця фаза почнеться тоді, коли координата маси  $m$  стане більшою ніж  $\ell_0 + Mg(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)/k + x_{2n}$ . Застосування другого закону Ньютона дозволяє отримати такі рівняння для фази 2-го типу:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = g \sin \alpha - k(x_1 - x_2 - \ell_0)/m; \\ \ddot{x}_2 = g \sin \alpha + k(x_1 - x_2 - \ell_0)/M - \mu g \cos \alpha. \end{cases}$$

У цих рівняннях  $x_2$  — координата блоку, для першої фази цього типу початкові умови такі:  $x_2(0) = 0$ ,  $\dot{x}_2(0) = 0$ .

Цю систему рівнянь легше розв'язувати, коли вона записана через відносну координату  $\xi = x_1 - x_2$  та координату центра мас  $\eta = \frac{mx_1 + Mx_2}{m + M}$ . Тоді рівняння можна розділити:

$$\begin{cases} \ddot{\xi} = -k \frac{m + M}{mM} \xi + \frac{k \ell_0 (m + M)}{mM} + \mu g \cos \alpha, & (3) \\ \ddot{\eta} = g \sin \alpha - \frac{\mu Mg}{m + M} \cos \alpha. & (4) \end{cases}$$

Рівняння (3) еквівалентне рівнянню простого гармонічного руху. Рівняння (4) описує рух тіла під дією сталої сили. Обидва рівняння легко розв'язуються:

$$\xi(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t + C \quad \text{та} \quad \eta(t) = \eta_0 + Vt + \frac{at^2}{2},$$

$$\text{де } \omega = \sqrt{\frac{k(m + M)}{mM}}, \quad C = \ell_0 + \frac{\mu m M g \cos \alpha}{k(m + M)}, \quad a = g \sin \alpha - \frac{\mu M g}{m + M} \cos \alpha, \quad A,$$

$B$ ,  $\eta_0$ , та  $V$  — константи, які можна знайти шляхом узгодження загальних розв'язків для фаз 1-го та 2-го типів.

Коли в якийсь момент часу швидкість блоку стає нульовою, ця фаза закінчується і знов починається фаза 1-го типу. Графічне зображення розв'язку для певного набору параметрів подане на рис. 3.

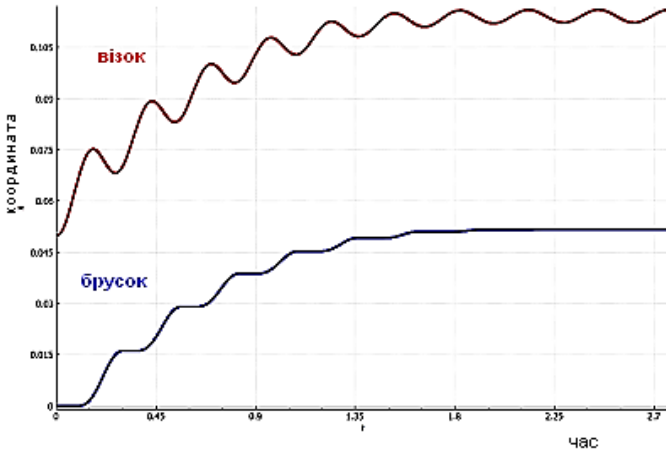


Рисунок 3 – Графік залежності координат візка та бруска від часу для випадку  $m/M = 0,5$ ,  $k\ell_0/Mg = 1$ ,  $\alpha = \pi/6$  рад,  $\mu = 0,9$

**Пояснення парадоксу.** Тут нас будуть цікавити лише випадки, коли

$$m \in (M(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1)/2; M(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1)]$$

верхня маса  $M$  повинна рано чи пізно зупинитися. Розглянемо, як коефіцієнт жорсткості пружини впливає на рух системи. Умова для початку руху верхньої маси формується так: зміщення маси  $M$  повинно бути більше певного значення  $\delta$ , яке можна експериментально зафіксувати. Відстань  $d$ , яку блок проходить до кінцевої зупинки, можна знайти чисельно, використовуючи рівняння (2-4). Після цього можна отримати найбільше значення нижньої маси ( $\tilde{m}_{cr}$ ) для умови  $d \leq \delta$  для різних значень коефіцієнта жорсткості пружини  $k$  (див. рис. 4).

Як можна помітити з рис. 4, для малих значень коефіцієнта жорсткості мінімальні значення нижньої маси близькі до значення  $M(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1)/2$ , яке було отримано після стандартного розв'язку задачі. Однак це значення різко зростає зі збільшенням коефіцієнта жорсткості, прагнучи до значення  $M(\mu \operatorname{ctg} \alpha - 1)$ .



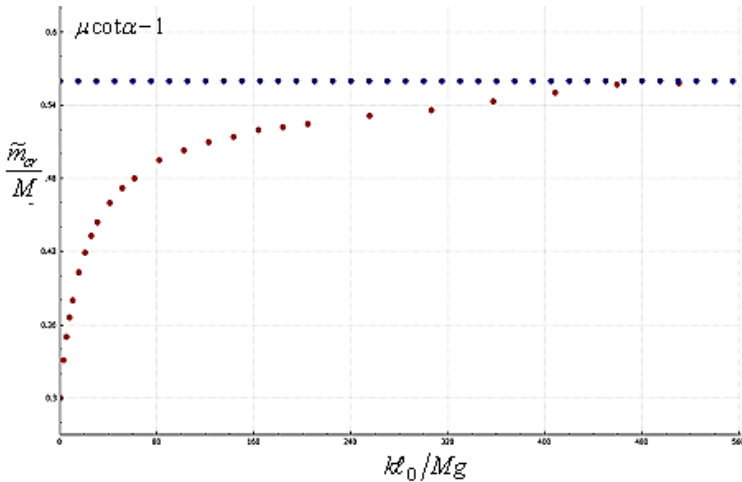


Рисунок 4 – Графік залежності безрозмірного мінімального значення нижньої маси ( $\tilde{m}_{cr}/M$ ) від безрозмірного коефіцієнта жорсткості пружини ( $k\ell_0/Mg$ ) для випадку  $\delta/\ell_0=0,01$ ,  $\alpha=\pi/6$  рад,  $\mu=0,9$

Отже, парадоксальну відповідь до розглянутої задачі можна пояснити різницею між умовою початку руху, яка зазвичай використовується для *теоретичного* розв’язання задачі, та умовою, що використовується для *експериментальної* фіксації цього моменту.

UDC 620.9

Nazarko N. N.<sup>1</sup>, Lushchin S.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419A National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Phys.-math. science), associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## SOME ASPECTS OF THE USE OF WIND TURBINES IN UKRAINE

A wind turbine or alternatively referred to as a wind energy converter is a device that converts the wind's kinetic energy into electrical energy. Its main difference from traditional (thermal, nuclear) is the complete absence of both raw materials and waste. The only important requirement for a wind farm is a high average annual wind level.

Let's consider the wind generators installed in Primorsk - Botievo wind farm: the installed capacity of the power plant is 200 MW. The construction was carried

out in two stages: 30 facilities “Vestas V-112” were launched in 2012, another 35 facilities - in 2014. The power station generated 665.6 million kWh in 2018.

There are some problems that arise during the development of wind farms. One of the main arguments against using wind generators is noise. Noise from modern wind generators at a distance of 20 m from the installation site is 34 – 45 dB. In its outline, due to its location in the steppe region, the problem of infrasound and vibrations has disappeared, since there are no large buildings nearby that could be damaged, but even this problem is solved by choosing a good aerodynamic profile, a well-balanced wind turbine, timely inspection. The vibration frequency - 6-7 Hz - coincides with the natural rhythm of the human brain, so some psychotropic effects are possible. Also one of the arguments against the use of wind generators is the harm done to animals and birds. But statistics show that, based on 10,000 individuals, less than 1 unit dies due to wind generators, 800 units due to power lines. Due to the huge size of the structure, there is a problem with the costly transportation of parts and their installation. But in turn, a 1 MW wind generator reduces annual emissions of 1800 tons of carbon dioxide, 9 tons of sulfur oxide, 4 tons of nitric oxide. Perhaps the transition to wind energy will affect the rate of decrease in the ozone layer and affect the rate of global warming. Due to the climate of Ukraine, wind farms do not need frost-resistant materials and oils.

Analyzing the foregoing, it is safe to say that from an environmental point of view, wind generators are not harmful. Practical confirmation of this is that modern wind energy today generates more than 200 billion kWh per year, which is equivalent to 1.3 % of global electricity production. Ukraine is ideal for wind farms due to the steppes and climate. Thus development of wind farms in Ukraine will help reduce environmental damage and even improve it.

УДК 53:378

Гуляєва Л.В.<sup>1</sup>, Дібров Я.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. пед. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. ІФ-519сп НУ «Запорізька політехніка»

### **ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ МАЙБУТНІМИ ІНЖЕНЕРАМИ**

**Вступ.** Мета самостійної роботи майбутніх інженерів під час їх підготовки до лабораторного практикуму, зокрема, з теми «Дослідження непружного удару» - це введення в понятійно-термінологічне поле шляхом аналітико-синтетичної діяльності з метою усвідомлення майбутніми фахівцями закономірностей непружного удару тіл.

**Мета.** Покажемо на прикладі вивчення змістовного модуля «Енергія» залучення до самостійної роботи майбутніх інженерів пропедевтичних завдань.

**Матеріали та методи дослідження.** В якості самостійної роботи під час підготовки до лабораторного практикуму «Дослідження непружного удару» щодо теоретичного обґрунтування закономірностей непружного удару тіл обрано наступні завдання.

*Завдання 1. Дати відповіді на теоретичні запитання*

Чим відрізняється абсолютно пружний удар від абсолютно непружного удару?

Які величини є інваріантами під час зіткнення тіл?

Які закони використовують для дослідження абсолютно непружного удару та абсолютно пружного ударів?

На що може витрачатись частина енергії тіл під час непружного удару тіл?

*Завдання II. Задачі на розуміння щодо визначення частини початкової енергії, яка перешла в тепло, витрачена на деформацію, руйнування тощо під час непружного удару.*

*Задача 1.* На рисунку 1 вказані швидкості двох кульок, маси яких відрізняються в 2 рази, до та після зіткнення. Визначити частину початкової енергії, яка перешла в тепло під час непружного зіткнення куль.

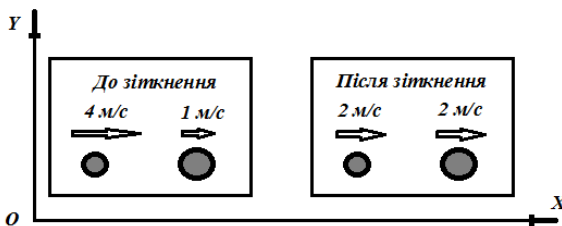


Рисунок 1 – Непружний удар куль

*Задача 2.* Під час порушення правил дорожнього руху відбулось непружне зіткнення нерухомого велосипедиста загальною масою  $m_1 = 100$  кг та автомобіля масою  $m_2 = 1000$  кг, який рухався зі швидкістю 72 км/год. Яка частина кінетичної енергії автомобіля витрачається на деформацію велосипеда під час його непружного удару?

*Завдання III. Розв'язання задач фахового спрямування.*

*Задача 1.* Деталь «Сектор лопаток СА» використовують в авіаційних двигунах. Однією із механічних властивостей даної деталі є ударна в'язкість,

Визначають ударну в'язкість в умовах виробництва за допомогою копра маятникового типу згідно балансу механічної енергії.

Яка частина енергії витрачена на подолання тертя в механізмі копру маятникового типу, на деформацію та руйнування зразка під час його динамічного випробування (див. рис.2)?

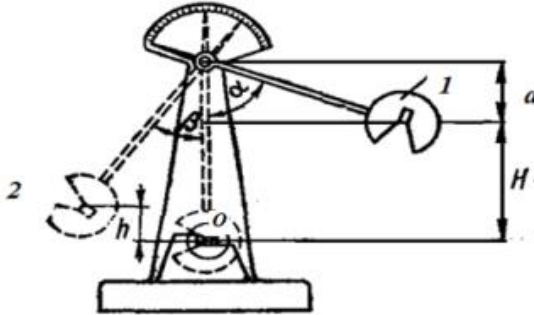


Рисунок 2– Визначення діапазону кутів відхилення копру маятникового типу перед випробуванням зразків на вигин

**Висновок.** Самостійну роботу майбутніх інженерів ми розглядаємо в контексті здійснення динамічної інтеграції знань, умінь, навичок, способів мислення для продовження їхньої навчальної та професійної діяльності.

UDC 621.039

Stepanov V.V.<sup>1</sup>, Lushchin S.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419A National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Phys.-math.sciences), associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## SAFETY OF PEACEFUL ATOM

Nuclear energy is the most powerful source of energy. The peaceful atom is very cheap and can give a lot of power compared to other sources of energy. Despite their safety, some people think that nuclear power plants are very dangerous and always mention catastrophic incidents like Chernobyl and Fukushima. However, even if take them into account, nuclear energy is the safest source of energy.

Nowadays the most popular sources of energy are thermal power plants burns coal, oil or gas, but they are extremely dangerous compared to other sources. When

the human and environmental costs are added up, the coal is the biggest killer of energy source by far.

Our choice around energy can have significant consequences. In general, coal as an energy source causes around 100 000 deaths per 1000 TW·h. Oil is very dangerous too but it causes three times less deaths. Gas is safer and it causes significantly less damage: around 4000 deaths per 1000 TW·h. Hydro power plants are normally very safe but sometimes can be harmful to people. They can cause up to 1500 deaths per 1000 TW·h. Today, renewable sources have some advantages. Solar and wind are very safe but there are some deaths too: 450 deaths from solar panel (rooftop solar only) and 150 from windmills. And nuclear energy is safest: there are only 90 deaths per 1000 TW·h.

Gamma rays never penetrate nuclear power plants, unless depleted radioactive fuel is replaced or used incorrectly. If utilize them properly they almost don't leave harmful garbage. Even if it isn't possible to utilize them without any leftovers yet, this is less harmful compared to harmful effects from thermal power plants, such as air, water and soil pollution that causes climate change because of global warming. Moreover, coal and oil provides 30 % of total world's energy each, 21 % comes from coal, and only 5 % from the peaceful atom, 3 % from water and only 1 % from sun and wind.

In our opinion, people should rethink their attitude to energy sources and, in particular, to nuclear. Unfortunately, humanity takes into account large and loud events like Chernobyl, rather than slow, consecutive deaths that occur over time from other energy sources. In this regard, nuclear power plants and renewable energy sources are more preferred. The development of modern technologies will significantly improve the safety of nuclear power plants and increase their contribution to the production of electricity.

## СЕКЦІЯ «АНГЛІЙСЬКА МОВА»

УДК 811.111'42'272'23

Адаменко О.В.

канд. філол. наук, доц. НУ “Запорізька політехніка”

### БІЗНЕС КОРЕСПОНДЕНЦІЯ: ГЕНДЕРНИЙ АСПЕКТ

У сучасній науковій думці актуалізуються новітні антропоцентричні ідеї, згідно з якими реальне буття зображується крізь призму її сприйняття людиною. У зв'язку з чим, увага зосереджується на індивідуальних параметрах суб'єкта дійсності, соціокультурному зокрема. Гендерний чинник відбивається у всіх сферах життя, відображається у мові та мовленні в усній та писемній формах, змінюється під впливом економічних, політичних, ідеологічних факторів.

Так, сучасний стан еволюції суспільства характеризується новітною тенденцією розвитку на засадах гендерної рівності та передбачає однакові права як для жінок, так і для чоловіків у всіх сферах суспільного й приватного життя. Цей процес впливає на переформатування гендерних стандартів, і норм поведінки, що у свою чергу знаходить віддзеркалення у гендерно-чутливій комунікації (gender-sensitive communication).

Згідно з програмою розвитку ООН професійна комунікація, бізнес листування зокрема, повинна всіляко уникати сексизму в мові та дотримуватись принципів гендерної нейтральності. Згідно з рекомендаціями в сучасній діловій кореспонденції:

1. оминають гендерні стереотипи: *Social Good Summit attendees and **their** wives are invited (gender biased). Social Good Summit attendees and **their** partners are invited (gender sensitive);*

2. не використовують штампів, що виключають жінок: *Each employee will do better if **he** has a voice in the decision(gender biased).Employees will do better if **they** have a voice in the decision (gender sensitive);*

3. застосовують рівні форми звернення: *Mrs. EdSchmidt (gender biased). Janet Schmidt/Ms. Janet Schmidt(gender sensitive);*

4. уникають андроцентричні родові поняття: ***Mothertongue**(gender biased). **Native tongue**(gender sensitive);*

5. вживають гендерно-нейтральні титули, звання, імена, найменування тощо: *Stewardess; waitress (gender biased)Flight attendant; waiter/ server (gender sensitive).*

Дослідження бізнес кореспонденції на засадах гендерної рівності та нейтральності є перспективним та актуальним, зважаючи на сучасні настанови рівноправності чоловіків та жінок в усіх сферах їхнього існування.

## ОСОБЛИВОСТІ НАВЧАННЯ НАПИСАННЯ ЕССЕ АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ

В останні роки значно зросла зацікавленість до такого виду писемного мовлення, як ессе. Ессе – це прозаїчний твір невеликий за розміром та вільної композиції, який передає особисті враження та почуття по конкретному питанню. Це тільки особисте бачення того питання, яке висвітлює конкретну тему ессе. **Ессе англійською мовою стане в нагоді : при складанні ЄДІ з англійської мови, для складання міжнародного іспиту з англійської мови, для вступу до університету, для прийняття на роботу.** Ессе може бути представлено наступними типами: оповідним, описовим, доказовим. Але цей розподіл умовний, так як більшість ессе поєднують характерні риси різних типів.. Навчання написанню ессе входить до програми ВНЗ, і є частиною міжнародних іспитів.

Відповідно до навчального курсу «Англійська мова», студенти мають можливість практикувати свої не лише усні, а й писемні навички під час роботи з написанням есе, або ж підготовкою до усного мовлення шляхом написання есе, що є фактичним показником знань студентами різних розділів англійської мови. Тобто, таке завдання як написання навчального есе є загальною картиною здобутих навичок із граматики, орфографії, синтаксису, морфології, лексикології та пунктуації.

За вимогами до структури, академічне есе складається з наступних частин 1) Заголовок (Title) – відображає основну проблему, якій присвячено есе. 2) Вступ (Introduction) – теза-проблема з описом того, про що конкретно буде говоритися в основній частині. 3) Аргументація (Body) – аргументоване розкриття проблеми на основі зібраного матеріалу. Ця частина роботи включає співвідношення і узагальнення інших точок зору з викладенням власної та її обґрунтуванням, використання в якості ілюстративного матеріалу емпіричних відомостей із переконливими, зваженими, ефективними доказами, дотриманням логіки в розкритті проблеми за допомогою використання параграфів (абзаців). 4) Висновок (Conclusion) – коротке узагальнення і виклад основних аргументів. Виходячи із поданої вище структури есе, проаналізуємо ключову лексику, яку студенти використовували на кожному із структурних рівнів.

Одним із важливих питань при написанні есе є переконання та аргументативний нарис. Написання переконливих нарисів вимагає ретельного: планування, аналізу вашої аудиторії та достатніх доказів, щоб

довести вашому читачеві, що ваша думка справедлива: тобто ваша думка варта і її слід враховувати. Цілі переконання:

1. викласти свою думку;
2. пояснити, уточнити та проілюструвати цю думку;

3. переконати читача у справедливості вашої думки. ваші думки повинні підтримуватися фактами, прикладами, фізичним описом та / або особистим досвідом.

Для того, щоб студенти могли це робити надається багато видів вправ, а саме: вибрати відповідну кількість вагомих аргументів, організувати аргументи в порядку важливості та сили, довести, що кожен із аргументів сильний, життєздатний та правильний, вибрати методи розробки, які представлять аргументи найсильнішим способом( порівняння-контраст, процес, класифікацію та причино-наслідки), знайти контаргументи, використовуйте один з наступних переходів, щоб ввести контаргумент: *opponents of this position argue that..., another argument against X is..., critics of this position point out that..., it may be objected that..., several questions come to mind..., at this point one may wonder..., certain objections must, of course, be considered...*; спростуйте цей контаргумент: спростування повинно виконати одне з наступних дій: а. виправте факти опонента: контаргумент *untrue/incorrect*, б. заперечити, що контаргумент є таким, що не пов'язаний з темою: *irrelevant* с. компроміс: хоча контаргумент правдивий, недостатньо, щоб подолати ваші аргументи: *insufficient*. Студентам пропонується написати есе на основі трьох запропонованих планів аргументативних есе. Зауважте, що в кожному плані один чи кілька абзаців Body можуть бути *optional* Для вашого аргументованого нарисув завдання (700-900 слів) визначає, що ваш нарис буде мають чотири-шість абзаців. Зрозуміліші довші завдання, звичайно, потребують більше абзаців

УДК 372.881.111.1

Yuliya Bykova

teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## НАВЧАННЯ ПРОФЕСІЙНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПИСЬМА СТУДЕНТІВ НЕМОВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

В сучасному світі надзвичайно важливим є навчання студентів немовних спеціальностей іншомовного професійно орієнтованого письма. Це зумовлено такими чинниками:

1. Письмо є важливим фактором розвитку культури і освіти, засобом зберігання інформації, надійним способом міжкультурної взаємодії людей.



2. Підприємства мають можливість встановлювати прямі контакти із зарубіжними партнерами і створювати спільні підприємства. Тому для вирішення цих завдань підприємство повинно мати в своєму розпорядженні кваліфікованих фахівців, які вміють забезпечувати як усну, так і писемну професійну комунікацію, вести професійну документацію іноземною мовою.

3. Зростає роль писемної комунікації у зв'язку з широким використанням комп'ютерів.

В сучасній методичній літературі розрізняють поняття письмо та писемне мовлення. Деякі дослідники використовують лише термін "письмо", підкреслюючи його вузьке чи широке значення. У вузькому розумінні терміна письмо – це графічне зображення слів за допомогою літер. А писемне мовлення – це письмо в широкому розумінні терміна – це специфічний код мовленнєвої діяльності, кодування інформації з урахуванням графічного способу зв'язку.

Письмо – це продуктивний вид мовленнєвої діяльності. Як і в будь-якому іншому виді мовленнєвої діяльності, процес написання забезпечується сформованими у того, хто пише, навичками та вміннями, які складають його мовленнєву компетенцію в письмі. Неможливо не підкреслити найтісніший зв'язок цієї компетенції зі всіма іншими, які входять до складу загальної комунікативної компетенції людини. Відтак, виникає необхідність професійної орієнтації мовленнєвої компетенції в письмі студентів немовних спеціальностей.

Під професійно орієнтованим науковці розуміють навчання, яке ґрунтується на врахуванні потреб студентів у вивченні іноземної мови, що диктується особливостями їхньої майбутньої професії.

Отже, професійно орієнтоване письмо – це вміння викладати думки у письмовій формі в рамках професійної тематики. Останнім часом науковці багато уваги приділяють дослідженню професійно орієнтованого письма як в мовних, так і немовних ВНЗ. Цьому виду мовленнєвої діяльності присвятили роботи такі науковці: Мазунова Л. К., Гальперін І.Р., Грузинська І.А., Тарнопольський О.Б., Byrne D., Eisterhold J.C., Evans V., Hedge T., Leki I., Pincas A., White R.V., Raimes A., Swales J., Tribble C.

Мовний матеріал, який був пропущений через письмо, запам'ятовується та засвоюється краще. Провідними факторами, що впливають на формування мовленнєвої компетенції в письмі є: 1) фактор мовленнєвих навичок (лексичні, граматичні навички); 2) фактор умінь (вміння оформлення писемних текстів, стилістичні вміння, вміння висловлювати думки у письмовій формі, вміння забезпечувати цілісність, завершеність та адресованість текстів); 3) фактор добору певних жанрових типів писемних текстів для навчання (залежить від професійної орієнтованості навчального процесу. Жанрами є: листи, конспект, анотація, реферат, стаття, інструкція)

Всі письмові тексти належать до певних функціональних стилів: розмовний, науковий і офіційно-діловий, публіцистичний і літературно-художній. В останні роки склався особливий стиль технічних документів. Технічні документи – це різні керівництва (керівництво користувача, керівництво адміністратора та інші), специфікації, описи, звіти. Його основна функція – передача інформації. Він містить деякі елементи наукового і офіційно-ділового стилів. Навчання студентів ВНЗ таких типів текстів як (стаття, звіт, конспект, реферат) називають практичним письмом. Практичним називають письмо, яке обумовлене потребами майбутньої професійної діяльності або особистісними потребами.

До академічного письма можна віднести усі види писемних робіт студентів, за допомогою яких вони навчаються письма як виду творчої продуктивної мовленнєвої діяльності, але які не мають скільки-небудь серйозного практичного значення з точки зору професії або життя майбутнього фахівця (твори есе, виклад-переказ, науково проблемне тематичне повідомлення). Його призначення – суто навчальне (академічне).

Таким, чином, можна відзначити, що будь-яка професійна діяльність накладає відбиток на людину, формуючи особливий тип мислення. Тому, навчання письма повинне сприяти формуванню професійного інтелекту, задіювати мислення, пам'ять, увагу, професійні знання і викликати підвищений інтерес та стійку увагу аудиторії, тобто мотивувати до вивчення надзвичайно важливого виду мовленнєвої діяльності .

УДК 811.111

Valentyna Kuzmenko

senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **WRITING IN PROFESSIONAL COMMUNICATION**

Professional writing is a style of written communication used in a workplace environment that allows professionals (e.g. businesspeople, professors, doctors, lawyers, etc.) to make informed decisions. Professional writing typically has a formal tone and differs from written text that is considered literary or artistic, which generally seeks to entertain and/or convey a philosophical truth.

The general purpose of professional writing is to convey information to readers within a workplace context. The specific function of professional writing can be one or a mixture of the following, depending on context: to encourage action, to instruct, to persuade, to inform, to affirm shared goals.

Professional writing allows various types of professionals to communicate ideas to each other despite their different areas of expertise. For example, an

engineer can explain her newly invented solar panel to the sales team by writing a paper.

Professional business writing, also known as business communication covers an array of elements including; business plans, business models, project proposals, project reports, brand manifestos, business letters, presentations and marketing campaigns etc.

Apart from the business communication on organizational level, business writing also caters to the communication at a personal level. For instance, writing resumes, cover letters, experience letters or recommendation letters etc. for the clients. You should learn to write all these documents.

Business writing doesn't have to be boring. Here are the top skills you should practice:

- a) one of the biggest differences between business writing and other types of writing is that it needs to be concise;

- b) as a good rule of thumb, don't use three words when you can say something in one, but you need to make sure that your ideas are clear to your reader;

- c) keep your reader in mind as you write. Think about what they know already, especially as you determine the terminology to use. If you're writing to a specific person or group of people, look for ways to personalize the document by considering their interests;

- d) when writing for business, people typically choose a more professional tone. Depending on the document you're writing, however, a conversational tone may be preferred. Especially when you're communicating with consumers, your writing should feel like a person wrote it, not a robot. Using a conversational tone helps your readers engage with what they're reading and connect with you;

- e) it's important to think about the organization of your paper. Remember that with business writing you should give the most important information first. Since most people will read the first paragraph before deciding whether or not to read the rest of the document, place your most important points in at the beginning;

- f) don't use jargon and buzzwords. Try to use simple words that everyone reading your work will understand;

- g) using active voice strengthens your credibility and adds power to your ideas. For example:

*Passive voice:* The report will be reviewed by the manager for errors and steps will be taken to correct any issues right away.

*Active voice:* The manager will review the report for errors and take the steps to correct any issues right away.

Although you may use passive voice at times, try to use it sparingly.

- a) to build your credibility in your industry, try to refrain from infusing your opinion into your writing. Stick to the facts with statistics, data, and benefits of

your products or services. Also, watch out for hyperbole. Readers have a difficult time trusting you when you use hyperbole to get a point across. So, stick to the facts while still making your writing interesting and compelling to your readers;

b) there are many different platforms for your business writing, including web articles, blog posts, social media posts, and video scripts. If you're planning on writing for these different platforms, you need to learn the techniques and tricks needed for each one;

c) never publish, print, post, or email any document until you've proofread it. Make sure that your writing is error-free before it gets in the hands of your customers, clients, investors, and others. Bad grammar and punctuation errors will make a bad impression and reduce your credibility. If you struggle with grammar and punctuation, send your work to someone who can edit it for you.

Mastering these business writing skills will help you improve your writing skills and impress those with whom you communicate. Take the time to practice and review your work to ensure that you're conveying your ideas in the best ways possible.

УДК 378.147.88

Yuliya Sobol

PhD (Philology), associate professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **COMBATING PLAGIARISM IN WRITING SCIENTIFIC PAPERS**

The development of technology as well as information explosion has opened the unprecedented opportunities for easy and quick access to information- copy-pasting, recombination, redrawing, etc. And although the plagiarism is not new in scientific research and academic writing, now the temptation to pass somebody's ideas as your own seems has much worsened, from egregious cases of plagiarism to unintentional. At the same time technological advent has made it possible to prevent some types of scientific fraud, so today most publications are checked with aim to discover most serious cases of offense. Though such software does not guarantee accurate results, and human crosschecking is still needed and topical.

Our task is to deter students from plagiarizing as the acts of academic dishonesty. The students should be fully aware of what plagiarism is, what its types are and how to avoid it. According to the Merriam-Webster online dictionary, to "plagiarize" means: 1) to steal and pass off (the ideas or words of another) as one's own; 2) to use (another's production) without crediting the source; 3) to commit literary theft; 4) to present as new and original an idea or product derived from an existing source. In other words, plagiarism is an act of fraud. It involves both

stealing someone else's work and lying about it afterward. Bela Gipp stresses that academic plagiarism encompasses: "The use of ideas, concepts, words, or structures without appropriately acknowledging the source to benefit in a setting where originality is expected."

In terms of the severity the plagiarism is ranked from complete plagiarism, the most serious offence, to paraphrasing, which is most common. A complete plagiarism occurs when a plagiarist takes the whole of somebody's manuscript or study and presents it under his or her name. It is tantamount to intellectual theft.

Source-based plagiarism takes place when a researcher refers to incorrect or non-existent source. Sometimes researcher cites the primary source but actually uses a secondary source of data or information thus increasing the number of sources and citation number of references.

Falsification, fabrication or making up data, results, findings, citations is also a type of plagiarism which may cause grave consequences, particularly when it relates to human safety and health. Inaccurate authorship may also be attributed to this type.

Direct plagiarism is observed when the author copies the other authors' texts word by word without referencing. It is similar to complete plagiarism, the only difference is that it refers not to the whole text but to some portions.

Self-plagiarism, or auto-plagiarism is a result of reusing big portions of previously published works without indicating them. It concerns scientists that have already their works, rather than students. Nevertheless the latter should be aware of such violation of integrity.

Paraphrasing plagiarism involves different wording of somebody else's writing, while the ideas and concepts are stolen from certain original source. Distortion of the original study content may mislead the reader and even cause danger to human safety and health.

Accidental plagiarism, both intended and unintended, may occur by mistake, unintentional paraphrasing, in distinguish ability of what material is subject to citation and what common knowledge is. Since students are likely to practice both paraphrasing and accidental plagiarism, so teachers should focus their attention on these plagiarism forms so as to reduce the risks.

A spread of contract cheating is being observed lately at the universities. The practice of paying someone who create so called "course work and diploma mills", when students and researchers pay for the work done for them is an extreme form of plagiarism.

There is one more form of plagiarism, which may be called translation plagiarism. When translated from one language into the other the text changes dramatically, and software fails to detect intellectual stealing and fraud. Cheaters try to be ahead of the software diagnostics of the text originality, so the attention should be paid to the development of cross language checking linguistic tools.

To avoid both accidental and intentional plagiarism students should follow a number of advices. First of all it is necessary not to copy sentences from a source unless for citation that will be put in quotation marks. Proper note-taking will save young authors from inaccurate authorship and falsification. Including “reference” section in the scientific writing of any kind may be a very useful practice to prevent potential plagiarism. When citing an on-line sources it is a strongly advised to include the date and URL in the reference list. To be sure that there is no distortion in paraphrasing students are recommended to read the original source several times until they become sure that they understand and explain it correctly.

УДК 372.881.111.1

Olena Syvachuk

teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”U

## **STRATEGIES FOR HELPING ENGLISH LANGUAGE STUDENTS THROUGHOUT THE WRITING PROCESS**

Most ESL students step into the classroom for the first time brimming with enthusiasm and ready to improve their English communication skills. And by “communication” they’re thinking of speaking skills. Which is great! But what happens when they’re faced with the challenge of communicating in writing? In today’s world where a lot of our communication and interaction is digital or online or electronic, ESL students need to learn to communicate well in writing, as well as orally.

Writing does not exist in a vacuum. It is a natural extension of listening and speaking, true in any language, but no less true for speakers of other languages and those in the process of learning English.

Because of that spoken-written word connection, engaging these skills in your ESL students when they write will help them move smoothly through the writing process. By helping your students engage the oral and aural skills they have acquired in their studies of English, they will find that writing is not as impossible as it might otherwise seem.

Here are a few stages that help facilitate the process.

First of all, it is prewriting. It is the stage of the writing process when the writer generates ideas for his writing. For ESL learners, this is also an opportunity to generate vocabulary and grammatical structures that will be necessary for writing on a particular topic. At times, your students will be more successful in groups. Other times they may need your assistance as they generate their ideas. You may find at times your direction is enough to set them going in the right direction, and then they will be able to work independently. For example, you can

ask questions to help elicit vocabulary or grammatical structures from your students; or work together as a class to create a word bank that relates to the topic on which they will write. You can also give your students a blank template to organize their writing ideas which may be just enough to get them going. Also doing research on the web, in books or with interviewees may be what your students need to find useful vocabulary or to determine the correct format for answering a question. Give your class time to prepare before they sit down to write.

When your students have done all that, they will take the ideas they have generated and start putting them into their logical positions in what will become their composition. Again, giving your students a chance to speak and prepare for writing is the key. Try any of these strategies in the organization phase: topic sentences, graphic organizers, open ended questions.

When your students enter the writing process, make sure they understand that a draft is not the final composition. Instead, remind your class that writing is a process, and they will have an opportunity to find and correct their errors later in the process. Right now, their goal is to get something written out on the page.

Using a fill in the blank template for topic sentences, thesis statements and transitions may help your students as they write the first draft of their essays. When you give them the grammar and the organization, they can put all of their energy into the content as they write.

Similarly, students working off the graphic organizers and templates they used in the organization stage will have a more thorough grasp of the vocabulary and content that they will need to write at this stage.

In the editing process, writers look for major communicative gaps in their essays. When your students edit their compositions, encourage them to pay attention to writing elements such as thesis statements, content development, introductions and conclusions.

Peer editing is one of the best resources for ESL students at this point in the writing process. Assigning a partner to each student and asking that person to look for specific issues in the essay can be a priceless experience for your students. Encourage each person to look for any breakdown in meaning, confusion in organization, or topics that are not fully addressed in the composition.

Finally, rewriting is just as important as the rest of the steps in writing a complete piece. Here your students will look for errors in grammar, sentence structure, word choice, spelling and punctuation.

Dictionaries are a tremendous resource for ESL students. Whether they use a bilingual dictionary or an English only version, checking for spelling and misuse of words or word forms can be done here.

This is also a good time to look at the sentence structure your students are using most often. Likely, they will be relying too heavily on simple sentences, so a

quick grammar review on combining sentences with coordinating conjunctions and using relative clauses is perfect to introduce here.

When you encourage speaking, language use, vocabulary development, and grammar examinations, your students will find that the process of writing may not be as intimidating as they once thought it was!

УДК 372.881.111.1

Суворова Т.М.

старш. викл. НУ “Запорізька політехніка”

## **ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО ІНШОМОВНОГО ПИСЕМНОГО СПІЛКУВАННЯ**

Тези присвячено питанням формування іншомовної комунікативної компетенції студентів в області письма. В тезах розглядаються наступні питання: визначення писемного мовлення, знайомство з двома підходами в навчанні писемного мовлення, надаються етапи навчання креативному письму, критерії оцінки письмових повідомлень, ведеться мова про комунікативні письмові завдання.

В даний час постійно розширюється міжнародне співробітництво, яке в сфері освіти проявляється у створенні спільних навчальних закладів, в розробці спільних курсів, в участі в міжнародних проектах за освітою. Перед випускниками українських вузів відкриваються великі можливості в плані проходження стажувань за кордоном, проведення наукових досліджень по своїй спеціальності із залученням іншомовних матеріалів, роботи в зарубіжних фірмах, що вимагає від сучасного фахівця володіння як усними, так і письмовими формами іншомовного спілкування. У зв'язку з цим, вища школа покликана забезпечити підготовку фахівців, які поєднують професійну і міжкультурну комунікативну компетентність. Письмова мова все більше проникає в міжособистісну і професійну міжкультурну комунікацію, в процес навчання іноземним мовам, що також можна пояснити зростанням ролі інформаційних комунікаційних технологій у всіх сферах людської діяльності.

Не викликає сумнівів той факт, що письмова мова набуває все більшого значення, тобто зростає роль письмового спілкування в отриманні і передачі інформації, яка проявляється в оволодінні вміннями висловлювати свої думки в письмовій формі.

Зарубіжні стажування студентів, аспірантів і молодих вчених припускають вміння робити записи на іноземній мові: складати і заповнювати анкету, відповідати на питання, писати заяву про прийняття на



навчання або роботу, писати коротку або розгорнуту автобіографію, скласти особисті або ділові листи, використовуючи не тільки відповідні граматичні конструкції, але і необхідну форму мовного етикету носіїв мови, в тому числі і форму ділового етикету.

Існують як мінімум два підходи в навчанні писемному мовленню: 1) концентрація на процесі породження письмового тексту і 2) концентрація на результаті письмовій діяльності (1) *writing-for learning* and (2) *writing-for-writing*. Ми завжди повинні усвідомлювати, на чому ми акцентуємо увагу: на навчанні процесу писемності або на продукті писемності, чи хочемо ми навчити студентів різним жанрам письмових повідомлень або ж навчити їх креативному письму. У будь-якому випадку ми повинні хотіти сформувати звичку до письма. (To build a writing habit).

Найбільш важливими при навчанні креативному письму англійською мовою подаються такі етапи:

1. Висловити мету написання послання;
2. Врахувати потенційного одержувача повідомлення;
3. Організувати матеріал;
4. Передати інформацію;
5. Обмінятися ідеями, думками;
6. Донести зміст до читача;
7. Дотримати послідовність викладу думок;
8. Використовувати смислові зв'язки;
9. Використовувати різноманітні граматичні та лексичні конструкції;
10. Уникати орфографічних і пунктуаційних помилок;
11. Слідувати правилам етикету письмового повідомлення в англійській культурі.

Творче письмо може використовуватися на будь-якому етапі навчання. Спочатку можна пропонувати студентам різні види опору у вигляді візуальної і слухової наочності: предмети, картинки, фотографії, аудіотексти, пісні, інструментальні музичні твори, відеофільми, а також графічну наочність: інструкції, вірші, оповідання, готові зразки писемного мовлення. Поступово можна привчати їх до складання листів, історій від імені якого-небудь героя або якого-небудь предмета про історію його життя, письмового продовження якої-небудь перерваної історії або відомого літературного твору, написання міні-творів або есе за обраною цитатою або статтею.

Не слід забувати три найважливіші умови при введенні на заняттях креативного письма: цілі навчання, принципи, методи і прийоми навчання, а також навчальний контроль, тобто оцінка рівня володіння даним мовним вмінням.

## **RENEWABLE ENERGY IN THE US AND CHINA**

A careful analysis of the level of global primary energy consumption allows us to conclude that there are multidirectional trends in economically developed countries and in the rest of the world. So, in the countries that are members of the Organization for Economic Co-operation and Development primary energy consumption in the period from 2005 to 2015 decreased by 3% (in the EU - by 10%). The rest of the world saw an increase in energy consumption by 31%.

World energy revolution is changing the traditional relationship between economic growth and increased energy consumption. Gradually, the main trend in the global energy industry is a decrease in energy intensity and an increase in the use of renewable energy sources (RES). How this happens in practice can be considered in the examples of the USA and China. In the twentieth century, the world entered the era of oil under the leadership of the United States, which became its largest consumer. Until the mid-seventies, the US was also an exporter of oil. Because of the energy crisis in 1975, the United States introduced a ban on the sale of oil abroad. In the following decades, the States will become the largest importer of oil: in 2005, foreign purchases accounted for 67% of total consumption. Such dependence on energy imports created serious problems for the country in terms of energy security. The solution to the problem of volatility in the United States is carried out in two main directions: increasing hydrocarbon production and developing renewable energy. Moreover, the American state and business managed in a short time to achieve impressive results that led to revolutionary changes in the global energy field. The USA became the first in the world who managed to overcome the resource constraint with the help of the latest technologies - to extract previously inaccessible oil and gas from shale rocks, which sharply expanded the offer in this energy-deficient country until recently. Such measures stimulated fundraising in the development of renewable energy. Over the past decade, US investment in renewable energy amounted to about 375 billion dollars. Already in 2005, the United States took first place in the world in the number of electric wind installations, and in terms of RES consumption - second after the EU countries. In general, the consumption of renewable energy resources in the country for the period 2005-2015 increased by 3.5 times. In the US, the world's largest electricity market, wind and solar power are gradually becoming competitive with natural gas plants. The share of renewable energy in

electricity production in 2015 was 14%, which is comparable to the US nuclear industry.

China, unlike the US, does not have significant reserves of oil and gas, and at the expense of its own production provides only part of its needs. Therefore, the country has become one of the largest importers of hydrocarbon resources. At the same time, two-thirds of China's energy balance is coal, which is the largest source of emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases. The leading role in the development of renewable energy in China belongs to a focused government policy that provides priority for renewable energy suppliers. A law was also adopted regarding renewable energy, the issue of buying clean electricity at preferential and full tariffs was resolved. Special funds have been created to finance development in the field of renewable energy, create new technologies, and conduct research. Medium and long-term programs for the priority development of wind energy, hydropower, waste management, solar energy and bioenergy were adopted. It took China only ten years to become a leader in global renewable energy. Its world share over this period has grown by almost two and amounted to 24%. This is followed by the EU - 17% and the United States - 11%. Even more impressive are the growth rates of wind and solar power. Over the past decade, Chinese wind energy has grown almost 57 times, its total capacity exceeded, for example, the volume of generation of all electricity in Ukraine last year.

**Conclusion:** Such trend will continue for the few coming decades. According to the forecasts by British Petroleum (BP) until 2035, global energy consumption will grow by 34%, while countries outside the ECO will provide 96% of the increase. Thus, global energy demand will continue to grow, but the main consumption of hydrocarbon energy sources will shift to developing countries, and the energy supply structure will change towards more environmentally friendly fuels.

УДК 621.039

Daniil Kolisnyk<sup>1</sup>, Tatyana Suvorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-418a National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>senior teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## NUCLEAR POWER IS GAINING MOMENTUM AGAIN

Construction of nuclear power plants have been intensified in the world despite the Fukushima accident. Many consider nuclear power to be green, since nuclear power plants have virtually no greenhouse gas emissions. Therefore, years after the Fukushima accident, plans for the development of nuclear power are beginning to be revised in many countries in favor of increasing the construction of

nuclear power plants. But the disposal of nuclear waste and the elimination of the consequences of accidents often cost companies-operators significant amounts of capital.

Japan's Ministry of industry began a full-scale discussion in 2018 on whether to build new nuclear power plants to meet the goal of reducing greenhouse gas emissions.

This discussion was a part of the government's plans to update the basic energy program until 2030. The program is reviewed every three years. The government's current energy balance plan provides that in fiscal year 2030 (through March 2031), nuclear power in Japan will account for 20-22% of the electricity produced. To achieve this goal, it will be necessary to use 30 nuclear power units.

In 2017 the law on nuclear reactors and other related facilities was revised in Japan. According to, it operators of nuclear power plants have required to publish their plans, measures and opportunities for ensuring the disposal of reactors and other nuclear facilities. This includes the estimated costs of decommissioning facilities and the amount of radioactive waste that will be generated after dismantling.

While in Korea the Shin-Kori nuclear power plant is under construction of the 5th and 6th power units, which include the APR-1400 reactors (developed by the Korean company KEPCO on the basis of the previous domestic OPR-1000 project using American technology). The NSSC approved applications for their construction in June 2016, but in June 2017, the Cabinet decided to suspend construction. After three months of discussion and public opinion, a 500-person jury decided to resume construction, which the president of Korea Moon Jae-In agreed to. In December 2018, the readiness of blocks 5 and 6 was 42%. The commissioning dates for the units have been moved to October 2021 and October 2022, respectively.

The UK is one of the pioneers of global nuclear power – its first Calder Hall nuclear power plant with a capacity of 50 MW entered service in 1956, two years after the world's first Soviet nuclear power plant in Obninsk. Over the next three decades, more than four dozen first-and second-generation gas-cooled graphite power reactors, built according to original domestic designs, have been operating in the UK. By now, three-quarters of them have already been stopped.

For more than 20 years, the UK has not commissioned new nuclear power plants. The last nuclear unit built was Sizewell B in Suffolk, which entered service in 1995. The first new British nuclear power plant to be launched this century will be Hinkley Point C in Somerset. After entering into operation, the station will provide about 7% of the national electric production. The first unit is expected to start operating in 2023. The UK government released a Single national energy and climate plan for the period up to 2035. According to it, a policy will be pursued to

gradually reduce the share of fossil energy sources and replace them with renewable sources and nuclear generation.

At the same time the US is discussing the development of a strategy for the transition of the country's economy to 100% carbon-free generation. Former U.S. Energy Secretary Ernst Moniz presented a report on the "transition to a clean energy ecosystem" in the Senate. It claims that one of the "critical technologies" needed to achieve the goal is the promising new-generation nuclear reactor projects. Both the advantages of nuclear power and the issues related to the nuclear industry are noted. It is emphasized that the solution to these problems can be the development of a fleet of improved new-generation reactors that have cost-effectiveness, improved safety system, the introduction of nuclear cycle options that eliminate the risk of proliferation, as well as the ability to longer loading cycles.

An alternative project for switching to carbon-free generation was the "Green new deal" introduced in Congress. It proposes to abandon nuclear power and completely switch to renewable sources, and to switch road transport to electric traction.

Commenting on this program, Moniz recalled that nuclear power today provides 20% of electric energy and more than 50% of carbon-free generation in the country – more than all other carbon-free sources combined. Therefore, it is impossible to achieve the goal of completely clean electric energy without nuclear power.

УДК620.91

Danil Komarov <sup>1</sup>, Oleksandr Bezrodnii<sup>1</sup>, Tetyana Suvorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>students of group E-418a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **INCONVENIENT FACTS ABOUT THE "GREEN" ENERGY**

1. The cost of energy transfer is much higher than other types of electricity.

A study by the International Energy Agency in 2014 shows that transmission costs for wind are about three times higher than the costs of transferring electricity from coal or nuclear energy.

2. When transmitting electricity over long distances, the costs of maintaining power lines increases.

If not properly maintained, fires are possible, especially in dry, windy areas. There are solutions to prevent fires, such as burying lines underground. Or use an insulated wire instead of a regular wire, etc.

3. Huge investment in charging stations required.

So that anyone besides the representatives of the most affluent strata of the population could use electric vehicles. The catch is that the bulk often does not have similar capabilities for charging electric vehicles. Low-cost fast-charging stations located everywhere will be needed if electric cars become the main choice.

#### 4. Discontinuity drives costs.

It is widely believed that small changes, such as time pricing, smart power systems and power outages for some pre-selected industrial consumers, can deal with interruptions if there is not enough electricity for everyone. Such an approach can theoretically take place if the system is based on energy from fossil fuels and atomic energy, to which a small percentage of renewable energy sources are connected.

5. The cost of utilization of wind turbines, solar panels and drives should be reflected in the cost estimate.

Very often, the energy costs of processing materials are higher than the energy used in their extraction in its original form. This problem must be taken into account when analyzing the real cost of renewable energy sources, so if they are processed, the cost of processing should be less than the cost of the materials obtained.

6. Renewable sources cannot directly replace many of the devices and processes that we have today.

This can lead to a significant decrease in economic efficiency and a longer transition to renewable sources. There is a long list of things that cannot be replaced by renewable energy sources. Today we cannot produce wind turbines, solar panels or build hydroelectric power without fossil fuels. This in itself makes it clear that the fossil fuel system will need to be maintained for at least the next twenty years.

#### 7. It is likely that switching to renewable energy will take 50 years or more.

The reason the transition will be very long is because in many cases there is not clear understanding of the path to switching from fossil fuels.

If changes are necessary, then to facilitate these changes:

1. prerequisites and arrangements are required.
2. then these solutions must be tested in real conditions.
3. next, new plants are needed to launch new devices.

4. it is likely that some way will be required to pay existing owners for the loss of value of their existing fossil fuel devices; otherwise, huge debt obligations will arise.

Only after all these steps have been completed can the transition really happen.

The question of whether wind and solar energy are justifiable requires careful analysis. A common feature of an energy product that has significant economic benefits is that its production tends to be very profitable. Subject to high

profitability, governments can tax producers. In this way, profits can be used to help the rest of the economy. This is one of the physical manifestations of “clean energy” that an energy product provides.

If the wind and solar energy did provide substantial clean energy, they would not need subsidies, not even first-time subsidies. They would drop profits to benefit the rest of the economy. Renewable energies may not be as useful as many people think.

УДК617.57-77

Iryna Demidenko <sup>1</sup>, Tatyana Suvorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## MEAN WORLD SYNDROM

Remember when you last viewed the news. Did you feel well after? Increasingly, a revised news release has nothing but pessimism, fear, and an inability to appreciate reality. You felt more frightened, angry, cynical and hopeless.

News coverage has evolved over the years to compete with entertainment ratings for television ratings. As a result, they tend to turn danger and offense into a sensation, triggering fear and negative emotions.

George Gerbner's work has shown that scenes of violence in news and entertainment convince viewers that the world is more dangerous than it really is. This influence of the media is called "Mean World Syndrome"

Gerbner's research has shown that growing up on content with scenes of violence and cruelty has three consequences, collectively known as the "Mean World Syndrome."

The Mean world syndrome is a cognitive bias when people perceive the world as more dangerous than it actually is because of the long-term, moderate, or severe impact of violence-related content in the media, namely television.

Programming heightens people's frights, fears, and paranoia.

And those who are convinced that the outside world is an extremely dangerous and unpredictable place, feel not only a heightened sense of insecurity. Gerbner found that they were more likely to see violence as a solution to problems, rather than as a cause and effect of legitimate action. Fear also causes them to accept rigid political and social attitudes.

When Gerbner testified before a congressional subcommittee in 1981, he said, "And gullible people are more dependent, easier to manipulate and control, more susceptible to deceptive and cruel measures."

The sheer amount of violence on television can normalize aggressive behavior and make viewers devoid of sensitivity. The mind, as Gerbner says, becomes "militarized." The more dangerous the media shows our world, the more we believe in them. We are beginning to fear and worry, more dependent on the government, and take other precautions, such as moving to closed communities and supporting the death penalty. Gerbner writes: "Growing up in a culture full of violence gives rise to aggression in some and desensitization, lack of security, distrust and anger in the majority. The punitive and vengeful actions against the dark forces in the evil world look attractive, especially when presented as a quick way to solve a problem and reinforce our sense of control and security. "

Earlier, when Gerbner did much of his analysis, the media was a less quiet place. We now have 24/7 access to TV channels, movies and online content. At present, 34% of news in regional media in Ukraine is about crimes. At the same time, the Ukrainian Broadcasting Law states that the use of broadcasting for any of the following purposes should be prohibited: to portray any violence without cause, broadcast programs or snippets that may impair the physical or mental, moral development of children and adolescents.

How not to become a victim of the Mean World Syndrome:

1. Get your news from sources that meet the highest standards of journalism.
2. Consider expanding your information field by getting news from verified sources.
3. Make media literacy a priority.
4. Balance your information with some inspirational sources.
5. Prefer news and magazines that highlight people who are working for positive change.
6. Try to spend one day a week without media and electronic devices.
7. Pay more attention to live communication.

УДК 617.57.77

Danylo Kushnirenko<sup>1</sup>, Valentyna Kuzmenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-139 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>senior teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **HISTORY OF SOFTWARE ENGINEERING**

The first application of the term "software engineering" dates from August 1966, but the year of the emergence of software engineering (IPZ) as an industry is 1968, in which the first conference in Germany was called "Software engineering". The main topic of the conference was software design, production and maintenance. One of the keynote speakers at the conference, P. Naur, noted that



the work of software designers is similar to that of architects and civil engineers, especially those involved in the design of large heterogeneous structures such as cities and industrial enterprises. The term "software engineering" was deliberately chosen as provocative: "this term meant that software production should be based on the same type of theoretical foundations and practical applications as in traditional engineering fields." The origin of software engineering was associated with the software crisis - a term suggested by Program Committee Chairman FL Bauer. In his opinion, the crisis was the impossibility of applying "handicraft" (semi-intuitive) methods of development for the production of large scalable software systems. Existing software is developed by amateurs (no matter where - at universities, companies or in production) through the skill of singles (at universities) or the large number of workers ("one million monkeys") in production, is unreliable and needs constant "maintenance" (and the word "maintenance" is misused to refer to battles and failures that are expected from the manufacturer at the outset), is sloppy, transparent and imperfect (or at least too costly in to do this). And finally, there is the software arrives too late and costs more than expected, and does not live up to the expectations it relied on. As a result of the conference in 1971, FL Bauer gave a half-joking definition of IPE as a piece of computer science that is too heavy for computer scientists, and more serious as the creation and use of sound engineering principles to obtain economical, reliable and efficient work on real computers software.

According to such conference participants, A.J. Perlis and FL Bauer, mathematical preparation is not necessary for the design of software, but its presence adds to the software project elegance, since software systems are mathematical in nature and must be built in levels and modules that form a mathematical structure.

The general design criteria (common to different systems), user requirements, reliability, and logical completeness were chosen as the main design criteria. Design technologies discussed the sequence of design steps, the design of a software project, the provision of feedback through monitoring and modeling, the use of high-level programming languages, and more.

In December 1969, a third symposium on IPE was held in the United States, the first volume of materials being opened by a programmatic report by YT Tu "A New Profession: Software Engineering". Describing the role of engineering in the development of mankind, the author indicates that it has largely freed man from physical labor and routine mental activities, providing tools for both new scientific discoveries and new kinds of creativity. The rapid development of engineering, the emergence of new industries changed the content of engineering education - from utilitarian to scientific and theoretical. Just as the invention of the steam engine in the late eighteenth century made it possible to replace the muscular power of humans and animals with the driving force of machines, the invention of the digital

computer after World War II made it possible to replace many human mental tasks, such as arithmetic, data storage and accounting, computing operations.

We are now moving to a stage where it is advisable to replace some of the higher human mental tasks with machines. This includes the ability to recognize patterns, read images, process data in natural language, retrieve information, and make smart decisions. To do this, the author proposes to use the principles of IPE. According to YT Tu, IPE should cover computer architecture, system and application programming. With regard to IPE, the author emphasizes that in order to make significant progress in software development, we must have a much stronger scientific foundation.

УДК 617.57.77

Danylo Ermakov<sup>1</sup>, Valentyna Kuzmenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-129 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **WEB DESIGN IN PROGRESS**

A web designer is an IT professional who is responsible for designing the layout, visual appearance and the usability of a website. A web designer's main job is to design web pages. There is a lot to consider in the design of websites which may not be immediately apparent when looking at a webpage for the first time.

The dark ages of web design (1989).The very beginning of web design was pretty dark, as screens were literally black and only few monochrome pixels lived therein. Design was made by symbols and tabulation (Tab key).

Tables. The beginning (1995).The birth of browsers that could display images was the first step into web design as we know it. The closest option available to structure information was the concept of tables already existing in HTML. So putting tables within tables, figuring out clever ways to mix static cells with fluid cells was the thing, started by David's Siegel's book Creating Killer Sites. The main benefit was that it was the closest to a grid we could get back then. It was also the time when so many developers decided not to like front-end coding.

JavaScript comes to the rescue (1995).JavaScript was the answer to the limitations of HTML. For instance, need a popup window, want to dynamically modify the order of something? The answer was JavaScript. Very often it is used as an easy patch for a lazy developer, yet it is very powerful if used wisely. Nowadays we prefer to avoid JavaScript if the same feature can be delivered using CSS. Yet JavaScript itself stays strong as in front-end (jQuery) as on the back-end (Node.js).

The golden era of freedom – Flash (1996). To break the limitations of existing web design, a technology was born that promised a freedom never seen before. The designer could design any shapes, layouts, animations, interactions, use any font and all this in one tool – Flash. The end-result is packed as one file and then sent to the browser to be displayed. Unfortunately, it wasn't too open or search-friendly and certainly consumed a lot of processing power. When Apple decided to abandon it on their first iPhone (2007), Flash started to decay. at least for web design.

CSS (1998). Around the same time as Flash, a better approach to structuring design from a technical standpoint was born – Cascading Style Sheets (CSS). The basic concept here is to separate content from the presentation. So, the look and formatting are defined in CSS, but the content– in HTML. The first versions of CSS were far from flexible, but the biggest problem was the adoption rate by browsers. To be clear, CSS isn't a coding language, it is rather a declarative language. Should web designers learn how to code? Maybe. Should they understand how CSS works? Absolutely!

Mobile uprising – Grids and frameworks (2007). Browsing the web on mobile phones was a whole challenge in itself. Besides all the different layouts for devices, it introduced content-parity problems – should the design be the same on the tiny screen or should it be stripped down. The first step to improvement was an idea of column grids. After a few iterations, the 960 grid system won, and the 12-column division became something designers were using every day. The next step was standardizing the commonly used elements like forms, navigation, buttons, and to pack them in an easy, reusable way. Basically, making a library of visual elements that contains all the code in it. The winners here are Bootstrap and Foundation, which is also related to the fact that line between a website and an app is fading.

Responsive web design (2010). A brilliant guy named Ethan Marcotte decided to challenge the existing approach by proposing to use the same content, but different layouts for the design, and coined the term Responsive web design. Technically we still use HTML and CSS, so it is rather a conceptual advancement. The main benefit here is the content parity, meaning that it's the same website that works everywhere.

The times of the flat (2010). Designing more layouts takes more time, so luckily we decided to streamline the process by ditching fancy shadow effects and getting back to the roots of design by prioritizing the content.

The bright future (2014). The holy grail of web design has been to actually make it visual and bring it into the browser. Imagine that designers simply move things around the screen and a clean code comes out! And I don't mean changing the order of things, but having full flexibility and control! Imagine that developers

don't have to worry about browser compatibility and can focus on actual problem solving!

Technically there are a few new concepts that support the move into that direction. New units in CSS like `vh`, `vw` (viewport height and width) allow much greater flexibility to position elements. Flexbox is another cool concept which is a part of CSS. It allows to create layouts and modify them with a single property instead of writing lot of code. And finally web components is an even bigger take. It is a set of elements bundled together, i.e. a gallery, signup form etc. That introduces an easier workflow, where elements become building blocks that can be updated and reused separately.

УДК 617.57.77

Yaroslav Shevchenko<sup>1</sup>, Valentyna Kuzmenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-119 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## IMPROVEMENT OF VIDEO EDITING PROCEDURE

The first step in improving your video editing process is to choose the right software for you and your work. They normally offer everything you need to perform standard video edits, but you may prefer one over others for their usability, digital interface, and features. The key here is to choose what *works* for you and your editing style instead of just the latest, most advanced video editing program out there.

Top favorites include After Effects, Premiere Pro, Avid Media Composer, Final Cut Pro, and DaVinci Resolve, which offers a free and comprehensive Lite version. You may also want to try Lightworks, Autodesk Smoke, and Sony Vegas, if you're looking to try other less-popular yet highly capable alternatives. Use a Fast Computer. You can choose whatever computer brand or model you want, as long as it's fast enough for you to store huge files and allows you to focus more on your editing work without having to worry about slow rendering. One of the most important takeaways from this article is to remember your creative goal: **to tell a great story**. Go beyond the basics—cutting away extraneous footage and correcting the order of your clips—and take the opportunity to make your film aesthetically-pleasing and dramatically compelling so as to evoke the right emotions and effectively impart your intended message. Use your practical and technical knowledge in achieving this instead of just adding a bunch of effects to impress your viewers. You can simply follow the storyboard used during filming, but there may be times when the director—or you, if you have the liberty to call the shots—will decide to make on-the-spot changes to the predetermined flow,

scene transitions, effects, and other editing elements for the sake of improving the story. Even with a super-fast computer system and editing software, you'll also need to be systematic and organized in order to become a more efficient editor. One way to improve your workflow is to **organize your projects and files in folders** that you can use again and again. Create homes for your projects, footage, audio files, images, and graphics, in which you can also create more subsections and folders. Another way that you can work faster is to **use external hard drives** for storing your footage, so you can free up more computer memory. We recommend that you choose hard drives that can be connected via USB 3.0 or Thunderbolt to enable faster file transfers.

Depending on your film type, you may have to include more text aside from the title, opening/closing billboards (for broadcasting), and film credits. You'll usually want to keep it simple, with a clean and white sans-serif font that doesn't grab too much attention. Have them dissolve in and out, and see how it works for your film. But if you need to add flashy graphics, you can create them using your editing software. Adobe After Effects is a popular choice for creating some of the best motion graphics. If you've yet to learn how to make your own by hand, you can always get impressive ready-made After Effects templates from RocketStock. One of the best things you can do to turn out a clear and consistent edit is to set a goal for the project. You should know what you're trying to achieve through the video you're creating. Before starting a project, determine who your audience is and what the narrative for the video will be. You can use this as the basis for every edit decision you make throughout the project. If the editorial choice helps to communicate the message of the piece and moves the audience towards the goal, then it's the right choice. If the edit doesn't contribute to overall goal of the video, then you shouldn't execute it. As previously mentioned, you can help yourself to maintain consistency by planning ahead for the edit and setting a goal. That said, there are also more pragmatic ways to stay on track as well. Music plays a large role in many productions. By choosing the music you will use at the start of a project, you give yourself a foundation that you can cut to and keep pace with throughout the edit. Likewise, you can use techniques, such as color grading, at the end of a project to unify the look and feel of the edit. In addition to poor-quality audio, having shaky footage can be a death sentence for your project. The good news is, there are great plug-ins and tools that will help you stabilize your footage that are out there, and even built-in to your editing software. Become very well-acquainted with them, because this can be a game-changer. Warp Stabilizer in Adobe Premiere/After Effects and SmoothCam in Final Cut X are the big ones, but there's a powerful third-party plugin called ReelSteady that works really well in After Effects, from my experience. You can find apps that stabilize your phone video, as well, such as the well-reviewed Emulsio. When exporting for the web,

the goal is to create a file that maintains its high quality without making it too heavy for upload and online viewing.

УДК 331.53

Aleksandr Dukov<sup>1</sup>, Svitlana Voitenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-819m National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>senior teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **THE SPECIFICITY OF SYSTEM ANALYSIS AS A METHOD OF POLITICAL SCIENCE**

The article analyzes the essence of system analysis and clarifies its relation as a method of political science with a systematic approach, general systems theory, synergetics and systems engineering.

At present, systematic analysis is actively used not only in the natural sciences, but also in the humanities and social sciences. It is even considered one of the most promising methods of political science. It deserves such attention, among other things, by making it possible to use the theoretical and methodological achievements of other fields of knowledge to solve political problems more effectively and efficiently.

At the same time, the rapid evolution of systemic ideas about the world led to several directions of their development. In addition to systems analysis, these include, in particular, such as "systems approach", "general systems theory", "synergetics", "systems engineering".

The broadest of the above categories is the "systems approach". It involves the separation of an object of interest to the researcher from the external environment by defining the boundaries and analyzing the object as a system.

In contrast, system analysis is an independent scientific method with its principles and algorithm of application, which requires a clear stage of research and use of a certain set of technologies.

System analysis as a method of science is based on a number of principles. First of all, the system is considered as a whole, not as a simple set of elements. However, the properties of the system as a whole are not the sum of the properties of the individual elements, since they can acquire qualitatively new properties, while the properties of the elements inherent in them in the state of "independence" may be lost.

The development of system analysis as a method of solving complex multidimensional problems has led to the emergence of different approaches to determining the stages of its implementation. It is most advisable to distinguish the main stages of system analysis, grouping them into three categories - preparatory,

basic and final. This allows for a better structuring of the researcher's actions by devoting time to preparation that will help formulate the problem, identify the main goal, and choose the best way to perform the system analysis.

System analysis is the basis for a large number of concepts for the existence and functioning of systems, from which the general laws inherent in any system. The totality of these concepts forms a separate interdisciplinary area of research - the general theory of systems. This theory, by its very nature, is a summary of the results of a systematic analysis of a particular phenomenon or a process for the continued use of isolated patterns to study such systems.

The term "synergetics" was introduced into scientific circulation by the German physicist G. Hacken. The essence of synergetics is to study the connections between the elements formed in open systems due to the intensive exchange of energy, information and matter with the environment under non-equilibrium conditions.

A key concept of synergetics is the concept of a "dissipative" (open) system, that is, a system that constantly exchanges substance, information, or energy with the environment. The life cycle of such systems can be explained on the basis of two categories - "order" and "chaos".

Another important concept in synergetics is the "point of bifurcation" - the ramification of options for further development of the system and the need to choose one or another option. Due to the constant and dynamic interaction of the system with the environment, fluctuations occur in it - random deviations of values from the averages (from equilibrium). Over time, fluctuations can intensify and reach a critical level, pushing the system to the point of bifurcation. Another is close to the listed categories that characterize the study of certain phenomena and processes as a system - "systems engineering". The term began to be used as early as the 1940s to refer to practical activities that aim to actually develop and manage systems.

System engineering, unlike other approaches and methods analyzed in the article, involves not just studying a particular phenomenon or process as a system, but direct practical steps to create, improve or eliminate the system.

To sum up, it should be noted that of the above concepts, the broadest approach is a systematic approach that involves considering a particular phenomenon or process as a system without necessarily searching for universal laws or following a clear algorithm of action. General Systems Theory is a science that studies different systems (natural, technical, social) and searches for common patterns of their development. It is the result of systemic perceptions of the world and is a system analysis that has already been completed and completed.

## **BOOSTING CONFIDENCE AS A BUSINESS ANALYST**

Many business analysts (Bas) who are beginners or experienced but new to an organization are not provided with the tools and resources to be confident in their ability to add value to their organization. Below are some of the most effective tactics that I have taken throughout my career to bolster my confidence as a BA.

Business analysts are expected to see things that other stakeholders are not able to see. While BAs are not expected to be subject matter experts, acquiring an adequate amount of domain and industry knowledge will be of great service to any BA. Understanding the organization has two components, which are understanding the industry structure and the actual organizational structure. Gaining a better understanding of the industry and organizational structure can be initiated by learning key terms. Observation is not only helpful for understanding systems, processes and functions, but it is also a great way to build relationships. Reviewing the organization's business model canvas is also highly effective at providing organizational context.

Having a concrete understanding of the BA role in your current organization is critical. The role of a BA varies greatly by the organization. This includes acquiring a detailed understanding of the roles and responsibilities of the BA. A key part of BA responsibilities are the deliverables provided for projects and change initiatives. Reviewing any Org charts that are available may be a good way to understand the leadership structure as well as the formal relationships of individuals in the company. If you have access to previous project documentation, review the stakeholder lists or maps that were developed.

Building relationships can be critical to the effectiveness of a BA. Most stakeholders are more willing to work with and provide information to individuals they have a relationship and are comfortable with. This can give insight to what motivation behind stakeholder wants and needs and lead to asking more relevant questions during structured meetings. In addition, it's very likely that during a job shadowing session that the individual will reveal some details about their personal life that may help you form a good relationship with them. Interviewing is not only a way to elicit requirements, but it is also another way to build rapport. In general, collaborative elicitation techniques such as interviewing and job shadowing can facilitate good relationship and alliances that can support the BA in areas of weakness.



Establishing a relationship with a good mentor is one of the most effective ways to increase your confidence and increase your success as a BA. In many cases, BAs are hesitant to ask too many questions because they are fearful that they will be perceived as inexperienced or incompetent by peers and others. This is very common, especially for novice BAs or those who are starting work in a new domain. An established mentor from outside of the organization can be the solution. Unfortunately, many organizations do not have structure training environments for BAs.

Independent and continuous learning is essential to gaining confidence in your ability. There are numerous resources to learn more about business analysis. These resources are highly effective at gaining new knowledge in a relatively short period of time versus the time it would take to gain that knowledge through experience. Learning new business analysis techniques and researching BA deliverable templates can increase your confidence, not only in your ability to effectively execute a technique but also in the fact that you are using the most *effective* business analysis technique as you will have more tool options to choose from during analysis.

Gaining confidence in your abilities as a BA can be challenging in environments that are not the most supportive or nurturing. Increasing your confidence can be achieved by learning about your organizations. You'll need to understand the organization's expectations of you as a BA. Building relationships in your organization is also key to building a support system. Getting a mentor is needed to establish a safe and effective support system outside of the organization. And finally, independent and continuous learning will naturally increase your - confidence and capabilities.

УДК 004.056.53

Anita Zaytseva<sup>1</sup>, Valentyna Kuzmenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group RT-819 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>senior teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## INFORMATION SECURITY

Information is any data that is perceived by living organisms, electronic devices and other systems, about the outside world, processes, objects and phenomena.

Information security is the state of security of the information needs of individuals, society and the state, regardless of internal and external dangers.

Information protection is a certain system of measures directed to prevent illegal access to information, its modification, loss, destruction and so on.

The purpose of information security is to provide secret information support for the activities of the state, industry, enterprise and individual.

Security of information is the preservation of confidentiality, integrity, availability and reliability of information - the main properties of information.

There are information systems. They can be divided into three parts: software; hardware; communications.

Information security varies by application:

Information security of the individual is characterized by the protection of the individual, social groups or associations from impacts that are directed against them.

Information security of the organization ensures its normal functioning and dynamic development. It is often implemented by the Information Security Service.

Information security of a state is the protection of important interests of an individual, society and the state, under which harm is prevented through various factors.

The principles of ensuring information security contain: the law; systemicity; economic efficiency; the balance between the interests of the individual, society and the state.

It is impossible to create a system whose protection cannot be hacked. The basic principle can be the creation of such a protection mechanism, the cost of hacking which will be more expensive than the information that can be obtained. Therefore introduction of the software of safety which are built in structure of the software of system and are necessary for performance of functions of protection is necessary.

Thanks to human development and technology, information security has been modified. Nowadays, such security is called Cyber Security. In addition to protecting processes, information and activities in cyberspace, Cyber Security also protects against viruses, hacker attacks and data tampering.

Nowadays, Cyber Security is responsible for three factors: systems; processes; people.

The notion of information security does not correspond to the wide range of issues that arise in cyberspace today. But evolution has made it part of Cyber Security.

Cyber security is the processes and methods used to protect sensitive data, computer systems, networks and software applications from cyberattacks.

Types of dangers and attacks:

1. viruses and extortionists;
2. botnet attacks: spamming, confidential data theft, distributed denial of service attacks;
3. social engineering attacks;

4. cryptographic theft;

5. phishing - a fraudulent spamming activity that imitates messages from any legitimate source.

Cyber security in general is a very broad term, but it is based on three fundamental concepts known as "CIA" (confidentiality, integrity and accessibility).

This model is designed to guide the organization's cybersecurity policies in the area of information security.

Confidentiality takes measures to restrict access to confidential information to cyber attackers and hackers.

Integrity means that data must not be altered, deleted or illegally accessed, in a word compromised.

Accessibility will ensure uninterrupted operation and access to data without any disruption. It also ensures constant communication between components, ensuring sufficient bandwidth.

Within an organization, for an effective cybersecurity approach to be implemented, people, processes, computers, networks and technologies, large or small, must be held equally accountable.

If all components complement each other, then it is very possible to withstand severe cyber threats and attacks.

УДК 331.53

Alexandr Slastnikov<sup>1</sup>, Svitlana Voitenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST–817 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## THE EMERGENCE OF NEW ENGLISH WORDS AND EXPRESSIONS ON YOU TUBE AND TWITTER

At the end of 2019, YouTube and Twitter became very popular among Internet users. About 500 million tweets are published on Twitter daily and approximately 5 billion videos are watched on YouTube. Social networks have changed not only the Internet, but our whole life. Every day, users come across new words and try to figure out what a word means. A lot of these words are also available in the specialty language "System Analysis" The most commonly used expressions are: **ASMR, Unboxing, Vlogmas, Wadsworth Constant, Twitterstorm.**, etc.

For example, **ASMR** - Autonomous Sensory Meridian Response. This pleasant tingling occurs in our head and spreads over the spine, arms, and legs in response to stimulation, often auditory. In addition to music, different people have different audio stimuli that trigger ASMR. The most common ones are whispers,

white noise, combing or hair cutting, creaking pen or paper pen, chewing, tapping, scratching, and the sound of crumpled paper. ASMR videos on YouTube are huge. Vloggers who create ASMR content call themselves the term ASMRtist, created by ASMR+artist. **Vlogmas** are Christmas videos where vloggers talk about preparation, celebration, greetings and gifts. Or a series of commercials that run from early December until Christmas. A mix of the words Vlog and Christmas. I also attach a channel to a girl who loves to decorate and buy gifts for Christmas. **Wadsworth Constant** is one of the unofficial but well-known YouTube rules. It's the idea that by skipping the first third of any YouTube video, you won't miss anything important. And most often it is. The next one is **Twitterstorm** a sudden heated discussion of the topic, most often in a negative way regarding brands, politicians and celebrities. Twitter storms start when one user writes an angry tweet about a controversial post from a known person or company. Other users are equally angry, retweeting and quoting.

New words and expressions most often are acronyms, slang expressions, phrase verbs. Slang means a set of words or new meanings of existing words used in various groups of people. At first glance, it is quite possible to do without slang words and expressions. And this is true, but only partially. For exams in English and business communication at work, you will probably have enough classical English. Although it all depends on the format of communication adopted by the company. Now more and more companies are switching to an informal style of communication, and here they may already need some slang.

In spoken English, it is almost impossible to do without slang. So if you want to get closer to the speaker level in spoken English, remember these popular words and phrases in British slang faster! For a better understanding of the phrase, it is highlighted some commonly used slangs, such as: **ACE** – cool, incredible, idyllic, used when word for word, the words below indicate the result; **Blimey** means extremely pleasant surprise or shock; **Chuffed** means proud; **Gobsmacked** - this purely British expression means being shocked and surprised to the limit. Some believe that the phrase comes from "gob" and "shock" when someone hits it: **Kerfuffle** - conflict, scandal, dispute; **Pork pies** - lies, lies, a typical phrase for the rhyming slang of the Cockney language, which originated in Old East London amongst traders, to communicate in a disguised manner.”

Acronym is a type of abbreviation. Acronyms are formed by the initial sounds. In fact, the acronym is a word that is an abbreviation that can be pronounced together. Almost every day we use acronyms in business correspondence and messaging when communicating in English. There are the selection of the 7 most popular acronyms that you often find in emails from colleagues and partners. They are: **FYI** (for your information), **OOO** (out of office), **EOD**(end of day), **NRN**(no reply necessary), **YTD**(year to date), **Ms.**, **FWD**(forward).

Some additional information about these acronyms: **OOO** is most commonly used in auto-reply emails when an employee is on vacation or sick. Use it to let colleagues know that you shouldn't expect a quick answer. **NRN** is used when the purpose of your letter is to convey information and you do not expect answers. It is ideal for ridding yourself and colleagues of “OK” or “Thanks” answers. **YTD** is used to indicate the results of the work from the beginning of this year. **Ms.** is used in addressing women before last name instead of Mrs. (Miss) or Miss (Miss). If Mrs. means that the woman is married and Miss is not, then Ms. is a neutral appeal in this sense. Ms. pronounced the same as Miss. The use of this acronym is becoming more commonplace and is displacing Mrs. and Miss, because in professional communication, our personal life is irrelevant.

УДК 331.53

Pavlo Tarasov <sup>1</sup>, Svitlana Voitenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-817 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>senior teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **BACHELOR CONTRIBUTION TO THE CREATION PROJECTS AND DEVELOPMENT**

A true business analyst has certain features which make their analysis excellent. They must be able to draw relevant from irrelevant information and think critically with a perfect analytical approach. It is important that they be able to use minimal resources but obtain maximum and most efficient solutions. They should also be intelligently curious and inspired. It is important to understand the definition of the term business analyst so that we are aware of their influence in business.

A kick-ass business analyst must be, first and foremost, a critical thinker, must abide by logic and be driven by facts. Secondly, they must be able to put in place efficient communication between departments and people involved in the business. Lack of this skill may cause business failure led by poor business analysis. Concern makes an analyst find the roots of a certain problem and discover their possible solutions.

A good business analyst must be an expert in what they are dealing with. They must be fully aware of what their roles in business are and what is expected of them. Some of the things an analyst is supposed to be aware of include business domain, business analysis practice, project management practice, and change management practice. Relationship is very influential when it comes to business analysis. A business analyst must major in making friends rather than foes. They should have the ability to turn potential business foes into allies because they act

on behalf of the business. In other terms, their performance should go above and beyond their expected range.

In the world today, there is quite a wide range of job market for business analysts in modern organizations. For products to be unique, organizations have to come up with structured complex layouts and try to bring about a complex IT landscape. The given complexities have to be solved in two given levels, business analyst and technical business analyst. A business analyst comprehends business alteration need, examines the effect of those alterations, inspect and record the necessities and facilitating the arrival of the necessities with appropriate stakeholders. On the other hand technical business analysts document the redesign of computer systems applications and puts in place procedures so that informed analysis can be provided on business systems and applications. The two levels are used distinctively depending on the kind of task that arises at a given time.

Formally the technical business analyst was found in the Information Technology department. They are known business knowledge and system analysis expertise. However they apply technical knowledge to come up with business solutions. They focus mainly on looking for opportunities in businesses processes. That can be made possible when they use technology to identify the problems faced by enterprise and come up with efficient technological solutions to aid these problems.

The function of a technical business analyst is to bridge between business and technical teams. First, the bridging can be done by translating business requirements into technical artifacts. The analyst must be able to assess the business and note the basic requirements of that particular business at that given time and translate the given come up requirements into technological terms. The requirements must, therefore, be taken care of technologically for efficiency and accuracy.

Mostly, the technical teams are not aware of the business language and how to tackle business issues. The technical business analyst must be able to communicate business issues to the technical teams. They must come up with a systematic way that will help the technical teams to understand whatever they are dealing with in any case. At the same time, he or she has to come up with solutions to business problems and communicate with teams on how to implement them. The analyst must at the same time be capable of conducting a system impact analysis. The analyst must be capable to conduct an impact analysis before any solution is implemented so as to avoid unnecessary and unexpected abnormalities.

A technical system analysis must have certain skills to be termed so. The first skill is that they must be able to conduct a system analysis. A technical business analyst should be able to analyze system and enterprise architecture. They must be able to interpret the information on the model and have the knowledge to come up

with an improved model whenever a requirement arises. It, however, is not necessary for them to be able to design the models themselves.

Data analysis is a process inclusive of data examination, purification, transformation and styling with an objective of locating important information, informing conclusions and reinforcing decision making. It is a must for a technical business analyst to be able to conduct data analysis. They must be able to look at data obtained through the various data collection methods and tell facts from beliefs. Incorrect data the analyst must be able to correct.

УДК 004.7

Oleksii Pestov<sup>1</sup>, Olga Adamenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-519 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **WINDOWS: THE BIRTH, THE RISE, THE FALL**

Nowadays most people are sure about the existence of the two “titans” of the operating system world: Windows and MacOS. Though Windows has its downsides, the popularity of this commercial giant is simply tremendous.

The firstborn of Microsoft is not Windows, but MS-DOS: a command line operated OS, a common thing in the 1980s. Windows itself is at first mentioned as a graphical interface for MS-DOS. Considering that it was something new, Windows was met with critique.

Time flew, and in 1990 Windows 3.0 came out. The graphical interface allowed to work with data through obvious actions with the graphical representation of it. Moreover, the work with different peripherals in Windows was better organized. Additionally, the users gained an ability to work with several programs at a time and got used to it, establishing the popularity of the system.

Meanwhile, a completely separate OS was being developed – Windows NT (New Technologies). Its main task was to provide a high level of reliability and effective networking. Thus, Windows budded off MS-DOS and began its own life.

By 1995 more and more common people had started to be in touch with technology. Having that in mind, Microsoft released their next creation – Windows 95. The first steps into the Internet era were made. Moreover, the interface was more user-friendly. Looking for it to be as intuitive, as possible, Microsoft created what we would call a typical Windows UI: a desktop with icons, a sidebar with running apps and the famous “Start” button. This was used as a “mold” for many future versions of Windows and even other operating systems.

In the year 2000 two new systems came out almost simultaneously: Windows 2000 and Windows Me (Millennium Edition). Windows 2000 was based on NT, and thus had a great security and performance. On the other hand, Windows Me was like an expanded version of Windows 98 with an improved multimedia support. Though it might seem not so bad on paper, Me was a complete disaster due to constant errors, crashes and overall instability.

As a result, a year later Windows XP appeared on the horizon. Based on the NT's core, it had an incredible stability and efficiency in comparison to all previous versions. Surprisingly, Windows XP became so successful, that even in the end of 2008 it was still occupying almost 70% of the OS market.

In 2007 Windows Vista came out. Based on a high-performance core, it was too demanding in terms of system resources. The driver incompatibility and high system requirements couldn't be accepted by consumers.

In 2009 Microsoft released Windows 7. The UI completely resembled Vista's, but Microsoft fixed all the sins of Vista and called it Windows 7. This way people got a highly optimized, fast and reliable system. By 2012 Windows 7 had become the most popular OS in the world. Windows 7 took up what XP had been for all these long years – the main operating system, that “just works”, doesn't freeze and has little to no driver issues.

Losing the race in the mobile market, Microsoft craved for a new product to unite all kinds of devices within the same interface. The solution seemed to be on the surface: the new so called “Metro UI” was at first implemented in Windows 8. For the first time Microsoft decided to completely change the interface. The users were greeted with the new “tiles” instead of the usual Desktop. The “Start” button shockingly disappeared. As a result, the rates of this operating system on the OS market didn't manage to climb much higher than 20%.

In 2015 Windows 10 was released. The “Start” menu came back and resembled Windows 7's in a more modern way. Microsoft Edge was implemented instead of Internet Explorer. It's quicker and more comfortable, but the majority still prefers Google Chrome or Mozilla Firefox.

We can't speak about Windows 10 and not mention the telemetry. By clicking “I agree” on the license agreement, the user essentially allows Microsoft to spy on them. Data gathering not only invades the user's private space, but loads the CPU as well. It has come to the point, where some users prefer to pirate the OS only to get rid of the telemetry.

For the entirety of its history Microsoft has been trying to make their creation more user-friendly. It's not a wrong commercial move – Windows 10 holds more than 50% of the OS market consistently. But the user data gathering hinders their reputation. So, either Microsoft will change and remain on their throne, or we'll witness another story like this with a different main character.



## THE FUTURE OF VIRTUAL REALITY

When we think about a new reality constructed in the future, VR plays a great role in stimulating these emulations to create an experience similar to our reality at hand or one completely different than the world we see on a daily basis.

That the potential is now increasingly clear is what makes VR so exciting. These technologies, although clunky, are at a similar stage to the cinema in the early twentieth century, or TV in the 1930s: it's a new type of media – even a new way of seeing the world.

At the same time, VR needs to get past these 'fun' visions to become a ubiquitous technology. Over time, virtual rollercoaster rides and space missions will not be enough to sustain VR, even if they do provide a gripping source for journalists' writing about such a dry subject as technology. VR headsets will be mostly an enterprise play for the next few years, and will remain bulky and unattractive to most consumers.

To make the leap from gimmick to transformative mainstream technology, VR may need to be a little less exciting and a bit more useful.

One increasingly potential area for VR is training. By using headsets, companies can standardize training, and make it easier for their staff to learn in-house, cutting costs for travelling, trainers and lost productivity. In 2018 Walmart said they were using more than 17,000 Oculus Go headsets in stores to train staff on a new technology and customer service. Besides they were using VR to test whether their workers had middle-management skills. The company explained that because VR made training more like an experience it improved retention of new knowledge - their test scores increased up to 15%.

Another example is a research project at Imperial College Healthcare Trust in London. During the research they were using Microsoft's mixed-reality headset to plan plastic surgery, identifying which tissue and veins can be used in reconstructive operations. Indeed, healthcare is becoming a rich area for VR experimentation, with everything from VR projects to tackling social anxiety to AR for training doctors.

While the technology is vastly superior to that 20 years ago, there are still significant limitations. VR headsets are still too heavy (many come with weighty backpacks), which makes them hard to use over long periods, and too expensive

and too complicated for a casual user. Even worse, to get the best graphics you're still required to be tethered to a PC.

We are witnessing a curious tendency: the world of UI is moving towards getting rid of accessories that stand between the user and content –a mouse and keyboard. The gestures on a tablet are one step forward in this direction. Now users can interact seamlessly with 2D interfaces on the screen, simply using their fingers.

Virtual reality has come a long way in a short time, and it's still advancing at a rapid rate. It shows a lot of promise for the future as it gives an immersive experience for a user. Thus businesses may leverage this key feature and take a step further in their product and services advancement.

УДК 004.7

Maksym Sloniev<sup>1</sup>, Olga Adamenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-519 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## CYBERSECURITY ISSUES

Why is cyber security important all of a sudden? Not that long ago, it was primarily something for only the techies to worry about. Corporate leaders widely viewed it as the responsibility of their IT department. Many thought that so long as the right firewalls, antivirus packages and encryption tools were in place, they could leave IT security to the experts and focus on the other myriad elements of running a business.

Presumably, you're now very much aware that cyber security is something nobody can afford to ignore. The rise in the widespread use of technology brought with it a rise in cybercrime. For hackers, the possibilities increased exponentially, along with the potential rewards. The fact that cybercrime now permeates every facet of society shows why cyber security is crucially important.

There have been so many hacks and data breaches in recent years that it's easy to produce a laundry list of household name brands and organizations that have been affected:

1. **Facebook**, the social media giant had over 540 million user records exposed on Amazon's cloud computing service.

2. **First American Corporation**, had 885 million records exposed in a data breach that included bank account info, social security numbers, wire transactions, and mortgage paperwork.

3. **Equifax**, the global credit ratings agency who experienced a data breach that affected a staggering 147 million customers. The costs of recovering from the hack were recently estimated at \$439 million.

4. **The UK National Health Service (NHS)**, which was temporarily brought to its knees with a relatively rudimentary ransomware attack, resulting in cancelled operations and considerable clean-up costs. This specific attack became particularly embarrassing for the UK government, when it emerged that “basic IT security” could have prevented it.

While these are just a few examples of the many headline-grabbing hacks of recent years, it’s important to remember that there are plenty more that don’t make the front page but still harm or destroy companies of all sizes. In fact, one particularly chilling statistic is that there are now over 4000 hacks every single day using ransomware alone. It’s extremely misguided for anyone to think their company couldn’t be affected.

It’s incredibly easy to find cybercrime statistics to shock and surprise people and prove strong reasons for cyber security. It’s estimated that the global cost of cybercrime for 2017 added up to around \$600 billion. Or, perhaps you could keep yourself awake by considering the average cost of recovering from a cyber-attack, which is estimated at \$5 million. If you run a smaller business, this might seem like an enormous figure, but these things are proportional. Plenty of small businesses could be wiped out by a bill of \$50,000.

So, with all this in mind, “why is cyber security important?” should now be a question with a clear answer. What can you do to fight against the growing threat? Here are some suggestions: keep informed, move beyond antivirus, get insured, take your flow of data seriously, think about backup and recovery.

УДК 811.111’25:004

Герасін Ю.В.<sup>1</sup>, Адаменко О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. КНТ-519 НУ “Запорізька політехніка”

<sup>2</sup> канд. філол. наук, доц. НУ “Запорізька політехніка”

## СТРУКТУРНО-ГРАМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НЕОЛОГІЗМІВ СФЕРИ ІТ

Активні зміни, що відбуваються в різних сферах життя людини знаходять своє відображення в мові. Не є винятком і сфера ІТ, що в ХХІ столітті є однією із найбільш продуктивних в плані створення інновацій в мові, адже інформаційні технології є одним з напрямків розвитку науки виробництва та життя людей. Усе це актуалізує дослідницький інтерес до цієї сфери життя фахівців різних галузей знань, у тому числі і філологів.

Предметом цієї наукової розвідки виступають мовні інновації, що пов'язані з сферою інформаційних технологій.

Дослідженням мовних інновацій займаються вітчизняні та зарубіжні лінгвісти, серед яких варто звернути увагу на праці Ю. Зацного [1], Р. Махачашвілі [2]. Переважна більшість дослідників розглядають неологізм з точки зору когнітивного та соціолінгвістичного підходів. Для першого з підходів неологізм – це форма вербалізації нового соціокультурного досвіду, що є рефлексією нових явищ у мові; для другого неологізм є віддзеркаленням змін, що відбуваються в колективній свідомості, та специфіка їх відображення на рівні мови. Базовим для роботи є таке визначення неологізму: «неологізм – це слово або фраза, створена для опису нового предмета або явища, невідомого раніше» (за О.С. Ахмановою[3, с. 290]).

Згідно з метою роботи автор виокремив та проаналізував 50 неологізмів на позначення реальних об'єктів у сфері ІТ та 50 неологізмів, що описують предмети в кіберпросторі. Головним завданням такого порівняння є наочний показ різноманіття неологізмів у їхньому походженні, особливостях та класифікації. Тематичні напрями і класи подаємо за класифікацією І.Л. Комлевої[4].

Реальні об'єкти:

1. Brogrammer (тематичний напрям «програмування») – чоловік-програміст, який уникає стереотипних ознак всезнайки, пов'язаних з культурою програмування. Етимологія: bro (брат) + програміст;

2. Programmingfluid (клас «предмет») – кава, JoltCola або будь-який інший стимулятор з високим вмістом кофеїну, який допомагає програмісту протриматись надзвичайно довгі сеанси кодування. Етимологія: програмування (programming) + рідина (fluid);

3. Hackathon (тематичний напрям «програмування»). Сеанс програмування у групі, особливо тривалістю декілька днів. Етимологія: хакерство + марафон.

Предмети в кіберпросторі:

1. 2038 bug (клас «процес»). Помилка програмного забезпечення комп'ютера, яка призведе до того, що програми перестануть функціонувати належним чином, стикаючись із датами, починаючи з 2038 року та пізніше. Етимологія: 2038 (рік) + баг;

2. Fauxtoshop (клас «процес»). Підробити фотографію за допомогою Photoshop або подібного програмного забезпечення з маніпуляції зображеннями. Етимологія: Штучний (faux) + Photoshop;

3. Virus FriendsandFamily (тематичний напрям «програмне забезпечення»). Комп'ютерний вірус, який заражає машину, а потім реплікує себе, надсилаючи свої копії людям у адресній книзі користувача. Етимологія: Virus + FriendsandFamily.

Результати проведеного аналізу засвідчують, що ІТ-сфера – це одна з найактивніших царин у словотворі, адже все більше людей долучаються до цієї динамічної галузі, тим самим створюють нову культуру спілкування та використовують нові лексеми на позначення соціальних та технологічних інновацій.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Зацний Ю.А., Янков А.В. (2008) Інновації у словниковому складі англійської мови початку ХХІ століття : англо-український словник. [Текст] Вінниця : Нова Книга.
2. Махачашвілі Р.К. (2013) Динаміка англосовітської інноваційної логосфери комп'ютерного буття [Текст] : (Дис. д-ра філол. наук). Одеса.
3. Ахманова О.С. (1969) Словарь лингвистических терминов, [Текст] О.С. Ахманова; изд. 2-е. Москва: Советская энциклопедия.
4. Мокрогуз Е.Д. Компьютерная терминология [Электронный ресурс]: // Universum: Филология и искусствоведение : электрон. научн. журн. 2015. № 8(21). – Режим доступа: URL: <http://7universum.com/ru/philology/archive/item/2568> (дата обращения: 22.03.2020).

УДК 004.7

Andrii Khrapko<sup>1</sup>, Olga Adamenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student of group CST-519 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup> PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

### **FACE RECOGNITION TECHNOLOGY**

A facial recognition system is a technology capable of identifying or verifying a person from a digital image or a video frame from a video source. There are multiple methods in which facial recognition systems work, but in general, they work by comparing selected facial features from given images with faces within a database. It is also described as a Biometric Artificial Intelligence based application that can uniquely identify a person by analyzing patterns based on the person's facial textures and shape.

Apple introduced Face ID on the flagship iPhone X as a biometric authentication successor to the Touch ID, a fingerprint based system. Face ID has a facial recognition sensor that consists of two parts: a "Romeo" module that projects more than 30,000 infrared dots onto the user's face, and a "Juliet" module that reads the pattern. The pattern is sent to a local "Secure Enclave" in the device's central processing unit (CPU) to confirm a match with the phone owner's face. It also works in the dark.

The U.S. Department of State operates one of the largest face recognition systems in the world with a database of 117 million American adults, with photos typically drawn from driver's license photos. Although it is still far from completion, it is being put to use in certain cities to give clues as to who was in the photo. The FBI uses the photos as an investigative tool, not for positive identification.

Some face recognition algorithms identify facial features by extracting landmarks, or features, from an image of the subject's face. For example, an algorithm may analyze the relative position, size, and/or shape of the eyes, nose, cheekbones, and jaw. These features are then used to search for other images with matching features.

Recognition algorithms can be divided into two main approaches: geometric, which looks at distinguishing features, or photometric, which is a statistical approach that distills an image into values and compares the values with templates to eliminate variances. Some classify these algorithms into two broad categories: holistic and feature-based models.

Three-dimensional face recognition technique uses 3D sensors to capture information about the shape of a face. This information is then used to identify distinctive features on the surface of a face, such as the contour of the eye sockets, nose, and chin.

One advantage of 3D face recognition is that it is not affected by changes in lighting like other techniques. It can also identify a face from a range of viewing angles, including a profile view. 3D research is enhanced by the development of sophisticated sensors that do a better job of capturing 3D face imagery. The sensors work by projecting structured light onto the face. Up to a dozen or more of these image sensors can be placed on the same CMOS chip – each sensor captures a different part of the spectrum.

Even a perfect 3D matching technique could be sensitive to expressions. For that goal a group at the Technion applied tools from metric geometry to treat expressions as isometries. A new method is to introduce a way to capture a 3D picture by using three tracking cameras that point at different angles; one camera will be pointing at the front of the subject, the second one to the side, and third one at an angle. All these cameras will work together so it can track a subject's face in real time and be able to face detect and recognize.

Another emerging trend uses the visual details of the skin, as captured in standard digital or scanned images. This technique, called Skin Texture Analysis, turns the unique lines, patterns, and spots apparent in a person's skin into a mathematical space. Surface Texture Analysis works much the same way facial recognition does. A picture is taken of a patch of skin, called a skin print. That patch is then broken up into smaller blocks. Using algorithms to turn the patch into mathematical, measurable space, the system will then distinguish any lines, pores

and the actual skin texture. It can identify the contrast between identical pairs, which are not yet possible using facial recognition software alone.

As every method has its advantages and disadvantages, technology companies have amalgamated the traditional, 3D recognition and Skin Textual Analysis, to create recognition systems that have higher rates of success. Combined techniques have an advantage over other systems. It is relatively insensitive to changes in expression, including blinking, frowning or smiling and has the ability to compensate for mustache or beard growth and the appearance of glasses. The system is also uniform with respect to race and gender.

УДК 004.7

Yevhenii Minchenko<sup>1</sup>, Olga Adamenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> student of group CST-519 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup> PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

### **3D PRINTING IN MEDICAL SPHERE**

3D printing technology appeared thanks to the discovery of the American inventor Charles Hull in 1983 and gradually spread to all areas of production. The technology has been used in world health since the 2000s. The use of 3D printing for medical purposes has evolved significantly.

Medicine does not stand still, constantly improving and developing. Already today, extremely promising techniques are being developed in this area that can completely transform the world.

Basically, these are achievements in the field of bioprinting - a potentially successful technology that allows you to create living tissues, bones and organs identical to human ones. Printed organs are better than prostheses and transplanted parts of the body. Their capabilities are identical to their relatives and they are not rejected by the immune system if they are created from the patient's DNA. Bioprinting will reduce the time to get the right organ and save the lives of patients who need an immediate transplant.

At the moment, more real opportunities are available, which are already widely used around the world. 3D scan significantly simplifies the manufacturing process of auxiliary structures, and also eliminates the possibility of postoperative complications. Universal organic materials have already been developed that are optimal for implantation in the human body and other medical applications. The results of 3D scanning allow you to visually assess the condition of the patient and more accurately make a diagnosis.

Sterile surgical instruments, such as forceps, hemostats, scalpel handles and clamps, can also be produced using 3D printers. These instruments can be used to operate on tiny areas without causing unnecessary extra damage to the patient.

3D printing in medicine is helping in the development of prosthetic limbs. The ultimate goal is to design comfortable prostheses that both suit specific patient's needs and are also cost-effective.

Tissues and organs can also be 3D printed. Skin tissue repair and reconstruction, limb replacement, kidney transplant, and heart transplant, among others, are being successfully achieved thanks to 3D printing in medicine.

The different dental areas currently integrating 3D printing are fabricating customized and accurate braces, dental restorations, castable crowns, dental bridges, and denture frameworks and bases.

3D printing in medicine is accelerating the health care industry at an impressive rate. The result is more comfort for the patient, better understanding for the doctor, and an easier time for the pocketbook.

УДК 004.4-62

Artem Palamarchuk<sup>1</sup>, Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-139 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **C++ LANGUAGE**

C++ is a high-level, general-purpose programming language created by Bjarne Stroustrup as an extension of the C programming language. The language has expanded significantly over time, and modern C++ has object-oriented, generic and functional features in addition to facilities for low-level memory manipulation. It is almost always implemented as a compiled language, and many vendors provide C++ compilers, including the Free Software Foundation, LLVM, Microsoft, Intel, Oracle, and IBM, so it is available on many platforms. In all higher education institutions, engineering graphics are put at an early stage of study.

C++ was designed with a bias toward system programming and embedded, resource-constrained software and large systems, with performance, efficiency and flexibility of use as its design highlights. C++ has also been found useful in many other contexts, with key strengths being software infrastructure and resource-constrained applications, including desktop applications, video games, servers (e.g. e-commerce, Web search, or SQL servers) and performance-critical applications (e.g. telephone switches or space probes).



The C++ standard consists of two parts: the core language and the standard library. C++ programmers expect the latter on every major implementation of C++; it includes aggregate types (vectors, lists, maps, sets, queues, stacks, arrays, tuples), algorithms (find, for\_each, binary\_search, random\_shuffle, etc.), input/output facilities (iostream, for reading from and writing to the console and files).

C++ has been enormously influential. Lots of people say C++ is too big and too complicated, but in fact it is a very powerful language and everything there is for a really sound reason: it is not somebody doing a random invention, it is actually people trying to find a real solution. Now a lot of the programs that we take for granted today, that we just use, are C++ programs.

УДК 004.7

Kostiantyn Kuhtin<sup>1</sup>, Olga Adamenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-519 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **A LOOK BACK AT COMPUTER MONITORS**

The first monitors used CRT(cathode ray tube) technology and appeared in 1922. However, for computers this technology began to be used only in 1950. Until the 50s, computers displayed information only onto printing devices.

The cathode-ray tube (CRT) is a vacuum tube that contains one or more electron guns and a phosphorescent screen and is used to display images. It modulates, accelerates, and deflects electron beam(s) onto the screen to create the images. The images may represent electrical waveforms (oscilloscope), pictures (television, computer monitor), radar targets, or other phenomena. In television sets and computer monitors, the entire front area of the tube is scanned repetitively and systematically in a fixed pattern called a raster. In color devices, an image is produced by controlling the intensity of each of the three electron beams, one for each additive primary color (red, green, and blue) with a video signal as a reference. In all modern CRT monitors and televisions, the beams are bent by magnetic deflection, a varying magnetic field generated by coils and driven by electronic circuits around the neck of the tube, although electrostatic deflection is commonly used in oscilloscopes, a type of electronic test instrument.

For the first time in 1950 at Cambridge university, the cathode ray tube of an oscilloscope was used to output graphical information on an EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer). About a year and a half later, the English scientist Christopher Stretch wrote for the computer “Mk. 1” a program that played

checkers and displayed information onto the screen. However, a breakthrough in the field of graphic output devices was the American military project based on the “Whirlwind” computer. The objective of this project was to output data from radars to a CRT display (this means that the radar transmits to the display information about the location of objects in the "field of view" of the radar). This project was first demonstrated on April 20, 1951. This type of monitors continues to be used and improved to this day.

Although CRT displays began to be used only in the 1950s, already in 1960s RCA Company began researching liquid crystal materials for using it in imaging devices. The operation principle of any liquid crystal screen is based on the property of liquid crystals to change (rotate) the plane of polarization of the light passing through them in proportion to the voltage applied to them. Thus, using liquid crystals, it is possible to produce optical elements with a variable degree of transparency. Any LCD screen on a computer monitor, laptop, tablet or TV contains from several hundred thousand to several million such cells, a fraction of a millimeter in size. They are combined into an LCD matrix and with their help we can form an image on the surface of a liquid crystal screen.

In 1964, George Heilmeyer created the first liquid crystal display based on the dynamic scattering effect (DSM). In 1968 RCA introduced a liquid crystal monochrome screen. In 1973 Sharp released the first DSM-LCD-based LCD calculator. Liquid crystal displays began to be used in electronic watches, calculators, and measuring devices. Then matrix displays began to appear, reproducing a black and white image. In 1987 Sharp developed the first 3-inch color LCD, and in 1988 the world's first 14-inch color TFT LCD. In 1983 Casio released the first portable black-and-white TV with a TV-10 LCD screen, in 1984 - the first color portable TV with an LCD TV-1000, in 1992 - the first video camera with an LCD QV-10.

УДК 004.35

Philipp Dolzhenko<sup>1</sup>, Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-139 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”P

<sup>2</sup>teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## DIGITAL AUDIO WORKSTATION

A digital audio workstation (DAW) is an electronic device or application software used for recording, editing and producing audio files.

DAWs are used for the production and recording of music, songs, speech, radio, television, soundtracks, podcasts and sound effects.

In 1978, Soundstream built first digital audio workstation using some of the most current computer hardware of the time.

In 1989, Sonic Solutions released the first professional (48 kHz at 24 bit) disk-based nonlinear audio editing system that featured complete CD mastering.

Many major recording studios finally "went digital" after Digidesign introduced its Pro Tools software, modeled after the traditional method and signal flow in most analog recording devices.

An integrated DAW consists of a mixing console, control surface, audio converter, and data storage in one device. They were popular before personal computers became commonly available.

A computer-based DAW has four basic components: a computer, either a sound card or audio interface, digital audio editor software, and at least one input device for adding or modifying data.

DAWs are based on a multitrack tape recorder metaphor. The most significant feature available from a DAW that is not available in analog recording is the ability to 'undo' a previous action.

There are countless software plugins for DAW software, including digital effects units which can modify a signal with distortion, resonators, equalizers, synthesizers, compressors, a chorus, a virtual amp, a limiter, a phaser and flangers.

УДК 004.3

Viacheslav Tomin<sup>1</sup> Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-139 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup> teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## PC HISTORY IN FACTS

The first computer mouse was invented in 1963 by Douglas Engelbart at Stanford Research Institute. He is also one of the inventors of hypertext. The first mouse used two wheels located at an angle of 90 degrees to each other, to track movement along 2 axes.

First laptop computer was supposed to be a "mobile" computer. The IBM 5100 Portable Computer was created in 1975. He weighed 25 kg, was the size of a small suitcase, and needed an external power source.

The first IBM personal computer was commissioned in 1981, it was the IBM 5150 model. The platform became so widespread in the 80s that the term "personal computer" was used to mean an IBM personal computer.

The first Apple personal computers were designed and built manually by Steve Wozniak. Apple I went on sale in 1976 for \$ 666.66. A total of 200 copies were produced.

The first rewritable random access memory was magnetic core memory (also called ferrite memory). It was invented in 1951 as a result of the work done by An Wang at Harvard University Computing Laboratory and Jay Forrester of the Massachusetts Institute of Technology.

The IBM 350 Disk File was the first hard drive that was part of the IBM 305 RAMAC computer, which began shipping in 1956 (the computer was intended for accounting).

The laser printer was invented by Harry Starkweiter at XEROX in 1969. The first prototype was a modified copy machine, where he removed the imaging system and introduced a rotating drum with 8 mirror faces.

Since the Internet is an integral part of the modern world, it is impossible not to talk about the first web server. The first web server was the NeXT workstation, which Tim Berners-Lee used when he invented the CERN World Wide Web. The first web page became available online on August 6, 1991.

There was an inscription on the computer that said: "This machine is a server. DO NOT TURN OFF!!". Turning it off, you could turn off the entire Internet. The Intel 4004 is a 4-bit microprocessor developed by Intel Corporation and released on November 15, 1971. This chip is considered the world's first commercially available single-chip microprocessor.

The QWERTY keyboard layout is already 130 years old, it was designed as the most uncomfortable of all possible

УДК 004.9-62-94

Danylo Hvozdylo<sup>1</sup>, Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-139 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **HISTORY OF SOFTWARE ENGINEERING**

### **Basic information**

The term "software engineers" first appeared in 1968 at NATO conferences and was intended to provoke a search for solutions to the "software crisis" that was occurring at that time.

In this area, research is being conducted on the development of software that is better, more affordable, better supported and faster to develop associated with the disciplines of computer science, project management and systems engineering.

### **History**

When the first modern digital computers appeared in the early 1940s, sets of executable instructions were already built into the machine. Thus, the division into "hardware" and "software" began with an abstraction used to solve the problem of

computational complexity. The first programming languages began to appear in the 1950s. Major languages such as Fortran, Algol and Kobol were released in the late 1950s to solve scientific, algorithmic and business problems, respectively. The hardware management system software called the “operating system” was introduced by Unix in 1969.

In 1967, Simula introduced the concept of an object-oriented programming paradigm. The late 1970s and early 1980s were marked by the advent of several new simul-like object-oriented programming languages, including Smalltalk, Objective-C, and C ++.

### **Profession**

Legal requirements for licensing and certification of professional software engineers are different worldwide.

### **Work**

In 2004, the US Bureau of Labor Statistics, counted 760,840 software engineers working in the United States. In the same time period, there were about 1.4 million practitioners employed in the United States in other mixed engineering fields. In large projects, people can specialize in only one role, in small ones they can take up some or all of the roles at once. Specializations include: in the industry: analysts, software architects, developers, testers, technical support, intermediate analyst, manager; in academic circles: teachers, researchers.

### **Training**

A number of universities have training programs for software engineers. Since 2010, there have been 244 full-time programs, 70 online courses, 230 specialist programs, 41 academic programs in the field, and 69 certificate programs in the United States. In addition to higher education, many companies finance internships for students who want to pursue a career in information technology.

УДК 004.5-62-74

Oruna Rud<sup>1</sup>, Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-139 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **COMPUTER ENGINEERING GRAPHICS**

In all higher education institutions, engineering graphics is put at an early stage of study.

In modern conditions, three-dimensional modeling of technical objects and the subsequent automated construction of drawings are increasingly used. Non-automated design methods are ineffective.

Its tasks include the formation of skills for working with specific graphic systems of geometric modeling; study and practical development of methods for computer-aided drawing, methods for the automated development of graphic design documentation, computer-aided design of drawings using graphic databases.

Computer graphics is considered as a separate section devoted to the study of the drawing technique using instead of a pencil and a drawing board.

It is most effective to organize the learning process in parallel, optimally combining manual and computer-aided drawing.

When using information technologies, traditional tasks of engineering graphics get a new content and implementation.

While developing tasks, the developers sought to optimize the process of the drawing construction, using such computer advantages as ease of moving images, ensuring scaling and copying, as well as the widespread use of auxiliary structures.

Having obtained and developed skills in working with three-dimensional objects, students themselves create solid-state three-dimensional models.

The future engineer should be equally good in both computer engineering and manual. Moreover, spatial imagination develops to a greater extent when working with flat images on a sheet of paper.

The introduction of computer technology should be within reasonable limits. You cannot shift priorities. Computer graphics should be aimed at studying the rules and techniques for solving graphic problems and not at studying the properties and capabilities of a computer.

Thus, teaching computer graphics in the process of engineering graphics should not be considered as an independent part on the acquisition of drawing skills in electronic form, but as teaching engineering graphics by other means.

УДК 811.111-004.5

Ilya Lavrenko<sup>1</sup>, Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-119 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## THE MAIN STAGES OF WEBSITE DEVELOPMENT

Website development is a laborious and relatively lengthy process, which proceeds in several stages, as they progress through which the customer's idea turns into a real functioning website or online store. Website development is a process in which several specialists usually participate. For a project to be successful, you must at least determine:

1. What tasks are assigned to the site?;
2. What visitors is the website targeted at?;

3. What do you want to convey to them?;  
4. What functionality do you want to put into your website, i.e. how will it work?;

5. Who and how will support the functioning of the site, updating information, how is it planned to expand it?

The website development process can be divided into the following steps:

1. marketing planning;
2. planning the structure of the future site (sections, navigation, etc.);
3. website design development;
4. layout of the developed layout;
5. “layout overlay” on the content management system developed by us;
6. installation of software modules responsible for the enhanced functionality of the site;
7. filling your web site with texts and images;
8. testing the site for compliance with the technical specifications and putting the finished project on the Internet.

Let’s now look at each of these steps in more details.

#### 1. Marketing Planning

At this stage, the very foundations of the created site are clarified. What should a site do? What are its main tasks? What do you want to achieve with it? What do you want this website to convey to your visitors? These and many other questions help determine what the site will be like.

#### 2. Technical planning

This is a stage that is often undeservedly neglected (especially if the deadlines are tight). But it’s been known for a long time - every hour spent on planning will save three or four hours at the development stage. It is worth paying special attention to how navigation should work (How will a visitor get to this page from the main page?). Do not forget about the program functions (the user clicked on this button - what should happen?).

#### 3. Website Design

One of the most difficult stages. First of all, because most of us are used to evaluate design separately from the site itself, as we evaluate a picture or music in a song separately from its words.

It is worth recalling the goals that you set for the site (The goal is to hit everyone with a beautiful picture?). Does the design talk about what your company offers? Does it match your corporate style (Do you have a corporate style?). Does it clearly show your difference from competitors? Will the design in the future effectively move the site? And this is only part of the questions that you need to ask yourself.

#### 4. Layout.

Layout is a translation of a design that still exists as a picture into HTML code. It has its own characteristics. A well-made site will work equally in all major web browsers and at the most common permissions (Or can you afford to lose customers?).

#### 5. Content Management System (CMS).

A serious task is to choose a software “engine” that allows you to update information on the site without unnecessary difficulties. (If you can entrust the task of updating your secretary, and she will cope with it without the help of your programmer, then everything is ok). In addition, sometimes you have to change the structure of the site - for example, move a section or create a new one. This process should not cause difficulties either. Adhering to open standards is also very important - do not “rivet” yourself to someone else’s closed technology.

#### 6. Filling the site.

In the case of using CMS, the filling process becomes quite simple. Of course, it still takes some time. The only thing worth paying attention to is the readiness of the texts themselves. Very often it is this stage that causes the most significant delays, so it is best to take care of this in advance.

#### 7. Testing and laying out.

Despite the fact that testing occurs at each stage of the project, final testing is necessary. What to check? Here are some of the most important points. Do all modern browsers have a website? Are all the necessary materials posted? Do all software components work smoothly and clearly?

And now, when the testing is completed, the moment of site placement comes. Contrary to popular belief, after a site is uploaded, work with it does not end there. If your goal is to turn your website into a marketing tool, then get ready for what you need:

1. Upload new materials;
2. Promote website;
3. Interview visitors and add new functionality they need.

УДК629.7.02

Sergiy Tchaikovsky<sup>1</sup>, Yulia Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group M-719 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup> teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **LAT PLANE CRANKSHAFT**

The flat plane crankshaft isn’t a new technology as it has been used in V8 engines all the way to the start of the automotive industry.



In modern times flat plane crankshaft is frequently found on Italian exotics racing cars.

The flat plane crankshaft gets its name from the way it looks. The same can be said about the cross plane crankshaft.

Like most technologies, the flat plane cranks have some upsides and some downsides.

Benefits include higher RPM, better tuning efficiency, weight and sound.

Downsides include higher NVH or noise vibration, harshness and reduced engine life.

A lot of the benefits of the flat plane crankshaft come from the engine's firing order.

A flat plane v8 is essentially two built-in four-cylinder engines that have been joined to the crankshaft. Given this configuration it's very easy to go back and forth between each group of cylinders.

The exhaust pulses that go out of each cylinder on the flat plane crankshaft engine are timed almost perfectly. Each pulse comes down the header to create a small vacuum behind it.

One of the benefits of an even firing order is that all cylinders behave the same. With the traditional cross plane v8 you'll have some cylinders that underperform others.

The biggest downside of the FPCE is NVH. The presence of cylinders firing every 90 degrees, rather than every 180 degrees, provides a smoother overall engine cycle.

The Roughness and vibration associated with flat cranks increases with increasing capacity of the engine. In other words, the bigger the engine, the more likely you are to have problems.

Typically, a flat plane crankshaft will require smaller counterweights which reduce the overall weight of the crankshaft and provide quicker revving.

УДК 62

Oleksandr Panas<sup>1</sup>, Yuliya Bykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group M-719 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **PROS AND CONS OF BEING A MECHANICAL ENGINEER**

Mechanical engineers work in any part of the world today, because their work can be suitable for almost any business. Here are some pros and cons of being a mechanical engineer. Pros of being a mechanical engineer:

1. "It's an evergreen branch". Mechanical engineers are always in demand, therefore if you are a mechanical engineer, employment is never a problem if you are a truly skilled engineer.

2. "Wide range of sub disciplines". There is a wide range of subjects available in mechanical engineering, you can specialize in automobile engineering, aerospace engineering, marine engineering, mechatronics and many others. With such a wide range of career opportunities you are most likely to find something that suits your needs.

3. "Global opportunities". There isn't a country in the world that doesn't need mechanical engineers.

4. "Innovations for the future". Mechanical engineers are at the forefront of future technologies. Mechanical engineers are developing new technologies for a number of industries including transportation, construction, robotics and more. You can discover, invent, innovate, design and create amazing products if you are a mechanical engineer.

5. "Respected profession". Mechanical engineering is a well respected profession, mechanical engineers are considered an important part of the community, progress of global community and development of the modern world is impossible without them.

Now we'll move on to the cons .

1. "Educational requirements". The minimum requirement for entering the field is a bachelor degree in mechanical engineering or a closely related subject course. Undergraduate studies should include math, physics, chemistry, solid and fluid mechanics, thermodynamics, material science, process control and equipment design, this will help a fresh graduate get a job but may not be enough to ensure a career. Companies encourage their engineers to take Postgraduate Studies often offering educational grants and promotion opportunities as incentives.

2. "Extreme pressure". Great importance brings significant pressure on the projects you head up as a mechanical engineer. The work is associated with high costs and risks, therefore, there is a big responsibility.

3. "Workload and hours". Mechanical engineers usually work about forty-fourty-five hours a week, although in some private industries or at certain stages of the project, weekly work can take up to more hours.

4. "Coursework can be quite complicated". If you do not have the ability to do it, then you will not be able to go through the study phase, you will easily be bored if you are not interested in this field. Also, the amount of stuff you study at the university is negligible compared to what you do in industry. In industry you'll probably solve a problem that has never been encountered before.

Well, if you plan to become a mechanical engineer, consider talking to some real mechanical engineers with good experience, and consider reading articles on t engineering blogs to get an idea of the life of an engineer.

## **ELECTROMAGNETIC WAVES AND THEIR EFFECTS ON HUMAN BODY**

Radiation consists of both electric and magnetic fields. They come from natural and manmade resources. Electromagnetic Radiation (EMR) is present in everyone's life and originates from different sources. Some of the most common sources of electromagnetic fields are the ones everybody experiences daily, for example: solar radiation or electric current that supply household appliances (Mobile Phones, Television sets, Wi-Fies, Microwaves, Computers, etc.) and antennas for telecommunications. Artificial resources are used to generate high-level electromagnetic radiations which may be typically found in medical devices such as Magnetic Resonance Imaging (MRI), laser lithotripsy, X-ray Computed Tomography (CT). In a residential environment, the diffusion of the induction cooktop, hairdryers, cordless phones, modems, routers, appliances, alarm system, etc. increases the possibility of domestic exposure to magnetic fields. Nevertheless, electromagnetic fields can also be used for the treatment of different diseases (e.g., cancer, kidney stones, gallstones, brain tumor, etc.). The practicality of the above described technologies is due to the range of frequencies decreasing from ultra-high frequencies to extra low frequencies available in the electromagnetic spectrum. The EMR spectrum is widely used in different areas of science and technology. EMR can be broadly divided into two categories: ionization and non-ionization. Ionizing radiation has high energy as compared with non-ionizing radiations. The ionizing radiations have a frequency ranging from 1 PHz (petahertz) to 10 ZHz (zettahertz), which includes X-rays and Gamma rays. The non-ionizing radiations have a frequency ranging from 1 to 1000 of THz (terahertz). It consists of Microwave (MW), Infrared (IR), Visible Light (VL) and Ultra-Violet light (UV). Ionization radiation has the capacity to cause changes in the structure of atoms or molecules by ionization, so that's why ionizing radiation can cause damage to living atoms/molecules and also have the tendency to cause changes in the structure of DNA in the living organism.

The telecommunication devices (Mobile Phones, Wi-Fies, Computers, Televisions, etc.) have proved to have revolutionary effects in terms of communication anywhere and anytime in the whole world, but it is mostly accompanied with the EMR hazards. The human body has the ability to absorb these radiations that might be harmful and can cause even different diseases like cancer, mental disorder, neurologic illness, cardiovascular disease. EMR has very

beneficial uses in our daily life to make it more comfortable and easier. Nowadays, we can talk to anyone on a mobile phone through the Internet: it is because of EMR, since these waves can transmit signals at very long distances. So EMR plays the key roles in making our lives more comfortable. The health problems due to long-term effects of EMR from telecommunication and biomedical devices have been addressed among people all over the world. The organizations like World Health Organization (WHO), Federal Communication Commission (FCC), and International Commission on Non-Ionization Radiation Protection (ICNIRP) have recommended some safety guidelines for protection of all living beings.

Given the ubiquitous nature of Electromagnetic Fields (EMF), their widespread applications, and their capability to produce deleterious effects, conclusive investigations of health risks are critical. With the published literature on EMF, it is still not sufficient enough to reach a concrete conclusion. But the possibility of negative consequences cannot be excluded. Several studies with appropriate methodologies reflect the capacity of EMFs to cause adverse health effects.

For the time being, since it is difficult to protect oneself from EMFs, the only practical way to check exposures is to distance oneself from the source. Together, the precautionary approach and ALARA (as low as reasonably achievable) principle can also be applied to save us from substantial exposures and the possible ill effects if any. The objective is to minimize EMF exposures to the greatest degree possible without significant economic cost and disturbance.

УДК 608.3

Yevhen Popov<sup>1</sup>, Olena Syvachuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-417a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>teacher National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

**Yevhen Popov, Olena Syvachuk**

## **WILLPOWER TRAINING AND ELECTRIC CURRENT**

Nowadays different smart devices are part of our daily routine. They are combining and communicating with each other to solve a huge variety of tasks. Every day the number and diversity of these devices is growing.

For example a bracelet that helps to kick bad habits. If you are trying to quit smoking, eating junk food, biting nails or if you want to wake up earlier etc., this smart bracelet can probably help you.

The bracelet will send you an electric current discharge every time you fall victim to a habit. The principle of its work is simple and is based on negative stimulation. Brain starts associate unpleasant current discharge with a habit you want to quit. There is a variation of aversive therapy.

Main part of wristband is made from silicon that makes it lightweight and durable. This device is represented in several colors. Wristband's battery has the capacity for over 150 discharges and it also recharges quickly. So, it is very convenient for daily use and moreover has a stylish look.

The bracelet is easy to adjust by using a mobile app. It has user-friendly interface and you can adjust strength, duration and the number of discharges. Also, here you can view statistics of your willpower training.

The manufacturer claims that you can feel first result just after several days of using. There are a number of successful results. Many people have already got rid of different bad habits.

Thus, this wristband is a great example of how modern devices can drastically change our life. Just a small thing on your hand allows you to cope with bad habits quickly and almost without efforts.

УДК 621.331

Dmytro Maslov<sup>1</sup>, Olena Syvachuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-417a National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **FUTURE VEHICLE ELECTRIFICATION PERSPECTIVES**

It's not a secret that the pace of electric cars development is really high nowadays. There are about 3 million of them on roads all over the world and the number of them being sold increases rapidly every year. The leading countries are China and The USA, with 1.2 m. and 380,000 electric vehicles sold by the end of 2019 correspondently. Also, about 320,000 electric cars were sold in Europe.

These rates show us that the age of electric vehicles is around the corner. Realizing that Mercedes Benz, for instance, spent about 10 billion of dollars on the electric vehicles development in 2019, when only about 3 billion were spent on modernizing their diesel engines. Another important factor is legislation, which gets tightened regarding to cars, with ICE (Internal Combustion Engine). Requirements for exhaust fumes are growing not only in the USA, China and Europe but worldwide. Legislative requirements are applied not only to car manufacturers and authorized dealers but also to final customers – car owners.

For example, London adopted a number of laws against cars with engines, operating on diesel fuel, that were produced before 2006. Their owners are obliged to pay 10 pounds per day for toxicity. Same law is planned to be adopted towards patrol engines in April this year. Norway, in its turn, reduced tolls and VAT (value added tax) for electric vehicles by 25 percent. Great Britain canceled tolls for electric vehicle and increased them for patrol and diesel cars.

Tesla Motors, the pioneer of electric vehicle development, signed a contract with the Chinese government about building a new Tesla automobile factory in Shanghai. It will become the first foreign electric vehicle manufacturer in China. It's the strategic step for both sides, given that the popularity of electric vehicles among the community and their development perspectives are steadily increasing.

If you look deeper, it may seem that electric cars are not that ecologically pure because of emissions from power plants that produce electric energy. Despite the fact that a lot of fossil fuels are needed to be burnt to produce electricity, later used by 'eco-friendly' vehicles, they are still more ecologically pure than petrol and diesel cars. Recent researches prove that manufacturing process and later exploitation of cars, operated on fuel, brings more relatively pollution. Moreover, recent developments show that electric cars can not only be no worse than classical ones with ICE, but they can be better, more modern and innovating.

Electric vehicles can be charged directly from the socket, easily found in every house, which, to my personal opinion, is more comfortable than driving somewhere in a way to find a gas station. Notwithstanding the longer charging time, this benefit is even greater considering that in some countries electricity consumed at night time is cheaper than during the day. In addition, electric engines are less noisy, have higher efficiency in comparison with ICE and, in fact, have relatively higher reliability and durability. Furthermore, they are much safer because electric engines, operating in electromagnetic brake mode, have an emergency brake feature that has already saved hundreds of lives.

In conclusion, I would like to say that most modern electric vehicles surpass their counterparts with ICE in power, comfort and safety levels. At the moment, mankind is still not ready to the complete vehicle electrification but it's moving steadily towards it.

УДК 62-1

Dmytro Mikulin<sup>1</sup>, Olena Syvachuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-417a National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **APPLICATION OF TECHNOLOGIES IN EVERYDAY LIFE**

What is technology? This is a complex of engineering and scientific knowledge that was embodied in the means and methods of labor in order to obtain a particular product or service. Technologies are an important component of modern civilization. They influence the way we work, live and relax. We cannot imagine our life without the achievements of science such as electricity, modern communications, the Internet, gadgets and many others. All of them greatly

facilitate the life of a person. Back in the 1990s, TV sets rarely used, but in 1995 a total of 10% of families had a personal computer, and by 2011 this number had grown to 75%.

I want to address some aspects of everyday life that technology has influenced. Firstly, I want to dwell upon communication. This is one of the areas where technology has had the greatest impact. Communication with people who are not in your immediate vicinity was once a difficult process, which required sending paper letters and great patience. But now it's enough to write to someone in the messenger and the message will reach the person immediately. All this is thanks to high-speed Internet and cellular network, which are almost everywhere.

Another aspect of everyday life is health. Technology has had a huge impact on the healthcare industry. Improving diagnostic tools allows doctors to identify health problems at an early stage, increasing the chances of successful treatment. Vaccines have become incredibly effective, almost destroying diseases such as measles, diphtheria and variola, which once caused massive epidemics. Modern medicine allows patients to control chronic conditions of diseases, such as diabetes and hypertension, which were once life-threatening. Progress in medical technology have increased life expectancy and improved its quality for people around the world.

Productivity is another important aspect of everyday life. Technology has significantly increased labor productivity, because the ability of computers to solve complex mathematical equations has allowed them to accelerate almost every task. Computer simulation allows engineers to design new technique, equipment and materials. The ability of networked computers to distribute and manage data can speed up many office tasks, allowing employees to work more efficiently and maximize their productivity. Achievements in agriculture have increased food production. In many areas of our lives, labor-intensive processes can now be carried out with lightness and within a shorter time.

And last point is about education. Computers and the Internet have reversed the approach to education. Computers accommodate huge amounts of data in a very small space, reducing the number of shelves with directories to one flash card. They allow you to introduce information better, making the learning process easier and more effective. Online education has provided unprecedented learning opportunities for people around the world. Lectures and lessons can be uploaded to a site in the form of texts, images or videos, making information more accessible. All the news you need is available to you 24 hours a day, thanks to the World Wide Web.

In conclusion, I can say that technology has fundamentally changed our lives. It made it much simpler and better, and now we cannot imagine our life without modern technology. But I think that it is necessary to introduce technologies into

everyday life reasonably. Otherwise, a person will quickly degrade if they're completely deprived of the opportunity to work and be useful to society.

УДК: 621.3.078

Yevhenii Lapshynov<sup>1</sup>, Olena Syvachuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-417a National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>teacher National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## ACTIVE-ADAPTIVE SMART GRIDS

The electric grid complex is one of the pillars of the developing economy of Ukraine; it provides transportation and distribution of electricity to all legal entities and individuals.

One of the problems of the electric power industry is a high level of accidents and failures at electric power facilities, and, consequently, a high level of economic losses, both in this and other sectors. The reasons for this lie in obsolete equipment and engineering networks, operating technologies of the latter, and the technically outdated level of automated process control. So, now the main scheme for organizing the operation of the electric network is focused, first of all, on the round-the-clock stay of operational personnel on them, monitoring the state of the facility and performing operational switching.

Relay protection and automation is mainly performed using electromechanical relays (~ 91%), which have a significant variation in the response characteristics of the relay by current and time, and have insufficient sensitivity. About 60% of all relay protection kits have been in operation for over 30 years.

A number of major system crashes in the United States and several other countries laid the foundation for the development of the Smart Grid concept in the 20th century. In this term, Smart – is a self-monitoring, analyzing and reporting technology; and Grid - power system, power grid.

Conclusion: the main intellectual task of our time is the creation of technology to solve the problems of increasing the reliability of equipment, the ability to control it from a distance. In the electric power industry, such technologies include: monitoring the status and the management of electrical equipment; automated accounting and consumer information systems; communication systems infrastructure for energy facilities; automation to increase the reliability and dependability of power supply; data management; management of operational field teams. Being in a single platform, the aforementioned technologies allow a radically new approach to the construction of electric networks, moving from a rigid "generation → network → consumer" structure to a



more flexible one in which each network node can be an active element. At the same time, the intelligent network is available to perform its reconfiguration when changing certain conditions not only in an automated, but also in an automatic mode.

УДК 537.11

Yelyzaveta Teryokhina<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419m National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## USE AND METHOD OF CONTROLLING AN ELECTRIC ARC

An electric arc, or arc discharge, is an electrical breakdown of a gas that produces a prolonged electrical discharge. The current through a normally nonconductive medium such as air produces plasma; the plasma may produce visible light. An arc discharge is characterized by a lower voltage than a glow discharge and relies on thermionic emission of electrons from the electrodes supporting the arc. An archaic term is voltaic arc, as used in the phrase "voltaic arc lamp".

Techniques for arc suppression can be used to reduce the duration or likelihood of arc formation.

Industrially, electric arcs are used for welding, plasma cutting, electrical discharge machining, as an arc lamp in movie projectors, and follow spots in stage lighting. Electric arc furnaces are used to produce steel and other substances. Calcium carbide is made this way as it requires a large amount of energy to promote an endothermic reaction (at temperatures of 2500 °C).

Carbon arc lights were the first electric lights. They were used for street lights in the 19th century and for specialized applications such as searchlights until World War II. Today, low-pressure electric arcs have multiple applications. Fluorescent tubes, mercury, sodium, and metal halide lamps are used for lighting; xenon arc lamps are used for movie projectors.

Formation of an intense electric arc, similar to a small-scale arc flash, is the foundation of exploding bridge wire detonators.

A major remaining application is in high voltage switchgear for high-voltage transmission networks. Modern devices use sulfur hexafluoride at high pressure in a nozzle flow between separated electrodes within a pressure vessel. The AC fault current is interrupted at current zero by the highly electronegative SF<sub>6</sub> ions absorbing free electrons from the decaying plasma. A similar air-based technology

has largely been replaced because many noisy units in series were required to prevent the current re-igniting under similar supergrid conditions.

Electric arcs have been studied for electric propulsion of spacecraft.

They are used in the laboratory for spectroscopy to create spectral emissions by intense heating of a sample of matter.

Undesired arcing in electrical contacts of contactors, relays and switches can be reduced by devices such as contact arc suppressors and RC snubbers or through techniques including:

1. immersion in transformer oil, dielectric gas or vacuum;
2. arc chutes;
3. magnetic blowouts;
4. pneumatic blowouts;
5. sacrificial ("arcing") contacts;
6. damping materials to absorb arc energy, either thermally or through chemical decomposition.

Scientists have discovered a method to control the path of an arc between two electrodes by firing laser beams at the gas between the electrodes. The gas becomes a plasma and guides the arc. By constructing the plasma path between the electrodes with different laser beams, the arc can be formed into curved and S-shaped paths. The arc could also hit an obstacle and reform on the other side of the obstacle. The laser-guided arc technology could be useful in applications to deliver a spark of electricity to a precise spot.

УДК 621.3.064.42

Svetlana Yeromina<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **FUNCTION OF THE ARCING IN MAGNETIC LAUNCHER**

The invention of an arcing chamber is required for extinguishing an electric arc in a magnetic starter. The chamber contains an arcing device, a blowing device that blows an electric arc into an arcing device, and a plurality of lamella-shaped extinguishing elements of an electric arc, between which flow channels are formed. The flow channels respectively have a dispersion portion. The scattering portions of adjacent flow channels are made with different slopes, so that the blown air is deflected by the flow channels in different directions. The technical result is to prevent the accumulation of electrically conductive plasma in the arcing device,

which increases the reliability of switching and the service life of the magnetic starter.

In particular, during operation, accumulation of the electrically conductive plasma in the arcing device must be prevented, which leads to an unfavorable switching behavior of the contactor. Thus, the plasma, together with the electric arc, is blown out by means of a blowing device in the direction of the arcing device, and the plasma exits through the flow channels into the environment.

In addition, the arcing chamber can be either integrated into the contactor as a whole with it, or made in the form of a removable part of the magnetic starter.

The interrupter chamber contains wearing elements that often need to be checked and replaced if necessary. In addition, such an arcing chamber with permanent magnets and / or with a coil is very heavy and therefore must be rigidly mechanically connected to the base element.

Therefore, it is important to create an arcing chamber that can be easily removed and at the same time well fixed in relation to the basic element of the contactor.

It can be concluded that the arcing chambers limit the sound and light effect during arc extinction and direct the flow of molten, ionized gases to a specific place where they cannot cause interphase transfer, as a result of a sharp decrease in the dielectric strength of air.

УДК621.316.53

Yevhenii Peklov<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419m National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD(Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **THE IMPACT OF CALCULATIONS DC CONTACTOR ON THE CHOOSING WINDING PARAMETERS**

A contactor is an electrically controlled switch used for switching a power circuit, similar to a relay except for higher current ratings. A contactor is controlled by a circuit, which has a much lower power level than the switched circuit. Contactors come in many forms with varying capacities and features.

Contactors are widely used in many branches of industry to control electric motors, lighting, heating, capacitor banks, thermal evaporators, and other electrical loads.

The main impact of calculation is preliminary determination of magnetic circuit dimensions, magnetizing force of winding and its geometrical dimensions.

The coil is the main unit of all electromagnets; it provides the necessary magnetizing force for electromagnet operation.

The aim of calculation is to determine wire diameter, number of turns and the winding resistance, that provide necessary magnetizing force at admissible heat temperatures. The most common type the winding wire with enamel insulation and admissible winding temperature rise is used.

The winding of an electromagnet coil can be wound according to the following technology:

1. directly to the insulated core of the electromagnet;
2. on an insulated metal sleeve that is mounted on the core (fits tightly on the core);
3. on a frame made of insulating material or performed frameless.

With various technologies both the shape and design change, and the conditions of heat removal and the temperature value change heating coils. The winding is wound, as a rule, turn by turn.

This leads to higher quality insulation, better thermal conductivity and other physical and chemical properties of an electrical product.

УДК 621.316.53

Artem Kozachenko <sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-419m National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD(Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **DC CONTACTOR SELECTION DEPENDING ON NOMINAL VOLTAGE AND CURRENT VALUES**

A contactor is an electrically controlled switch used for switching a power circuit, similar to a relay except for higher current ratings. A contactor is controlled by a circuit, which has a much lower power level than the switched circuit. Contactors come in many forms with varying capacities and features. Contactors range from those having a breaking current of several amperes to thousands of amperes and from 24 V DC to many kilovolts. The physical size of contactors ranges from a device small enough to pick up with one hand, to large devices approximately a meter on a side. Unlike a circuit breaker, contactor is not intended to interrupt a short circuit current. Contactors are useful in commercial and industrial applications, particularly for controlling large lighting loads and motors. One of their hallmarks is reliability.

Electromagnetic contactors can be used not only for switching at condition of normal mode, but also for protection against the voltage drop in the network.

Electromagnet cannot keep a contactor in moving system with voltage decreasing and it is spontaneously switched off.

Direct current contactors switch direct current circuits and have as a rule also direct current electromagnets.

But what we must know if we need to select contactor for our purposes?

You need to choose a device depending on where you will use it. Here, the main role is played by the required voltage and current magnitude of the main circuit. The voltage of the main circuit of the contactor is the highest rated voltage for which the contactor is designed. The rated operating voltage is equal to the mains voltage in which the contactor can operate under the given conditions. According to the rated voltage of the main circuit, the contactors are divided into 2 groups: with a voltage of 220 and 440V. Contactors can have from 1 to 5 main poles. The rated current of the contactor is the current that is determined by the heating conditions of the main circuit when the contactor is not turned on or off. Moreover, the contactor is able to withstand this current of three closed main contacts for 8 hours, and the temperature rise of its various parts should not be more than the permissible value. By rated current of the main circuit contactors have following values 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 A.

In conclusion it may be said that it is necessary to select contactor for each working process separately. You can substitute contactor designed for high voltage circuits by contactor developed for low voltage circuits (even though it will not be economically feasible), but in no case vice versa. Not only because it's not profitable, but also because it can cost the most expensive thing in the world - human life.

УДК 004.032.26(004.89)

Serhii Leoshchenko<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>PhD (Philology), associate professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **ADAPTIVE MECHANISMS OF THE NEUROEVOLUTION METHOD FOR NEURAL NETWORK SYNTHESIS**

Artificial neural networks (ANN) are one of the directions in the development of artificial intelligence systems. The main idea is to simulate as close as possible the work of the human nervous system. Namely, ability to learn and correct errors. An ANN simulates not only the activity, but also the structure of the human nervous system. It consists of a large number of separate computing nodes (neurons) that are coupled by connections (synapses). Connections differ in

relative weight (importance), and neurons are grouped into layers. Input data is processed sequentially at all network layers.

All the tasks that ANN can solve are related to learning (usually this process called training) in one way or another. The main applications of neural networks include forecasting, decision making, pattern recognition, optimization, and data analysis. Creating an ANN consists of two main stages:

1. choosing the ANN structure (architecture or topology);
2. setting the weights of all neurons and connections of the ANN (training).

To perform the ANN training stage, the most common method is the Back propagation method (BP), which allows adjusting the weights in multi-layer complex ANN using training data sets. However, despite its popularity, the BP has a number of disadvantages:

1. indefinitely long learning process;
2. the problem of overfitting the network;
3. excessive dependence on the expert.

ANNs have always been attractive from an intuitive point of view. In this regard, there was an assumption that it may be appropriate to use another borrowing from nature: evolutionary strategies and, in particular, neuroevolution methods. Neuroevolution methods have become popular due to their comprehensiveness and a wide range of tasks to solve. These methods help you make a complete network synthesis: search for the most appropriate topology and configure its parameters. However, one of the main problems of applying such methods is their convergence in the area of local extremes, instead of the global optimum for the task. This problem is often caused by insufficient population size or insufficient diversity of individuals within the population. The solution to this problem can be the introduction and adjustment of adaptive mechanisms at different stages of neuroevolution methods.

Thus, in a number of studies, it has been noted that mutation probability increase helps to prevent premature convergence of methods. However, it is worth noting that a significant structural diversity of individuals can be achieved at the mutation stage. To do this, it is necessary to introduce an additional mechanism for evaluating individuals based on different criteria that will help assess the connectivity of the network, correspondence of the structural complexity to the task to be solved and entanglement of the network. Based on the values obtained, a specific type of mutation can be selected in each specific situation:

1. removing or adding a hidden neuron;
2. removing or adding connections between neurons;
3. removing or adding feedback loops (for recurrent ANN);
4. changing the weight of the connection (or feedback loops);
5. removing or adding a hidden layer (for deep ANN);
6. changing the type of activation function inside the neuron.

The uniform crossover (UC) is one of the most effective recombination operators in a standard genetic algorithm. Setting up the probability of passing a parent's gene to a descendant in a UC can significantly increase its effectiveness. Also, using the UC operator allows to apply the so-called multi-parent recombination, when more than two parents are used to generate new individual. However, the introduction of a selective pressure mechanism before using UC will allow us to accurately assess the dominant characteristics of the best individuals in the population. This mechanism is based on a combination of rank selection and criteria that allow evaluating excessive memory consumption and networking approximation characteristics. In this case, the parent pool for crossover will be filled only with the best individuals, and the probability of inheriting genetic information from each of the parents will be proportional to their effectiveness.

Thus, the using of such modifications of classical neuroevolution methods allows maintaining adaptability by:

1. maintaining the structural (topological) diversity of individuals within the population;
2. control of excessive growth of "weak" individuals within populations.

This allows to get the most optimized ANN for a specific task. Moreover, such mechanisms significantly increase the efficiency of neuroevolution methods when working on modern parallel computing systems, helping to reduce the share of overhead costs for transferring information between computing threads and using RAM.

УДК 621.7.044.4

Opanas Melnyk<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## **ELECTROHYDRAULIC CRUSHING DEVICES**

Electrohydraulic crushing is a new way of grinding various materials, which allows obtaining a predetermined degree of grinding at a certain particlesizedistributionoftheproductandhashighcrushingselectivity.

Electrohydraulic crushing devices, unlike mechanical crushers, have no moving parts, and they are made of ordinary contractual steel, and their frame is not spoiled during the operation.

As a working fluid in electrohydraulic crushers, any liquid could serve (mainly industrial water). The maintenance of electrohydraulic crushers does not require a large number of highly skilled workers.

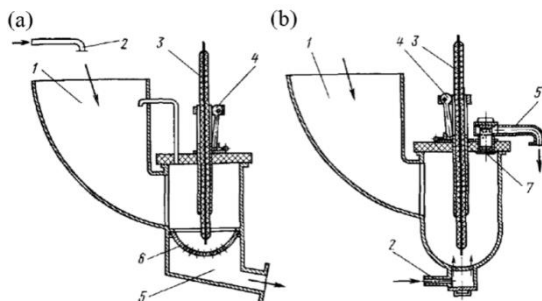


Figure 1 –Electrohydraulic crushers for crushing solid materials into large (a) and small fractions (b), 1 – loading hopper, 2 – water supply, 3 –positive electrode, 4 – clamp to adjust the length of the working spark gap, 5 –finished output product, 6 – crusher bottom (negative electrode), 7 – filter.

The purpose of the study of these devices is to automate the technological process of electrohydraulic crushing.

When operating, these electrohydraulic crushers do not generate dust, occupy relatively small production areas and allow a combination of the processes of crushing, mixing and flotation of materials.

The practical value of the study is that in electrohydraulic crushers can be crushed and reduced to fragments virtually any material: rocks, coal, brittle metals, mica, paper, cement, grain, peat, roughage. Also, electrohydraulic crushers can destroy microorganisms, extract diamonds from kimberlites and cultivate the soil.

УДК 617:57-77

Evgeniya Vafina<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup> PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

### **THE VALUE OF THE CRIMINAL LAW TEXT IN THE INTERPRETATION OF NORMS OF CRIMINAL LAW BY THE CONSTITUTIONAL COURT OF UKRAINE**

The complex process of interpretation of criminal law norms by the Constitutional Court of Ukraine (hereinafter – CCU) subjects to certain laws, regulations, principles that ensure the quality of the result. Each element of this process executes only its own peculiar feature.



In criminal law literature some authors recognize the text of the criminal law as a subject of interpretation. CCU itself interprets law norms, articles of legal acts, provisions or other legal acts, concepts, that provide clarification of the will of the legislator, article content of the term.

Note that according to the current legislation of Ukraine, namely Part 1 of Article 150 of Constitution of Ukraine, Article 13 of the Law of Ukraine “On the Constitutional Court of Ukraine”, the body of constitutional control provides the official interpretation of the Constitution and laws of Ukraine. Such legislation might serve as a basis for recognition of articles of legal acts, and not norms enshrined in these acts, as a subject of interpretation by the CCU.

The provisions of the Part 1 of the Article 150 of the Constitution of Ukraine, the Article 13 of the Law of Ukraine “On the Constitutional Court of Ukraine”, which define the text of the Constitution and laws of Ukraine as a subject of interpretation by the CCU, are unsound in principle and stand in need of change. Criminal legal norm, rather than the text of the criminal law, is a matter of interpretation by the CCU. The text of the criminal law is a means, by which the body of constitutional control of Ukraine interprets criminal law norms.

In particular, in the specified decision the CCU states that a main feature of a blanket disposition of a criminal law norm is that such norm has a general and specified content (Paragraph 7,8 Clause3 of the analytical part of the decision of the CCU on 19 April 2000 No. 6-rp/2000 9cause on the reserve action of criminal law through time). Understanding the blanket criminal law norms as such, which have two contents, is considered by the CCU as doubtful.

Legal statements (judgment), which is criminal law norm, may have two meanings (true or false) or several (that is, apart from true and false the judgment may have an additional meaning, such as “probable”, “possible”). Prevalent in logic is an idea that legal norms have one of two meanings: the meaning “true” or meaning “false”.

True meaning can have only one content as other content will be characterized by the false meaning. Thus the separation of the content of blanket criminal law norms on general and specific contradicts the rules of logic, as only one content of the criminal law may be true: either the general or specific.

Thus, the text of the criminal law determines the total scope of criminal norm, which refers to the regulatory requirements of the other branches of law, within which statutory provisions of other areas of law determine the final, true scope of the norm, its ambit.

On that ground we can claim that the text of the criminal law is a primary means of securing the criminal law norms, and, therefore, the primary means of knowledge of their content by the CCU.

## **DECENTRALIZATION AS ONE OF THE ELEMENTS OF SPATIAL DEVELOPMENT OF A STATE**

Ukraine, as a European state, requires a great deal of change, and above all reforms and transformations in almost all spheres of life, including decentralization. Improving the quality of life of its citizens, changing the quality of its territorial management, etc. is the basis for significant institutional change. Administrative-territorial reform in Ukraine is necessary to optimize the system of territorial governance, streamline the relations of authorities at different hierarchical levels, and ultimately to promote the improvement of the standards of living of citizens in every city or village.

Decentralization of power is one of the important steps in the reform agenda in Ukraine, and it is also one of the elements of the state policy of regional spatial development. The spatial development concept is the sphere of realization of the main priorities of national and regional policy. It stood out, on the one hand, against the backdrop of the immensely popular "global thinking" of the second half of the twentieth century, of all kinds of "developments" (with definitions of "sustainable", "environmental", "balanced", etc.), and on the other hand, within the framework of industry terminology, generalizing and politically transforming concepts such as spatial or regional planning. In today's European context, this concept refers to a set of organized actions for managing elements and links of territories, a system of actions and policies aimed at optimizing spatial change (development) [1].

Taking into account the concept of "decentralization", it can be concluded that in theoretical and practical studies it is multidimensional and is interpreted as a system of distribution of functions and powers between state and local levels of government with the empowerment of the latter. It is a specific system of government under which part of the functions of central government goes to local governments.

Successful implementation of decentralization processes, as one of the directions of the "Ukraine 2020" Sustainable Development Strategy, requires real interaction of equal partners in the format of "Ukrainian State - Officials of Local Self-Government Bodies - Territorial Community - Citizen". According to the Law of Ukraine dated 05.02.2015 No. 157-VIII "On voluntary association of territorial communities", united territorial communities (UTCs) were created. They were

given wider powers and somewhat increased resources, but there were problems that threaten the success of the reform. The lack of consideration of the methodological foundations of building a system of administrative and territorial structure of the state is a weak point, while the other is the organizational and institutional shortcomings of the process of practical implementation of the reform.

The process of power decentralization and local self-government reform is rapidly developing in the Zaporizhzhia region. So after a few years after the implementation of the reform, the communities of Zaporizhzhia region have reason to be proud of. Based on the results of the research on the implementation of the reform objectives, it is necessary to highlight the positive (strong) factors: first of all, under the parameter "Area of capable communities" (united territorial communities, cities of regional importance) (65.3%) the region occupies the 1st place, according to "Number of districts in the region where no UTC are formed and there are no territorial communities that have not joined the UTCs (0%)" - 1st place, according to the indicator "Prospective Plans of the Territory of the Region" (100%) - 1st place, according to "Number of territorial communities which did not unite or were not joined» (35.8%) - 2nd place [2]. Four areas are completely covered by communities. Two of them are in the form of "district format - one community". In total, 52 united territorial communities were created in the region, which is why Zaporizhzhia region has been and still is the leader in implementing decentralization reform in Ukraine.

According to the monitoring of the decentralization process and the reform of local self-government, which is conducted monthly by the Ministry of Regional Development, as of February 10, 2019, five regions - leaders in forming capable communities - have changed. According to the new parameters, Zhytomyr region has returned to the first place, Dnipropetrovsk region, which was only eighth last month, has become second. Zaporizhzhia region remains in the "green" zone of leaders of decentralization and ranks third. Khmelnytskyi region closes the first five. According to the updated monitoring criteria, Zaporizhzhia region ranks first in several positions [2].

Thus, the processes of decentralization of power and the creation of united territorial communities aim primarily at increasing the quality of life of the population. The main purpose of the reform is to create a system of government with the greatest involvement of the local population in solving their problems, as well as using their own resources. Therefore, the transformation of spatial development should be based on three main approaches that are implemented through economic and legal mechanisms (decentralization of power), economic - strategy, organizational - the formation of UTC, which are implemented as a result of changes in the spatial development of the region.

## REFERENCES

1. Spatial development in Europe. Glossary [Electronic resource] – Access mode: <http://vasilieva.narod.ru/mu/csipfo/kpr/frames/guide/spatdevelopment.htm>
2. Zaporizhzhia district improved within the context of implementation of power decentralization reform. Zaporizhzhia Regional State Administration [Electronic resource] – Access mode: <https://www.zoda.gov.ua/news/44364/zaporizka-oblast-pokrashila-pokazniki-u-vprovadzhenni--reformi-detsentrali-zatsiji-vladi.html>

УДК 621.3.048.2

Dmytro Honcharenko<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-426a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## SULFUR HEXAFLUORIDE GAS BENEFITS IN RELATION TO OIL AND CELLULOSE INSULATION IN VOLTAGE TRANSFORMERS

Insulation is used in most areas of voltage transformers designing, beginning from transformer winding insulation and ending with sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) gas, transformer oil, and cellulose insulation for dry transformers.

The insulation that separates the current-carrying parts from each other and from the grounded parts in power transformers is performed in the form of structures made of solid and liquid dielectrics [3].

In SF<sub>6</sub> gas voltage transformers, sulfur hexafluoride is used as insulation and refrigerant, which makes it possible to abandon the fire extinguishing system since sulfur hexafluoride is not combustible, and it also removes the need for oil collectors and gutters around the transformer [1].

In case of internal malfunctions, the pressure in the tank is very small in comparison to the strength characteristics of the tank, which ensures that the tank does not explode and the equipment around it does not suffer [1].

Since neither an expansion tank, nor a pressure relief device, which are important components of an oil transformer, are needed, it becomes possible to significantly reduce the height of the substation [1].

A significant decline in the cost of substation building or a room for a transformer is achieved by increasing the compactness of the transformer [1].

It is also worth noting that, unlike oil-insulated transformers, the total cost of the transformer decreases with a decrease in size and the absence of an expansion tank and an oil pan, as well as additional costs for building the premises.

The main and indisputable advantage of dry type transformers with cellulose insulation is an operational safety [2].

In areas with increased safety requirements (educational, medical institutions, park recreation areas, etc.), the use of dry transformers is more than justified [2].

Since dry type transformers meet all fire safety requirements, they can be installed directly in production rooms or in a special room near a residential building.

Due to the design features, namely the absence of flammable liquids in the design, unlike oil, dry transformers have a significantly lower probability of catching on fire during a short circuit or from any external mechanical impact, but are still inferior to SF<sub>6</sub> gas transformers in terms of fire safety [2].

In conclusion we can briefly highlight the advantages of sulfur hexafluoride over other types of insulation, namely fire safety, explosion safety, compact design of the transformers, lack of need for additional pressure and oil control units.

## REFERENCES

1. Трансформатор с элегазовой изоляцией [Электронный ресурс]. – М.: Toshiba corp., 2012 – Режим доступа: [https://www.tosma.ru/docs/git\\_catalog\\_rus.pdf](https://www.tosma.ru/docs/git_catalog_rus.pdf)
2. Трансформатор: сухой или масляный? [Электронный ресурс]. – М.: Укрэлектросервис, 2015 – Режим доступа: [http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article\\_032](http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article_032)
3. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов [Текст] : учеб. пособие для вузов – 5-е из., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.: ил.

УДК 681.51

Pavlo Anikin<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## OVERVIEW OF MODERN-DAY CAD/CAM/CAE SOFTWARE CAPABILITIES FOR METAL ADDITIVE MANUFACTURING SIMULATION

Additive manufacturing technology has been evolving constantly since 1980. Currently additive manufacturing is applied in a huge number of industries [1]. The process of additive manufacturing, also known as 3D printing, can be described as continuous fusion or bonding of different materials (such as plastic, metal, alloy or mix of different substances) in layers that will result in desired

layering part production. Recent advancements [2] brought this technique to a more widespread use beyond just prototyping but straight to industrial applications. However, a lot of challenges still do exist in front of 3D printing technology before it will be able to fully replace traditional manufacturing technologies.

Nowadays industry offers a fairly wide range of metal 3D printing techniques to choose from. It has an advantage over traditional manufacturing processes in speed, flexibility, automation and reduced production cost [3]. To optimize and create better solutions for the manufacturing process, to avoid build failure, etc. simulation software was developed.

Modern-day CAD/CAM/CAE software for metal additive manufacturing must include 5 steps that will be able to help to determine necessary actions for obtaining needed end-result.

Such steps can be defined as:

1. the input of geometry;
2. topology optimization;
3. geometry manipulation;
4. thermal analysis;
5. structural analysis.

Each step contains in itself different needed solutions for future successful implementation of the 3D printing process. Firstly, previously defined geometry must be created in simulation software or imported from an already created STL file. The topology optimization process helps to reduce the weight of the manufactured part and increase energy efficiency. Optimized detail further needs to be observed for geometry improvement. After obtaining the necessary geometric parameters, it is necessary to conduct a thermal analysis to understand the heat distribution. Based on the data of thermal analysis a structural analysis is carried out to determine residual stresses, performance, and durability of manufactured detail.

Five determined steps of additive manufacturing simulation process can be found in modern-day CAD/CAM/CAE software for metal additive manufacturing simulation as Ansys, Abaqus, SimScale. It will help to increase automation, reduce the cost of manufacturing, confirm the applicability of manufactured parts based on structural analysis data, increase the speed of the printing process.

Optimization of created steps, improvement of different standalone processes of metal additive simulation can help to ease the manufacturing process and make 3D printing metal technology availability more widespread not only for big companies but also for private customers.

## REFERENCES

- 1 Narain S.Applications of additive manufacturing - A review. – [Текст]: /Narain S., VipulG. // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2019. – № 8.– С. 829–833.
2. Kosaraju S.Recent Advancement in Additive Manufacturing. [Текст] : / Kosaraju S., Krishna B., Swadesh K. // Additive Manufacturing Technologies From an Optimization Perspective. – 2019. – С. 1–19.
3. Dehghanghadikolaei A., Additive Manufacturing Methods. A Brief Overview. / [Текст] / Dehghanghadikolaei A., Namdari N., Mohammadian B., Fotovvati B. // Journal of Scientific and Engineering Research. – 2018. – № 5.– С. 123–131.

УДК621.314.04

Yatsura Serhii<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-426a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## BENEFITS OF FIBER OPTIC CURRENT TRANSFORMER

**Introduction.** At the present stage of the development of high-voltage technology, classical methods of measurement based on the electromagnetic principles have reached the limit of their capabilities and cannot satisfy new requirements. They have arisen due to technological revolution of the last several decades. As noted in their work Zubia, Casado, Aldabaldetrek and others, “Unimaginable technological advances in the area of information and communications technology (ICT), the electrical sector had turned into an anachronism using the technology of last century”. Therefore, modern development of electrical complexes and systems require the introduction of the latest designs of instruments and equipment. As a result, the so-called optical-electronic (OE) measurement methods make it possible to realize the requirements of consumers. They are based on the use of optical communication between the primary and secondary transducers of the measuring system. Such methods use a completely different, more promising approach, based on the use of the magneto-optical Faraday's effect. Most often, this effect realized in fiber optic current transformers (FOCT) used in combination with modern digital signal processing and data transmission technologies.

Currently, the development of the FOCT is produced by leading companies around the world. Such transformers are considered to be the next generation of

transformers, because they eliminate defects of the analog transformers and meet all the necessary requirements.

**Faraday's effect.** Nowadays FOCT use the magneto-optical Faraday's effect, which is a fundamentally different promising approach.

Khairullin, Giniyatullin and Pashali, speaking of the magneto-optical effect, write that “In 1845, Faraday discovered a phenomenon that became one of the main steps in the development of optical current converters — the phenomenon of rotation of the plane of polarization of linearly polarized light in a constant magnetic field”, as in Figure 1.

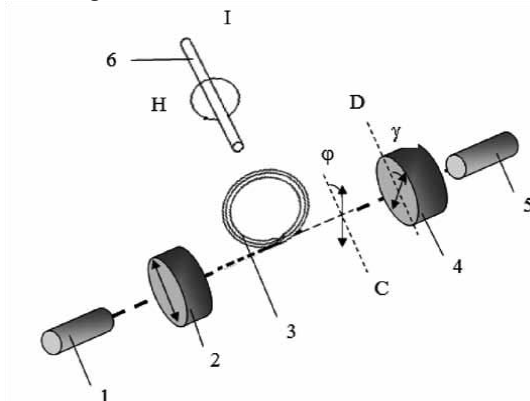


Figure 1 - Schematic diagram of the Faraday's effect

1 - laser diode; 2 - polarizer; 3 - Faraday's element (twisted optical fiber); 4 - analyzer; 5 – photodiode; 6 - electric current conductor.

**Benefits of FOCT.** In comparison with conventional transformers, optical fiber ones are compact and lightweight, also they are easy to install. Another advantage is flexibility of transformer. This is possible thanks to its insulation. Insulation is an essential element of electrical apparatuses and has a significant impact on both its design and operational reliability. Also they are fire and explosion proof. At the same time the sensor element is naturally decoupled from the voltage line. And there is minimal electrical interference on the signal line.

**Conclusion.** Based on these benefits it is safe to say that FOCT is the transformer which will be used all around the world because they eliminate defects of the analog transformers and meet all the necessary requirements.



УДК 621.314.21

Volodymyr Ozirskyi<sup>1</sup>, Ludmila Zhornyak<sup>2</sup>, Yuliya Sobol<sup>3</sup>

<sup>1</sup>student of group E-426 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>3</sup>PhD (Philology), associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **ANALYSIS OF EXTERNAL INSULATION OF OPTIC- FIBER 35 KV CURRENT TRANSFORMER**

Current transformers (CT) are designed for reducing alternating current to controlled level in proportion to the corresponding original values. They provide galvanic isolation of measuring devices, counters, relays, etc. from the high-voltage (HV) circuit. Principle of their operation is based on the electromagnetic induction law.

Digital (microprocessor) systems of relay protection, automation, automatic control, measurement and dispatching systems are modern trends in the world power industry, along with the existing traditional systems of relay protection, emergency control, measurement and metering at power plants and substations. And this situation leads to an increase in the load on CT and, as a result, to a deterioration in the accuracy class of CT.

Grechukhin V.N.[1] analyzed the economic conditions for the functioning of power energy enterprises and energy systems in his work “Electronic current and voltage transformers”. According to this work, it is necessary to increase the accuracy of electricity monitoring signals. Digital metering systems can achieve it, but, the insufficient accuracy class of conventional CTs is a barrier on this path.

World leading companies’ designers strive to develop CTs of a higher accuracy class (better than accuracy class 0,2S and 0,2) with greater load capacity. Satisfying these requirements will inevitably lead either to an increase in weight and size indicators (larger amount of electro-technical steel, copper and other high-cost materials), which is undesirable under the conditions of current economy situation. The identified problems have led to more intensive use of insulation, and according to international normative documents, this question remains open and relevant.

On the modern stage of the HV technology development conventional transformers have reached the limit of their capabilities and can hardly meet new requirements and tendencies, such as digitalization, safeness, and compactness.

Search for an alternative technical solution measuring current and voltage of high voltage electric power plants started a long time ago both in our country and abroad.

These researches have become more relevant considering the intensive process of introducing microprocessors into control systems, measurement, relay protection, emergency control at substations.

Optic-Fiber Current Transformer (OFCT) is next generation transformers. In our country many transformers are approaching deadline of service life. Implementation of the modern technologies makes senseless a replacement of the old current transformers (CT) for the similar new ones, as they can be hardly matched with digital communication methods.

Aim of the work: Analysis of materials and shapes used in external insulation design, in terms of optimal protection of optical sensors from natural phenomena and breakdowns

Conclusion: The external insulation of OFCT 35kV is researched for 3 contamination types of insulation. The further research intention is to develop more economically effective optic current sensor. It is obvious, that the development of digital current transformers and their use together with microprocessor-based measurement devices at substations with the prospect of a transition to a "digital" substation, where all information flows are circulated and processed in digital form is a promising area of research.

## REFERENCES

1. Гречухин В.Н. Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110–750 КВ станций и подстанций энергосистем [Текст] / В.Н. Гречухин // Вестник Иванковского государственного энергетического университета - 2006. - №4. - С. 1–9.

УДК681.2.08.

Anastasiia Fylymonenko<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-426a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD(Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## OPTICAL CURRENT AND VOLTAGE SENSORS

At the current stage of development of the electric power industry, with the widespread usage of current transformers (CTs) and voltage transformers (VTs), the most actual is reliable measurement of current and voltage to ensure high reliability and safety of industrial systems and networks. These measurements take an important part in the substation's working and protective functions.

The unflagging interest in optic current and voltage sensors, over the years, is associated with the high potential capabilities of these devices and also significant

operational advantages compared to traditional current and voltage measurement technologies. They provide a natural galvanic denouement of the high-voltage and measuring parts while reducing the overall dimensions, increasing the safety of their operation and decreasing the installation costs. Various types of current and voltage sensors are used for monitoring and diagnosing of circuits, launching of protection schemes, detecting failures of electrical equipment and emergency conditions of various types of loads.

Advantages of digital current and voltage sensors are:

1. Wide dynamic range of measurements (currents up to hundreds of kA, voltages up to hundreds of kV).
2. The sensing element is naturally disconnected from the voltage line.
3. High resistance of fiber optic information channels to external electromagnetic interference.
4. Extremely fast response time with high measurement accuracy.
5. Smaller overall dimensions compared to existing technologies.

They do not explode in catastrophic destruction, unlike oil-filled electrical insulating supports.

In addition, they are inherently non-magnetic saturated and, as a rule, have a measurement bandwidth in the kHz range. Bands in the range of tens or hundreds of kHz are also possible. As a result, fiber-optic current transformers produce within their measurement range a true image of the primary current, including the case of fast transient currents, short-circuit currents and alternating current with DC bias.

The operation of the optical current sensor is based on the Faraday's effect, which lies in changing the polarization of the light flux under the influence of a magnetic field. The specific implementation of sensors using this effect can be different and is patented by manufacturers.

The optical circuit of the current sensor contains an optical signal source. This signal is converted, with the help of a splitter, into two right- and left-polarized signals with opposite directions of rotation, which enter the optical loop made of optical fiberturns ( $N$ ). The magnetic field created by the current ( $I$ ) flowing through the wire, in accordance with the Faraday effect, slows down one signal and accelerates another. Both signals reach the next circular polarizer, which converts them into linearly polarized light fluxes with polarized planes shifted by an angle, (1):

$$\Delta\varphi = 4V \times N \times I, \quad (1)$$

where  $V$  is the Verdet constant.

Verdet constant is a quantity characterizing the magnetic rotation of the plane of polarization in a substance. Its value depends on the properties of the substance, wavelength and monochromatic radiation [4].

The operation of the optical voltage sensor is based on the Pockels' effect, which consists in the appearance of in optical media when a direct or alternating electric field is applied, which is observed in crystalline piezoelectric, (2):

$$\Delta\varphi = \pi \times L \times K \times \frac{E}{\lambda}, \quad (2)$$

where E is the electric field strength; L is the plate thickness;  
 $\lambda$  is the wavelength; K is electro-optical coefficients

As follows from the proposed review, optical current and voltage sensors occupy a significant place in monitoring, controlling and management systems in the energy sector, as well as in other engineering branches. New generation sensors significantly increase production efficiency and give a good economic effect.

УДК 621.3.048.2

Kostiantyn Paziuk<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-426a National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **SF<sub>6</sub>-GAS INSULATION FACTORY-ASSEMBLED SWITCH-GEAR**

The SF<sub>6</sub> factory-assembled switch-gear is the electric apparatuses, placed indoor as well as outdoor. They are used when you need to save place and to locate devices compactly. The factory-assembled switch-gears are used in electrical stations and substations, on the plants and also for ship power supply. It is called SF<sub>6</sub>, because main devices of the factory-assembled switch-gear are placed inside the case, filled by SF<sub>6</sub>.

SF<sub>6</sub> factory-assembled switch-gear are used for receiving and distribution voltages of 110-750 kV. They are assembled from separate modules, which are connected together in needed electrical circuit. Nowadays they are used all over the world. They need much less area than open switch gears for the same class of voltage.

Merits of SF<sub>6</sub> factory-assembled switch-gear:

1. compact placement (they use 5% of territory, which is used for outdoor switch-gear);

2. all elements of the device are made of aluminum, that decreases mass, that's why you may reject to use expensive fundaments and heavy mechanisms;

3. such device almost doesn't need technical service and there are low expenses on it;

4. high reliability;

5. long tenure of employment.

Demerits of SF<sub>6</sub> factory-assembled switch-gear are the following.

Nowadays SF<sub>6</sub> factory-assembled switch-gear (SF<sub>6</sub> FASG) is produced by national companies as well as by foreign ones. There will be examined 4 types of SF<sub>6</sub> FASG: ЯЭ-110, ЯГК-110, 8DN8 (Siemens), B65 (AREVA).

These cells can be made as one of the next types: voltage-transformer, sectional, connecting bus and linear cell.

Disconnecting and earthing switches.

The functions of disconnecting and earthing switches are combined in a three-position unit. The moving contact either closes the isolating gap or connects the high-voltage conductor to the fixed contact of the earthing switch. This design ensures natural mechanical interlocking of the two functions in relation to one another, which subsequently no longer need be taken into account the electrical interlocking of the bay. The fixed contact of the earthing switch is brought out of the enclosure for test purposes. In a third neutral position, neither the disconnecter nor the earthing switch contact is closed. The three poles of a bay are mechanically interconnected; thus all three poles are operated jointly with a single motor-operated mechanism.

УДК 621.314.04

Oleksandr Bilan<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group E-426a National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## VOLTAGE MEASURING TRANSFORMER

**Introduction.** It is difficult to take measurements at high voltages, because high-voltage devices are expensive and usually bulky; their accuracy is subject to static electricity, and they are also unsafe. When the current exceeds 60 A, it is not easy to ensure high accuracy of ammeters due to large wires and significant errors and because of the parasitic field of the terminal leads. In addition, ammeters and current coils in high voltage circuits are dangerous for the operator. Nowadays, oil-insulated voltage transformers, which are used for voltage 6–1150 kV of indoor and outdoor switchgears, are more popular than others.[3] The main representatives of this type are single-phase double-winding transformers NOM-6,

NOM-10, NOM-15, NOM-35.[3] In such transformers, the windings and the magnetic circuit are filled with oil, which serves for insulation and cooling.

Unfortunately, oil transformers have a number of disadvantages, such as:

1. Oil is not an environmentally friendly product;
2. The risk of fire is several times greater than that of other measuring voltage transformers (since oil is a highly flammable substance);
3. Quite a large mass and dimensions;
4. Economic factor. A constant oil change leads to an increase in the cost and repair of the transformer.

Therefore, all over the world there are looking for a replacement for this type, and one of these options is an optical voltage transformer (OVT).

**Optical voltage transformer.** OVT is intended for an accurate high voltage measurement with a frequency of 50 Hz in electrical networks and electrical installations. OVT provides connection to the Smart Grid system as well as measuring and protective systems. The principle of operation of an optical measuring voltage transformer is based on the linear Pockels effect[1]. The OVT measures the change in the ellipticity of the optical signal polarization in the sensing element of the measuring column under the influence of an electric field, which is created by the voltage supplied to the high-voltage output.[1]

**Construction.** The device consists of two parts: a measuring column and an electron-optical processing unit. Generation and receipt of an optical signal is carried out in an electron-optical unit. It also processes the signal received from the sensing element, converts it, and transmits the measured voltage value in digital form to the rest of the secondary equipment: commercial meters, telemetry devices, power quality control, relay protection and automation. Measured values are transmitted via the digital interface in the IEC \ IEC LE standard.[2] Using a digital channel allows you to quickly receive and process information, which is a prerequisite for the transition to a new generation of digital substations and Smart Grids grids.

**Scope of application.** Optical measuring voltage transformer is used as a voltage data source for relay protection systems, process control systems, electric energy metering, electric power quality control at the following facilities in the above areas: Power stations; High voltage power lines.

#### **Advantages and disadvantages of OTN:**

1. Complete galvanic isolation, lack of copper secondary circuits;
2. Ten times smaller weight, no oil or gas filling, compared to current transformers, which are filled with oil or gas and weigh 1.5 tons.
3. Ability to connect an unlimited number of consumers of measurement information; [2]
3. Smaller dimensions and weight, lower transportation and installation costs;
4. No need to constantly monitor and maintain the column;

5. High explosion protection and fire safety.

6. Environmental friendliness.

Unfortunately, as any other equipment, an optical voltage transformer is not ideal. Its main disadvantage is the economic factor. Due to the use of expensive materials, a large number of electronics and the complexity of assembly, the cost and repair, compared to an oil transformer, is several times greater.

**Conclusion.** Based on this information, it can be assumed that in a few years the optical voltage transformer will go into mass production and replace dangerous and bulky oil or gas transformers.

## REFERENCES

1. Оптический трансформатор напряжения [Электронный ресурс]. – М.: Укрэлектросервис, 2015. Режим доступа: <http://www.r-aingroup.com>;

2. Трансформатор с элегазовой изоляцией [Электронный ресурс]. – М.: Toshiba corp., 2012 – Режим доступа: [https://www.tosma.ru/docs/git\\_catalog\\_rus.pdf](https://www.tosma.ru/docs/git_catalog_rus.pdf);

3. Трансформатор: сухой или масляный [Электронный ресурс]. – М.: Укрэлектросервис, 2015 – Режим доступа: [http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article\\_032](http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article_032).

УДК 004.032.26 (004.89)

Igor Olenchenko<sup>1</sup>, Yuliya Sobol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD student National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), associate professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR IMAGE RECOGNITION

Convolutional neural network(CNN) is a special architecture of neural networks designed for classification and recognition of objects.

The main purpose of classifying images is to take the initial image and output its class or group of probable classes, which best describe the image.

Convolutional neural networks operate on the basis of filters that recognize specific characteristics of an image (for example, straight lines). A filter is a collection of kernels (sometimes a single kernel is used in the filter). Kernel is an ordinary matrix of numbers called weights, which are trained to search for specific characteristics on images. The filter moves along the image and determines whether some desired characteristic is present in a particular part of it. To obtain this response, convolution operation is performed, which is the sum of the products of the filter elements and the input signal matrix, forming the pixel. Convolution is

a method to get an approximate version of the input data; and this contributes to a significant reduction in the number of calculations.

Kernel repeats described operation for each position it occupies, turning the original two-dimensional matrix of characteristics into some other, also two-dimensional, matrix. Obtained characteristics are actually the sums of the "weighted" input characteristics, where elements of the kernel matrix are weights, the initial data - elements of the matrix that are under the kernel at its given position.

If some desired characteristic is present in the image fragment, the output convolution operation will produce a number with a relatively large value. If the characteristic is absent, the output number will be small. The result of moving this filter along the entire image is a matrix consisting of the results of unit convolutions.

There are two basic techniques used to build convolutional layers: padding and stride. In the process of kernel movement, edges of the original matrix are cut off: edge pixels never enter center of the kernel, which is due to the accepted rules of movement. This is not always acceptable, especially when the sizes of the source and resulting matrices should be the same.

This problem is solved using padding, which contains false pixels, the value of which is usually zero (this padding is usually called "zero"). Due to additional space around original matrix, kernel gets opportunity to move around the edge pixels. In this case, the sizes of the initial and resulting matrices are equal.

Quite often, the purpose of a convolutional layer is to reduce the dimension of input signals matrix. This is the basis of convolutional neural networks in which the pulses entering the system are reduced at a speed directly proportional to the number of channels. One method to achieve this result is to use the stride.

The principle of stride is based on the idea that a kernel skips a certain number of steps when it is moving. Stride with a value of 1 indicates that the kernel is shifted by one pixel, which leads us to the standard convolution. Stride with a value of 2, indicates that the kernel is shifted by two pixels. It reduces the size of the resulting matrix by about half compared to the previous solution, etc.

Images usually have three channels (RGB: Red, Green, Blue). Numbers of neural network layers define how many channels can be processed. In this case, filter is a collection of kernels: kernel for each input channel, each kernel from the collection is unique.

Each filter in the convolutional layer generates one output channel. Each kernel that is part of the filter moves along its appropriating input channel, producing a processed version of the signals. Some kernel may have a stronger weight than others, giving preference to specific input channels. Further, the results of each kernel are summarized in order to obtain a single channel. Kernel generates its own version of the channel, which creates resulting output channel.



In the end of this process bias must be applied to the result. In convolutional neural networks, bias is applied to each output filter - this operation is usual addition of bias to each signal from resulting (output) channel. It is necessary to bring out the neural network of the deadlocks that have purely mathematical reasons.

Subsequently, these responses are summarized to a global response. The number of channels from this response are equal to the number of filters. The global response can be passed through a non-linear converter and transferred to the next convolutional layer, where the process repeats.

Despite the fact that convolutional neural networks give the best result in the field of pattern recognition, there are conditions in which they can make banal errors. Also, the use and training of convolutional neural networks involves a large number of computing resources. This type of neural network is demanding teaching methods and training samples. But, in spite of these disadvantages, convolutional neural networks allow the field of computer vision to enter a qualitatively new stage of development. This neural network architecture is used in complex programs, starting with personal identification by the face and ending with medical diagnoses.

УДК 577.2.577.1

Danil Aleksieiev<sup>1</sup>, Nataliia Zhukova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group RT-819 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **FOLDIT, A VERY SMART APPROACH TO SOLVING THE SECRETS OF VIRUSES**

Foldit might be looking complex at first glance, but it actually requires no knowledge of biochemistry, bioinformatics or molecular biology.

The task of the game is to find different patterns of protein placement for researchers then to apply these solutions in reality to eradicate diseases and create biological innovations.

Foldit attempts to apply the human brain's three-dimensional pattern matching and spatial reasoning abilities to help solve the problem of protein structure prediction. 2016 puzzles are based on well-understood proteins. By analysing how humans intuitively approach these puzzles, researchers hope to improve the algorithms used by protein-folding software.

Protein structure prediction is important in several fields of science, including bioinformatics, molecular biology, and medicine. Identifying natural proteins'

structural configurations enables scientists to understand them better. This can lead to creating novel proteins by design, advances in treating disease, and solutions for other real-world problems such as invasive species, waste, and pollution.

The process by which living beings create the primary structure of proteins, protein biosynthesis, is reasonably well understood, as is the means by which proteins are encoded as DNA. However, determining how a given protein's primary structure becomes a functioning three-dimensional structure, how the molecule folds, is more difficult. The general process is understood, but predicting a protein's eventual, functioning structure is computationally demanding.

Foldit's developers wanted to attract as many people as possible to the cause of protein folding. So, rather than only building a useful science tool, they used gamification to make Foldit appealing and engaging to the general public.

As a protein structure is modified, a score is calculated based on how well-folded the protein is, and a list of high scores for each puzzle is maintained. Foldit users may create and join groups, and members of groups can share puzzle solutions. Groups have been found to be useful in training new players. A separate list of group high scores is maintained.

Results from Foldit have been included in a number of scientific publications.

Foldit players have been cited collectively as "Foldit players" or "Players, F." in some cases. Individual players have also been listed as authors on at least one paper, and on four related Protein Data Bank depositions.

To maximize your usefulness or if you get bored of folding proteins yourself the creators of Foldit discovered a program to use your computer's idling time or even background calculating for automatic deduction of folding proteins.

As it can be seen, the experiment of a few talented people from University of Washington is coming to fruition and expanding rapidly, which shows its promising potential and the upcoming benefits of the results.

УДК 621.389

Alexander Meleshko<sup>1</sup>, Nataliia Zhukova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group RT-819 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## WHAT IS A FINGERPRINT SCANNER?

A fingerprint scanner is a device used to identify a person by scanning their fingerprints. We have several ridges on our fingers. Additionally, every person has a unique pattern. Hence, a fingerprint scanner scans them to identify us.

There are many types of fingerprint scanners. Some of these are as follows: Optical reflexive, Capacitive, Mechanical, Thermal, Dynamic output.

**How Do Fingerprint Scanners Work?** The sensor avails a light-penetrating microprocessor that can either be a charge-coupled device or a CCD, or a CMOS image sensor. In doing so, this creates a digital picture. Following this, the processor examines the image mechanically, choosing just the fingerprint, and then uses refined pattern-identical software to turn it into encryption.

This is merely how one type of scanner works. In the other kind, i.e. the capacitive type of scanners, the scanner scans the gaps between our ridges.

So when a person places his or her hand on any object, the ridges are the part that touches the surface. Therefore, these ridges are logged and the gaps distances are measured. In this way, the pattern is recorded. In other words, it means the distance between two ridges that never came in contact with the surface is noted down.

Fingerprint scanners greatly benefit humanity. They are a secure form of identification as they reduce the work of the human brain; increase the efficiency of work security; help log people quickly. Following are some pieces of equipment in which a fingerprint scanner is being used.

Fingerprint Scanners are used prominently and most beneficially in our everyday laptops and computers. Thankfully, we have an option of creating a fingerprint configuration. This way, we can keep our laptops and PC's secure from external attacks. Additionally, we can prevent someone from getting in without permission. A fingerprint configuration will keep your information safe if you ever lose your laptop.

Smart Phones hold a lot of our personal information. We keep friends/relatives numbers, personal photographs, and sometimes even our notes and private documents. Additionally, in the worst cases, we have banking apps with our credit card information or even social security numbers stored. Therefore, we can use fingerprint arrangement in our phones to keep such information safe and protected. If your phone is ever stolen, a lock and a fingerprint confirmation will help prevent your information from being leaked or abused.

Just like phones and laptops, we also need fingerprint scanners in online banking. Malicious actors often target bank account details like code pins or account numbers. Therefore, using fingerprint scanners ensure that only you can access your bank information.

Today, industrialization has increased so much that office and home security is moving towards automatic doors. However, these doors open only with the correct fingerprint scan. We call this a biometric lock. A person can add their fingerprints to it and then the door will open only when it scans those fingerprints.

One cannot say that fingerprint scanners are 100% reliable. There are ways to hack them. Hackers always find a way to invade into your personal and

professional life. Here are some shortcomings regarding fingerprint scanners. Hackers can use a 3D system of mildew that is created from a preserved fingerprint. Mischievous and evil hackers can forge your fingerprint with the assistance of tools which are as plain as a luminous or transparent film and a circuit scribe. Scanners can malfunction and prevent the user from full access if their skin is wet or if too much dust gathers on the devices.

To sum up, fingerprint scanners do not guarantee privacy, and cyber-crime departments should work more on the security of fingerprint scanners. However, these shortcomings in this relatively new technology do not negate the fact that fingerprint scanners are and will continue to be very helpful and eventually essential.

УДК 621.391

Anna Shylo<sup>1</sup>, Denys Romaniuk<sup>2</sup>, Galina Shilo<sup>3</sup>, Nataliia Zhukova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>student of group RT-619 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>2</sup>student of group RT-516 National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>3</sup>Doctor of Technical Sciences, assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

<sup>4</sup>PhD (Philology), assistant professor National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

## **WIRELESS INDOOR POSITIONING TECHNOLOGIES**

Modern consumer and industrial applications often require indoor positioning systems. Manufacturers use them in robots, such as consumer vacuum robots, to track personnel and packages at industrial sites. There are several existing non-radio positioning technologies such as magnetic positioning, tracking based on inertial measurements, and visual markers or visual features. However, they often need an additional radio module for each tracking tag. Because these technologies calculate position using the tracker’s computing capabilities, a Wireless Local Area Network (WLAN) must also be available to help them to transmit computed data. These principles may be implemented directly in consumer mobile phones. They must be tailored specifically for a chosen area and often require costly equipment to increase accuracy:

1. For magnetic positioning, a magnetic fingerprint of the steel building structures has to be recorded and analyzed. [1]

2. Positioning based on inertial measurements requires an inertial measurement unit (IMU) that provides low observational error. When using low-

quality IMU, a measurement error is quickly accumulated and has to be mitigated using reference points. [2]

3. Visual positioning methods require studying the area for known visual features, as well as preparing appropriate neural networks and other algorithms for efficient feature recognition. [3]

Radio positioning technologies usually win over non-radio ones because most of them offer data transfer over the same network that is utilized for positioning. This removes additional costs for infrastructure needed to transmit position data. We divide popular radio positioning technologies into two categories: short-range and long-range.

Short-range systems usually determine position using available nearby anchor points with a known position. They do not track an exact location, but rather proximity to an anchor and are perfect for geo-fencing. This approach has low hardware requirements and complexity. It may be perfect for museum guide tours and determining booth locations at expositions. Anchor devices within these systems usually use Wi-Fi, Bluetooth or Near Field Communication radio modules with omnidirectional short-range antennas. Positioning error may be decreased by decreasing anchors' transmission power and increasing their density per square meter. Such systems require the installation of a large number of anchors across the building, which may not be ideal in some cases [4-5].

The long-range positioning technologies are the most desirable ones. They offer exact positioning within the 4-meter margin of error or less. The most notable advantage is the reduced number of anchor devices necessary to install within the tracking area. Anchors, however, have increased hardware and software complexity compared to the short-range technologies.

Therefore, to develop the system using wireless indoor positioning technologies it is necessary to combine several technologies. This approach helps to ensure required accuracy and reliability.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Lee N., Han D., "Magnetic indoor positioning system using deep neural network," [Текст] / N. Lee and D. Han ;2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sapporo, 2017, pp. 1-8.

2. Ksentini D., Elhadi A. R., Lasla N., "Inertial Measurement Unit: Evaluation for Indoor Positioning," [Текст] / D. Ksentini, A. R. Elhadi and N. Lasla ; 2014 International Conference on Advanced Networking Distributed Systems and Applications, Bejaia, 2014, pp. 25-30.

3. Wu T., Chen L., Hong Y., "A vision-based indoor positioning method with high accuracy and efficiency based on self-optimized-ordered visual vocabulary," [Текст] / T. Wu, L. Chen and Y. Hong; 2016 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), Savannah, GA, 2016, pp. 48-56.

4. Kalbandhe A. A., Patil S. C., "Indoor Positioning System using Bluetooth Low Energy," [Текст] / A. A. Kalbandhe and S. C. Patil; 2016 International Conference on Computing, Analytics and Security Trends (CAST), Pune, 2016, pp. 451-455.

5. Li H., Ma H., "A Low Complexity Low Power Indoor Positioning System Based on Wireless Received Signal Strength," [Текст] / H. Li and H. Ma; 2018 IEEE 20th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), Ostrava, 2018, pp. 1-6.

УДК 007.524

Roman Movchan<sup>1</sup>, Nataliia Zhukova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>student of group CST-129 National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

<sup>2</sup>PhD (Philology), assistant professor National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

## INTELLIGENT HOME ROBOTS

An intelligent robot, as a performing machine, must accept the task in a general form, and the robot itself must be able to make decisions or plan its actions in an uncertain or complex environment that it recognizes.

A young American company Willow Garage is developing a four-wheeled home robot Personal Robot 2 (PR2). The company has set itself the task of developing truly intelligent and multi-functional robots for everyday use as assistants. PR2 is a robot that is slightly taller than a human and weighs 145 kg. He has four degrees of freedom in the body, has two arms with eight degrees of freedom. Three more degrees of freedom "rely" on a head equipped with a stereo camera and a laser rangefinder. All electrics, mechanics, power supply, three on-board computers, electronics plus software are enclosed in the robot itself.

The most impressive achievement of this robot at the moment is the independent passage of the "maze" of rooms, corridors and closed doors in search of standard (important) household outlets, from which this bot successfully charges its batteries.

The robot controls the force developed by his hand (sensors are built into the articulation motors). Moreover, at the end of each of his fingers there are 22 pressure sensors. So he feels the movement of the door well and does not press it too hard where it is not required. In this skill, the new bot is closer to the person than to the previous machines, which opened the doors in advance by the "learned" and rigidly defined movement.

The ideology of the PR2 project is the development of household robots with a "mind" based on a special open source robot operating system (ROS). This

spring, Willow Garage distributed ten copies of PR2 to student research labs for free.

Recently, experts at the University of Tokyo (University of Tokyo) have modified ROS from the "garage" in order to build something of their own. And this only expands the possibilities of the project, to which one way or another more and more specialists are joining.

Scientists from the University of California at Berkeley (UC Berkeley) for the first time trained the robot, provided by Willow Garage, to interact with deformable objects. The machine has been taught how to work with soft and, most importantly, objects that change shape easily and unpredictably.

The Mahru Ahra project started at KIST back in March 2005. Mahru is the name of the android boy, Ahra is a robot girl. At the institute, more than \$ 3.5 million a year is spent on the development of humanoid machines, which made it possible to create several modifications of androids that are about one and a half meters tall and weigh about fifty kilos, which have thirty-odd degrees of freedom. The latest show featured a two-legged Mahru-Z and a wheeled version of Mahru-M. According to the KIST press release, thanks to the technology of high-speed three-dimensional object recognition and high-precision manipulations of objects, robots are able to "cook simple food."

Work on the creation of home robots is carried out by many large universities in the world, often on the orders of the military. This is due to the possibility of using the developed technologies in various fields, and first of all - to create military robots.

Наукове електронне видання  
комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та  
мережному режимах

# **ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2020.**

## **Електротехнічний факультет**

Збірник тез доповідей щорічної  
науково-практичної конференції серед студентів,  
викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів 13–17  
квітня 2020 року

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM);  
супровідна документація.  
Тираж 100 прим. Зам. № 537

Видавець і виготовлювач  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64 Тел.:  
(061) 769–82–96, 220–12–14

Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 6925 від 22.10.2019.